



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE
MANUFACTURA CON BRAZO ROBÓTICO CENTRALIZADO
Y CONTROL DE CALIDAD CON VISIÓN ARTIFICIAL EN EL
LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L.”

VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA
FERNANDO DAVID SAÁ TAPIA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

Año 2013

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. FAUSTO ACUÑA (DIRECTOR)
ING. MARCO SINGAÑA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA CON BRAZO ROBÓTICO CENTRALIZADO Y CONTROL DE CALIDAD CON VISIÓN ARTIFICIAL EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L”, realizado por: Verónica Marisol Gallo Caiza Y Fernando David Saá Tapia, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Agosto del 2013.

Ing. Fausto Acuña
DIRECTOR

Ing. Marco Singaña
CODIRECTOR

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA
FERNANDO DAVID SAÁ TAPIA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA CON BRAZO ROBÓTICO CENTRALIZADO Y CONTROL DE CALIDAD CON VISIÓN ARTIFICIAL EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Agosto del 2013.

Verónica Gallo C.

Fernando Saá T.

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Verónica Marisol Gallo Caiza y Fernando David Saá Tapia, como autores de la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA CON BRAZO ROBÓTICO CENTRALIZADO Y CONTROL DE CALIDAD CON VISIÓN ARTIFICIAL EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L”, autorizamos la publicación del presente proyecto de grado en la biblioteca virtual de la ESPE.

Latacunga, Agosto del 2013.

Verónica Gallo C.

Fernando Saá T.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este sueño cristalizado, todo el esfuerzo y trabajo de mi proyecto de tesis a mis padres Luis y Elsa, quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejos en todos los momentos difíciles, gracias por la confianza y todos los valores que depositaron en mí, por el apoyo incondicional día tras día. Esto va dedicado especialmente a los seres que me dieron la vida y confiaron en que me convertiría en una mujer de bien. A ustedes quienes día a día contribuyeron para alcanzar mis más grandes ideales.

A esos angelitos que Dios puso en mi vida para compartir tantos momentos llenos de alegrías y tristezas, a ustedes mis queridos hermanos Cristian y Alex, que son mi apoyo y compañía para seguir adelante en el camino que Dios ha preparado para mí.

Y como no dedicar este trabajo a aquellas personas con las que compartí tantos momentos llenos de risas y locuras, tristezas, aventuras y desaciertos. Esos momentos que nunca se olvidan y que se graban en la mente y el corazón. A ustedes mis queridas amigas y amigos, por haber llenado mi vida de tantos lindos recuerdos y enseñarme a seguir adelante a pesar de las circunstancias que se presentan en la vida. A ustedes nunca los olvidare.

Verito Gallo.

Todo este esfuerzo lo dedico a mi padre, madre y hermana, ya que nunca me dejaron solo. A toda mi familia, por siempre estar pendiente de mi persona. A mis amigos y amigas, por brindarme su amistad, su tiempo, su carisma, su confianza, su calor, su hombro y su buena voluntad.

Fernando David Saá Tapia

AGRADECIMIENTO

Hoy que he veo cumplida una meta más en mi vida y culmina mi carrera universitaria, quiero agradecer de todo corazón a mi Dios Todopoderoso por haberme acompañado en cada momento de mi vida, y haber permitido que alcance mi tan anhelado sueño. A mis padres por su amor, apoyo incondicional y confianza, por haberme acompañado en este camino lleno de adversidades pero a la vez lleno de bendiciones y alegrías.

De manera especial quiero extender mi agradecimiento al Ing. Fausto Acuña, director de mi tesis, ya que sin su apoyo y conocimiento no hubiese sido posible ver cristalizado este sueño. Así como también agradezco de manera especial al Ing. Marco Singaña, que fue más que mi Codirector de Tesis, fue un amigo en el trascurso de este tiempo. Gracias porque su apoyo fue fundamental para culminar con esta etapa de mi vida. A mi amigo y compañero de tesis Fernando, por haber sido parte de esta gran meta que hoy lo vemos convertido en realidad, por los conocimientos compartidos que ayudaron a cumplir con nuestro objetivo.

Como no agradecer a mi querida Escuela Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga, que me vio crecer en sus aulas, como persona y como futura profesional de la patria, así como también me permitió conocer a grandes seres humanos que me enseñaron el verdadero significado de la palabra AMISTAD.

A todas las personas que de una y otra forma, ayudaron a que hoy mi sueño se haga realidad, siempre las llevaré en mi corazón... "MIL GRACIAS"

Verito Gallo.

De todo corazón, agradezco a Dios y a la Virgencita por la fuerza de voluntad brindada; a mi padre Daniel, mi madre Jenny y mi hermana Verito por su amor, paciencia, esfuerzo y confianza que me han regalado; a mi abuelito, abuelitas, tías, tíos, primas y primos por nunca dejar de creer en mí; a mi amiga y compañera de tesis Verito por la paciencia y apoyo grato, para poder culminar el proyecto; a mis tutores de tesis y profesores por compartir su conocimiento y sabiduría; a mis amigos y amigas por siempre estar en los buenos y malos momentos.

A todos mil gracias, por ayudar hacer realidad un sueño. Dios se los pague...

Fernando David Saá Tapia

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
PRESENTACIÓN.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 CELDA DE MANUFACTURA.....	1
1.1.1 TIPOS.....	2
1.1.2 CONFIGURACIÓN DE LAYOUTS.....	3
1.1.3 ESTACIONES.....	5
1.1.4 COMPONENTES.....	7
1.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	17
1.2.1 ESTRUCTURA INTERNA.....	18
1.2.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	19
1.3 SERVO MOTORES AC.....	20
1.3.1 FUNCIONAMIENTO.....	21
1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	22
1.3.3 SERVO DRIVE.....	23
1.4 VISIÓN ARTIFICIAL.....	24
1.4.1 FUNDAMENTOS DE UNA IMAGEN DIGITAL.....	24
1.4.2 ESTRUCTURA DE UNA IMAGEN DIGITAL.....	25

1.4.3	PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.	28
1.4.4	SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.	32
1.5	SENSORES Y ACTUADORES.	34
1.5.1	SENSORES.	35
1.5.2	ACTUADORES.	37
1.6	INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI).	40
1.6.1	FUNCIONES.	41
CAPÍTULO II	43
	DISEÑO, SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA	43
2.1	CRITERIOS TÉCNICOS.....	43
2.2	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	44
2.3	DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	46
2.3.1	EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO.	46
2.3.2	DEFINICIÓN DEL CONTROL Y SOFTWARE DE LOS EQUIPOS.	60
2.3.3	DISEÑO DEL SOPORTE PARA LAS CÁMARAS.	61
2.3.4	DISEÑO DEL MÓDULO DE SISTEMA DE VISIÓN.	63
2.3.5	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.....	64
2.4	MONTAJE E IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA.	66
2.4.1	MONTAJE DE EQUIPOS.....	68
2.4.2	IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA. .	80
2.4.3	DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO.....	95
2.4.4	MEDIDAS DE SEGURIDAD A TOMAR EN LA FASE DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA.....	97
2.5	SEGURIDAD EN LA CELDA DE MANUFACTURA.	98
2.5.1	SEÑALES Y SÍMBOLOS DE SEGURIDAD.....	100

CAPÍTULO III	104
CONFIGURACIÓN DEL CONTROL DE LA CELDA DE MANUFACTURA	104
3.1 GENERALIDADES.	104
3.2 DESARROLLO DEL CONTROL DEL BRAZO ROBÓTICO, BANDAS TRANSPORTADORAS Y MINI CENTRO DE MECANIZADO.....	105
3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.....	105
3.2.2 PROGRAMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.	110
3.2.3 CONFIGURACIÓN DEL PLC XC3-48RT-E.....	126
3.2.4 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS T-BOX PARA LA RED ETHERNET.	133
3.2.5 PROGRAMACIÓN DE LOS PLC'S.	141
3.2.6 PROGRAMACIÓN DEL CENTRO DE MECANIZADO.	144
3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL HMI EN LA CELDA DE MANUFACTURA.	145
3.3.1 COMANDOS PRINCIPALES DEL SOFTWARE.	146
3.3.2 PROGRAMACIÓN DEL HMI.....	147
3.4 PROCESAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO.	155
3.4.1 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE...	156
3.4.2 HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN EL PROGRAMA.....	161
3.4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD.....	162
3.4.4 ALGORITMO PARA EL CONTROL DE CALIDAD.	171
3.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA DEL CONTROL DE CALIDAD.	173
CAPÍTULO IV.....	175
PRUEBAS Y RESULTADOS.	175
4.1 PRUEBAS DE LOS EQUIPOS.....	175
4.1.1 BRAZO ROBÓTICO KUKA KR 16.	175

4.1.2	BANDAS TRANSPORTADORAS.	177
4.1.3	MINI CENTRO DE MECANIZADO.	178
4.1.4	SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD.	179
4.2	PRUEBAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS.	180
4.3	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON LOS EQUIPOS.	182
4.3.1	COMUNICACIÓN DEL DISTRIBUIDOR DE MATERIA PRIMA CON LA BANDA TRANSPORTADORA.	182
4.3.2	COMUNICACIÓN DE LAS BANDAS TRANSPORTADORAS CON EL BRAZO ROBOTICO KUKA KR 16.	184
4.3.3	COMUNICACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO CON EL MINI CENTRO DE MECANIZADO.	187
4.4	PRUEBAS EN LA CELDA DE MANUFACTURA.	189
4.4.1	PRUEBAS DE REPETIBILIDAD.	189
4.4.2	PRUEBAS DEL CONTROL DE CALIDAD.	191
4.5	RESULTADOS DE LA CELDA DE MANUFACTURA.	206
4.5.1	RESULTADOS DE LAS PIEZAS MECANIZADAS.	206
4.5.2	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.	208
4.5.3	ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS.	210
4.6	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CELDA DE MANUFACTURA.	213
CAPÍTULO V	214
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	214
4.7	CONCLUSIONES.	214
4.8	RECOMENDACIONES.	217
	BIBLIOGRAFÍA.	220
	GLOSARIO 	225
	ANEXOS 	229

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diseño de una celda de manufactura.....	1
Figura 1.2: Celda de manufactura atendida.	3
Figura 1.3: Celda de manufactura no atendida.	3
Figura 1.4: Disposición en línea.....	4
Figura 1.5: Disposición en U.....	4
Figura 1.6: Disposición en anillo.	5
Figura 1.7: Estación de distribución.	5
Figura 1.8: Estación de procesamiento.....	6
Figura 1.9: Estación de transporte.	6
Figura 1.10: Estación de clasificación y almacenamiento.	7
Figura 1.11: Torno CNC.....	8
Figura 1.12: Taladro de pedestal.	9
Figura 1.13: Fresadora CNC.....	10
Figura 1.14: Cartesiana.	12
Figura 1.15: Cilíndrica.....	12
Figura 1.16: Esférica.....	13
Figura 1.17: Brazo articulado.	14
Figura 1.18: Scara.	14
Figura 1.19: Banda transportadora plana.....	16
Figura 1.20: Banda transportadora de malla metálica.	16
Figura 1.21: Controlador lógico programable “PLC”	18
Figura 1.22: Lista de instrucciones.	20
Figura 1.23: Ladder (escalera).....	20
Figura 1.24: Partes de un servo motor AC.....	21
Figura 1.25: Servo motor AC con servo drive.	23
Figura 1.26: Imagen en blanco y negro.....	26
Figura 1.27: Imagen en escala de grises.	26
Figura 1.28: Imagen en color indexado 256.....	27
Figura 1.29: Imagen de color real RVA.....	27

Figura 1.30: Imagen en color real CMAN.....	28
Figura 1.31: Elementos de un sistema de visión artificial.....	30
Figura 1.32: Tipos de iluminación.....	30
Figura 1.33: Técnicas de iluminación.....	31
Figura 1.34: Panel frontal.....	33
Figura 1.35: Diagrama de bloques.....	34
Figura 1.36: Interfaz de Vision Builder.....	34
Figura 1.37: Acondicionamiento de señal.....	35
Figura 1.38: Sensor de desplazamiento - inductivo.....	36
Figura 1.39: Sensor de presión - manómetro.....	37
Figura 1.40: Servo motor.....	38
Figura 1.41: Actuador neumático.....	39
Figura 1.42: Actuador eléctrico.....	39
Figura 1.43: Diagrama de un HMI.....	40
Figura 1.44: Interfaz de un HMI.....	41
Figura 2.1: Celda de manufactura con una configuración en anillo.....	45
Figura 2.2: KUKA KR 16.....	48
Figura 2.3: Medidas principales y campo de trabajo.....	49
Figura 2.4: ExpertMill VMC - 600.....	49
Figura 2.5: Materia prima (MDF).....	50
Figura 2.6: Piezas dibujadas en SolidWorks.....	52
Figura 2.7: Banda transportadora plana TechDesign.....	54
Figura 2.8: NI EVS – 1464RT.....	56
Figura 2.9: Bloque terminal de E/S.....	57
Figura 2.10: Fuente NI PS – 15.....	57
Figura 2.11: Cámara Basler gigabit.....	58
Figura 2.12: Lente M0814-MP2.....	59
Figura 2.13: Distancias máximas de las cámaras.....	62
Figura 2.14: Distancias de la estructura.....	62
Figura 2.15: Módulo del sistema de visión artificial.....	63
Figura 2.16: Diagrama esquemático de E/S digitales.....	65

Figura 2.17: Dimensionamiento de la celda (mm).	67
Figura 2.18: Montaje de bandas transportadoras (eje x).	68
Figura 2.19: Montaje de bandas transportadoras (eje y).	69
Figura 2.20: Montaje del distribuidor.	71
Figura 2.21: Máximo alcance de trabajo (eje X).	71
Figura 2.22: Montaje del centro de mecanizado (eje X).	73
Figura 2.23: Dimensiones del centro de mecanizado en la mesa.	74
Figura 2.24: Dimensiones de la celda de manufactura.	74
Figura 2.25: Distribución de espacios.	75
Figura 2.26: Colocación y cableado.	76
Figura 2.27: Colocación y cableado de monitores.	76
Figura 2.28: Tablero principal de distribución.	77
Figura 2.29: Alimentación principal para el KUKA KR 16.	78
Figura 2.30: Conexiones de E/S de los PLC´s.	80
Figura 2.31: Módulo T-BOX.	81
Figura 2.32: Diagrama de conexiones.	82
Figura 2.33: Touch panel TP760-T.	83
Figura 2.34: Módulo de entradas digitales.	84
Figura 2.35: Módulo de salidas digitales.	84
Figura 2.36: Conexiones de E/S del mini centro de mecanizado.	85
Figura 2.37: Diagrama de conexión.	85
Figura 2.38: Configuración de la IP.	86
Figura 2.39: Measurement & Automation (MAX).	87
Figura 2.40: Datos configurables para el EVS.	88
Figura 2.41: Pylon IP Configuration Tool.	88
Figura 2.42: Cámaras reconocidas por el EVS.	89
Figura 2.43: Estación de distribución.	93
Figura 2.44: Estación de mecanizado.	93
Figura 2.45: Estación de control de calidad.	94
Figura 2.46: Estación de transporte.	95
Figura 2.47: Descripción del proyecto.	96

Figura 2.48: Señalización en la celda de manufactura.....	98
Figura 2.49: Celda de manufactura con vallas de protección.....	99
Figura 3.1: Método de los 3 puntos.....	106
Figura 3.2: Configuración de la base.	106
Figura 3.3: Asignación de nombre y número de base.	107
Figura 3.4: Número de la herramienta.	107
Figura 3.5: Posicionamiento en el origen.	107
Figura 3.6: Medición XYZ de los 4 puntos.	108
Figura 3.7: Configuración de la herramienta.	109
Figura 3.8: Asignación número y nombre.	109
Figura 3.9: Punto de referencia.....	110
Figura 3.10: Selección del grupo de usuario.	111
Figura 3.11: Programador Experto.....	112
Figura 3.12: Ingreso de clave.	112
Figura 3.13: Selección de un nuevo archivo.	112
Figura 3.14: Nombre del archivo.....	114
Figura 3.15: Archivo.....	114
Figura 3.16: Ventana de programación.....	115
Figura 3.17: Archivo.....	115
Figura 3.18: Posición HOME.	116
Figura 3.19: Punto para la nueva posición HOME.	116
Figura 3.20: Formulario inline para movimientos PTP.....	117
Figura 3.21: Formulario Inline para movimientos LIN.....	119
Figura 3.22: Diagrama de flujo del brazo robótico.....	125
Figura 3.23: Conexión de entradas al PLC.	127
Figura 3.24: Conexión de salidas del PLC.	128
Figura 3.25: Instrucción PLSF.....	131
Figura 3.26: Instrucción DPLSF.	131
Figura 3.27: Instrucción PLSR.	132
Figura 3.28: Número de estación y T_BOX maestro/esclavo.....	134
Figura 3.29: Software XC Series Program Tool.	135

Figura 3.30: Configuración del puerto común del PLC.....	135
Figura 3.31: Selección del puerto de comunicación.....	136
Figura 3.32: Asignación número de estación (maestro).....	136
Figura 3.33: Asignación del puerto serial BD.....	137
Figura 3.34: Verificación del módulo ethernet.....	137
Figura 3.35: Comunicación del módulo T-BOX.....	138
Figura 3.36: Cambio de IP del módulo T-BOX.....	138
Figura 3.37: Ingreso de estaciones e IP.....	139
Figura 3.38: Asignación número de estación (esclavo).....	139
Figura 3.39: Verificación de IP.....	140
Figura 3.40: Comprobación de direcciones IP.....	140
Figura 3.41: Diagrama de flujo de la banda N.- 3.....	142
Figura 3.42: Diagrama de flujo de la banda N.-4.....	143
Figura 3.43: Códigos G y M.....	144
Figura 3.44: Software Mastercam X6.....	145
Figura 3.45: G1 comando para generar códigos G.....	145
Figura 3.46: Software TouchWin Edit Tool.....	146
Figura 3.47: Selección del touch y PLC.....	148
Figura 3.48: Datos del archivo.....	148
Figura 3.49: Ventanas principales.....	149
Figura 3.50: Comando Map para gráficos.....	150
Figura 3.51: Comando Text para textos.....	150
Figura 3.52: Comando Screem Jump.....	151
Figura 3.53: Comando Lamp Button.....	151
Figura 3.54: Comando Lamp.....	152
Figura 3.55: Comando Real Time Event.....	153
Figura 3.56: Comando Digital Input para el control de velocidad.....	153
Figura 3.57: Comando Digital Display para contadores.....	154
Figura 3.58: Programa descargado.....	154
Figura 3.59: Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes.....	155

Figura 3.60: Ventana principal de NI Vision Builder AI.....	157
Figura 3.61: Instalación del software.	158
Figura 3.62: Datos de la tarjeta del EVS.	158
Figura 3.63: Dirección IP del EVS: 192.168.0.30.	159
Figura 3.64: Selección de NI Vision Builder AI en el computador.....	159
Figura 3.65: Proceso de instalación.	160
Figura 3.66: Configuración terminada.	160
Figura 3.67: Ventana principal de NI Vision Builder AI.	161
Figura 3.68: NI Vision Builder AI.	163
Figura 3.69: Ventanas de Vision Builder.	163
Figura 3.70: Diagrama de estado para la inspección.	165
Figura 3.71: Análisis de pieza perforada.	166
Figura 3.72: Primera condición (pieza perforada).	166
Figura 3.73: Segunda condición (pieza perforada).	167
Figura 3.74: Tercera condición (pieza perforada).	168
Figura 3.75: Cuarta condición (pieza perforada).	168
Figura 3.76: Quinta condición (pieza perforada).	169
Figura 3.77: Sexta condición (pieza perforada).....	169
Figura 3.78: Séptima condición (pieza perforada).....	170
Figura 3.79: Octava condición (pieza perforada).	170
Figura 3.80: Diagrama de flujo del control de calidad.	172
Figura 3.81: Computador para el HMI.....	173
Figura 4.1: Comprobación de las señales de entradas y salidas.....	177
Figura 4.2: Tiempo de mecanizado.....	178
Figura 4.3: Verificación de señales de voltaje y corriente.	181
Figura 4.4: Relé de salida.	183
Figura 4.5: Señales del PLC y módulo WAGO.....	185
Figura 4.6 Verificación de señales.	187
Figura 4.7 Señales del mini centro de mecanizado y módulo WAGO. ...	188
Figura 4.8: Movimientos programados del brazo robótico.....	189
Figura 4.9: Resultados de la prueba de repetitividad del brazo robótico. .	190

Figura 4.10: Inspección de la circunferencia.	191
Figura 4.11: Pruebas del diámetro de la circunferencia.	192
Figura 4.12: Inspección de la altura del diente.	193
Figura 4.13: Pruebas en la altura del diente.	194
Figura 4.14: Inspección del área total de la cruz.	195
Figura 4.15: Pruebas del área total de la cruz.	196
Figura 4.16: Inspección de la altura de la cruz.	197
Figura 4.17: Pruebas en la altura de la cruz.	198
Figura 4.18: Inspección del número de orificios y diámetros.	199
Figura 4.19: Pruebas de espacio entre orificios.	200
Figura 4.20: Pruebas del diámetro exterior de la circunferencia.	202
Figura 4.21: Pruebas del diámetro interior de la circunferencia.	203
Figura 4.22: Inspección del número de orificios y diámetros.	204
Figura 4.23: Pruebas de la altura superior.	205
Figura 4.24: Pruebas de la altura inferior.	206
Figura 4.25: Mecanizado manual vs mecanizado automático.	207
Figura 4.26: Tiempo de producción en piezas mecanizadas.	208
Figura 4.27: Precio de una celda de manufactura.	213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Dimensiones de la celda.	45
Tabla 2.2: Dimensiones de la materia prima.	50
Tabla 2.3: Dimensiones de los ejes.	51
Tabla 2.4: Características de exactitud.	51
Tabla 2.5: Tipo de herramienta.	51
Tabla 2.6: Operaciones de fresado.	53
Tabla 2.7: Dimensiones máximas plano X-Y.....	61
Tabla 2.8: Dimensiones máximas plano X-Z.....	61
Tabla 2.9: Número de E/S digitales.	66
Tabla 2.10: Elementos de la celda.	66
Tabla 2.11: Cargas de los equipos.	79
Tabla 2.12: Direcciones IP establecidas.	87
Tabla 2.13: Funciones de E/S de los componentes.	90
Tabla 2.14: Colores de seguridad y significado.....	100
Tabla 2.15: Señales de seguridad.	101
Tabla 2.16: Señales de seguridad.	102
Tabla 3.1: Estructura de programación y funciones.	113
Tabla 3.2: Denominación de campo y funciones (PTP).	118
Tabla 3.3: Denominación de campo y funciones (LIN).....	119
Tabla 3.4: Datos para las interrupciones.....	122
Tabla 3.5: Distribución (X).	126
Tabla 3.6: Distribución (Y).	127
Tabla 3.7: Tipos de relés auxiliares.	128
Tabla 3.8: Tipos de relés de estado o subrutinas.....	129
Tabla 3.9: Tipos de temporizadores.....	129
Tabla 3.10: Tipos de contadores.....	130
Tabla 3.11: Tipo de registro de datos.....	130
Tabla 3.12: Funciones del dip switch.	134
Tabla 3.13: Barra de herramientas.	146

Tabla 3.14: Toolkits para trabajar con el EVS.	157
Tabla 3.15: Instrumentos virtuales de NI Vision Builder.	161
Tabla 4.1: Verificación de movimientos de ejes del Robot.	175
Tabla 4.2: Verificación de entradas del módulo WAGO.	176
Tabla 4.3: Verificación del proceso y tiempo de mecanizado.	178
Tabla 4.4: Comunicación de los equipos con el software.	179
Tabla 4.5: Verificación de las salidas del bloque terminal.	179
Tabla 4.6: Verificación de voltajes y corrientes enviadas por el PLC.	180
Tabla 4.7: Verificación de voltajes y corrientes para los equipos.	181
Tabla 4.8: Distribuidor de materia prima con banda transportadora.	183
Tabla 4.9: Banda transportadora N.- 3 con brazo robótico.	184
Tabla 4.10: Pruebas de señal de la banda N.- 3 y módulo WAGO.	185
Tabla 4.11: Banda transportadora N.- 4 con el brazo robótico.	186
Tabla 4.12: Pruebas de señal de la banda N.- 4 y módulo WAGO.	186
Tabla 4.13: Brazo robótico con mini centro de mecanizado.	187
Tabla 4.14: Pruebas de señal del módulo WAGO y mini centro.	188
Tabla 4.15: Medición de separaciones.	190
Tabla 4.16: Medición del diámetro.	191
Tabla 4.17: Medición de la altura del diente.	193
Tabla 4.18: Medición del área total de la cruz.	195
Tabla 4.19: Medición de la altura.	197
Tabla 4.20: Medición entre orificios.	199
Tabla 4.21: Medición del diámetro externo de la circunferencia.	201
Tabla 4.22: Medición del diámetro interno de la circunferencia.	201
Tabla 4.23: Medición de la altura superior.	204
Tabla 4.24: Medición de la altura inferior.	204
Tabla 4.25: Prueba de tiempo y control de calidad.	207
Tabla 4.26: Equipo del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga.	211
Tabla 4.27: Equipo y material proporcionado por los estudiantes.	211

RESUMEN

En la actualidad la industria del país está abriendo caminos a la modernización y automatización de los procesos de trabajo, con el fin de mejorar la eficiencia en los productos y así obtener mayor competitividad en el mercado nacional e internacional. Con esta filosofía, el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L busca aportar con conocimientos teóricos y prácticos a la modernización de los procesos de automatización a través de la implementación de los equipos en una celda de manufactura, donde interactúen cada uno de ellos con el fin de cumplir un objetivo en común.

El objetivo de este proyecto es el de diseñar e implementar una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y realizar el control de calidad de piezas mecanizadas a través de visión artificial.

Para la implementación de la celda de manufactura, se realizó un estudio de las características técnicas y del funcionamiento de los equipos disponibles; para proceder con el diseño de la celda de manufactura. Las conexiones físicas del brazo robótico se ejecutaron a través de las E/S del módulo WAGO (Sistema Modular de E/S). Así también se realizó las conexiones de las bandas transportadoras que fueron programadas a través del PLC XC3-48RT-E. Para el control de calidad de piezas se usó un sistema de visión artificial, compuesto por un EVS (Sistema Embebido de Visión), diseñado para procesar imágenes en tiempo real desde dos cámaras que se encargan de capturar la imagen superior y lateral de la pieza.

Así, se obtiene una celda de manufactura que combina técnicas de visión artificial y ciencias afines a máquinas CNC, con lo cual se logra una visión más amplia del aporte de la Ingeniería en Mecatrónica, logrando beneficios que pueden ser alcanzados a nivel industrial de manera más óptima.

ABSTRACT

At present the country's industry is making inroads to the modernization and automation of work processes in order to improve the efficiency and effectiveness of the products and get more competitive in the national and international market. With this philosophy, the Industrial Robotics Laboratory of the ESPE-L seeks to contribute with knowledge and skills to modernize automation processes through the implementation of computers in a manufacturing cell, where they interact with each in order to meet a common goal.

The objective of this project is to design and implement a manufacturing cell with robot arm and perform centralized quality control of machined parts through vision.

For the implementation of manufacturing cells, we performed a study of the technical characteristics and operation of the equipment available, to proceed with the design of the manufacturing cell. Physical connections robotic arm through the I/O WAGO module (Modular I/O System). This also made connections conveyor belts that were scheduled through the PLC XC3-48RT-E. To control part quality using an artificial vision system, consisting of an EVS (Embedded Vision System), designed to process images in real time from two houses that handle image capture top and sides of the piece.

So, you get a manufacturing cell that combines computer vision techniques and related sciences to CNC machines, which is accomplished with a broader view of the contribution of Mechatronics Engineering, achieving benefits that can be achieved industrially more optimally .

PRESENTACIÓN

El presente proyecto describe el proceso de una celda de manufactura, referente a la función que realiza cada una de sus estaciones, centrándose en integrar las técnicas de visión artificial orientadas al reconocimiento y clasificación de piezas mecanizadas.

El Capítulo I, contiene la información referente a celdas de manufactura, brazos industriales, bandas transportadoras, PLC's, visión artificial, sensores, actuadores, HMI y herramientas disponibles para el control de calidad, información necesaria para el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo II, se presenta el diseño de la celda de manufactura; los criterios, características que se usa para la implementación, componentes y funciones que realiza cada uno de ellos, seguridades que se implementan y que deben ser conocidas por el personal que trabajará en la celda.

El Capítulo III, describe los pasos que se siguieron para la configuración del proceso de control del brazo robótico, bandas transportadoras, mini centro de mecanizado y el control de calidad del producto; así como de la implementación de un HMI en la celda de manufactura.

En el Capítulo IV, se observa los resultados obtenidos de la aplicación de las pruebas experimentales realizadas al sistema de la celda de manufactura, con lo cual se determinó el comportamiento del brazo robótico, bandas transportadoras, mini centro de mecanizado, sistema HMI y control de calidad, los mismos que permiten validar la hipótesis planteada.

En el Capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones que servirán de base para proyectos futuros.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 CELDA DE MANUFACTURA.

“Una celda de manufactura es un conjunto de componentes electrónicos y electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para la fabricación en serie de un producto” (Almeida, Naranjo, 2008, p. 24).

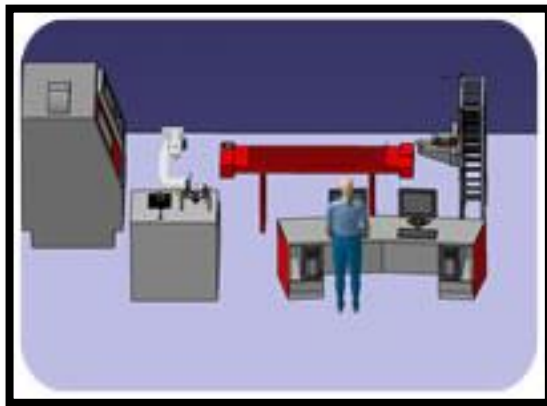


Figura 1.1: Diseño de una celda de manufactura.

El diseño de una celda de manufactura, como la que se indica en la Figura 1.1, permite identificar los componentes necesarios que darán paso al cumplimiento del proceso, es decir qué elementos van a formar parte de la elaboración del producto final. Cada elemento en conjunto de la celda de manufactura debe cumplir ciertas especificaciones o características que marcan la diferencia en rendimiento dentro de los sistemas de manufactura, éstas son:

- **Flexibilidad.**- Es la adaptación a cambios en el ambiente, tales como el reemplazo o incorporación de nuevos elementos en la celda.

- **Reconfigurabilidad.-** Es la capacidad de reestructuración de la celda tanto físicamente como en su programación, para poder realizar más de un proceso y diferentes productos.
- **Tolerancia a fallas.-** Es la capacidad de que los dispositivos trabajen eficientemente aun cuando existan fallas.
- **Calidad.-** Es el resultado, en el caso de un proceso automatizado se considera cuando existe mayor consistencia en la manufactura.
- **Aumento de la productividad.-** Es cuando se logra reducir intervalos de tiempo importantes en un proceso.
- **Espacio físico reducido.-** Se da cuando se incrementa la eficiencia del espacio de trabajo utilizado, distribuyéndole de mejor manera.

1.1.1 TIPOS.¹

Se puede mencionar dos tipos de clasificaciones de celdas de manufactura, las cuales se indican a continuación:

a. Celdas atendidas.

Se refiere a las celdas en las que el operador puede mover y transferir material manualmente; generalmente esto sucede si el material no es demasiado pesado o el movimiento no resulta demasiado peligroso (Figura 1.2).

¹ Lorenzo G., (2009, abril 15). *Celdas de Manufactura*. Extraído el 21 de julio del 2012 desde <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r69354.PDF>



Figura 1.2: Celda de manufactura atendida.

b. Celdas no atendidas.

Se refiere a las celdas en las que solo el robot industrial manipula el material (Figura 1.3).



Figura 1.3: Celda de manufactura no atendida.

1.1.2 CONFIGURACIÓN DE LAYOUTS.

A continuación se presenta algunas de las configuraciones de una celda de manufactura:

a. Disposición de celda en línea.

Las maquinarias de las celdas se encuentran en una disposición lineal, como se indica en la Figura 1.4.



Figura 1.4: Disposición en línea.

b. Disposición de celda en U.

Las maquinarias de las celdas se encuentran en una disposición en U, como se indica en la Figura 1.5.

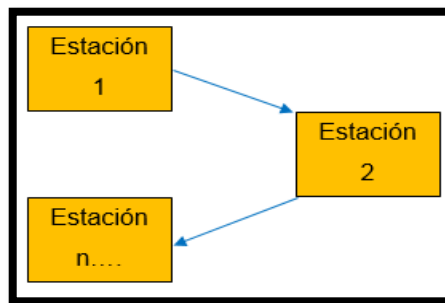


Figura 1.5: Disposición en U.

c. Disposición de celda en anillo.

La mayor parte de maquinaria en la celda se encuentra en una disposición tipo anillo; es un tipo recomendado para robots fijos al piso y que describan un movimiento circular (Figura 1.6).

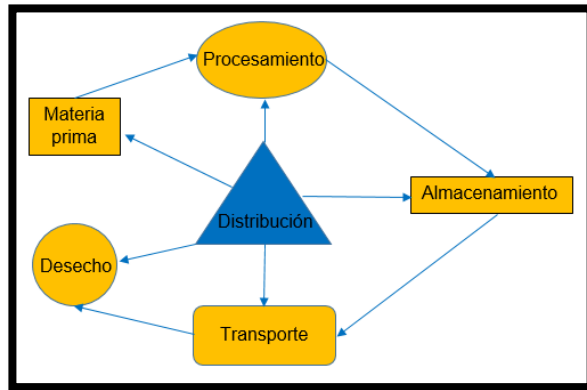


Figura 1.6: Disposición en anillo.

1.1.3 ESTACIONES.

Una celda de manufactura está compuesta de las siguientes estaciones (Almeida et al., 2008):

a. Estación de distribución.

Compuesta por un sistema que puede ser eléctrico, neumático, hidráulico o un depósito desde el cual se canaliza la materia prima hasta una próxima estación donde será manipulada. La Figura 1.7, indica una estación de distribución.



Figura 1.7: Estación de distribución.

b. Estación de procesamiento.

Se compone de un manipulador que se encarga de tomar la materia prima para dirigirla a su lugar de procesamiento (troquelado, sellado, perforado, etc.) para luego colocar el producto terminado en la siguiente estación. En la Figura 1.8, se muestra una estación de procesamiento.



Figura 1.8: Estación de procesamiento.

c. Estación de transporte.

Está compuesta por una banda transportadora que canaliza las piezas trabajadas hacia otros dispositivos o estaciones, el reconocimiento del dispositivo se hace a través de sensores con los que se ubica a la pieza en la próxima fase de producción. En la Figura 1.9, se observa una estación de transporte compuesta por dos bandas transportadoras.

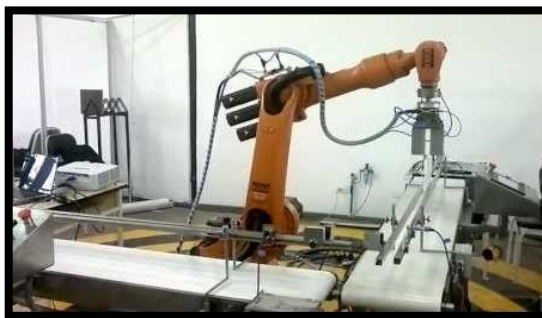


Figura 1.9: Estación de transporte.

d. Estación de clasificación y almacenamiento.

Compuesta por actuadores que se encargan de trasladar la pieza hacia su lugar de almacenamiento en stock, donde se colocan las piezas de acuerdo a su identificación, forma geométrica, etc. Esta estación también es conocida como Sistemas AS/RS (sistemas automáticos de almacenaje y recuperación), los cuales son necesarios para llevar a cabo actividades cada vez más complejas y proveer fiabilidad y flexibilidad para necesidades futuras. Los AS/RS (Figura 1.10) presentan una extraordinaria oportunidad para reducir costos de mano de obra, eléctricos y otros costos de operación y para aumentar los niveles de servicio al cliente.



Figura 1.10: Estación de clasificación y almacenamiento.

1.1.4 COMPONENTES.

Los componentes que forman parte de una celda de manufactura se describen a continuación:

a. Máquinas CNC.

Una máquina herramienta de control numérico, se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El moldeado

de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, estampado, corte o electroerosión (Urrego, 2004).

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, pueden hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales. Entre los tipos de máquinas herramientas, están las siguientes: ²

a.1 Torno.

Es una de las máquinas más antiguas que trabaja mediante el arranque de material, a través de una herramienta cortante y brocas. Para ello la pieza gira y por medio de un carro, en el que se sitúa la herramienta se desgasta la pieza, lo que permite obtener partes cilíndricas y cónicas. Si se coloca una broca en el husillo se puede realizar agujeros. En la Figura 1.11, se indica un torno CNC que se usa para el mecanizado.



Figura 1.11: Torno CNC.

² Ford H., (2001). *Teoría del Taller*. (Ed. Gustavo Gili, S.A) (pp. 154-265). Barcelona, España.

a.2 Taladros.

Destinados para perforación, en ellos el útil es el que gira y la pieza permanece fija a una mordaza o colocación. El útil suele ser normalmente en los taladros una broca, que debidamente afilada realiza el agujero correspondiente. También se pueden realizar otras operaciones con diferentes útiles, como avellanar y escariar. En la Figura 1.12, se puede observar un taladro de pedestal.



Figura 1.12: Taladro de pedestal.

a.3 Fresadora CNC.

Con la finalidad de obtener superficies lisas o de una forma concreta, las fresadoras son máquinas complejas en las que el útil gira y la pieza permanece fija a una bancada móvil. El útil utilizado es la fresa, que suele ser redonda con diferentes filos cuya forma coincide con la que se quiere dar a la pieza a trabajar. La pieza se coloca sólidamente fijada a un carro que la acerca a la fresa en las tres direcciones, esto es en los ejes X, Y y Z. En la Figura 1.13, se observa una Fresadora CNC.



Figura 1.13: Fresadora CNC.

El control numérico computarizado, ha sido uno de los más importantes desarrollos en manufactura en los últimos 50 años, al permitir:

- ✓ Nuevas técnicas de producción.
- ✓ Incrementar la calidad de los productos.
- ✓ Reducción de costos.

Ospina (2002) explica que el control numérico computarizado, se refiere al control numérico de máquinas, generalmente máquinas - herramientas. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de un computador mediante códigos numéricos que siguen una secuencia lógica para que la máquina esté diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado; esto se ejerce a través del siguiente proceso:

- ✓ Programación.
- ✓ Interface.
- ✓ Máquinas Herramientas CNC.

b. Robot Industrial.³

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial, sin embargo las definiciones posiblemente más aceptadas son:

- ✓ Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas (Asociación de Industrias Robóticas- RIA).
- ✓ Es una máquina de manipulación automática reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento (Federación Internacional de Robótica -IFR).

b.1 Tipos de configuraciones morfológicas.

Existen varias estructuras clásicas en los manipuladores, que se relacionan con los correspondientes modelos de coordenadas en el espacio y que se citan a continuación (Jones, Flynn, 1993):

b.1.1 Cartesiana.

El posicionando se hace en el espacio de trabajo con las articulaciones prismáticas. Esta configuración se usa bien cuando un espacio de trabajo es grande y debe cubrirse, o cuando la exactitud consiste en la espera del robot. La Figura 1.14, indica tres movimientos lineales, es decir, que tiene

³ Hernández M., (2004, febrero 20). *Robótica Industrial*. Extraído el 21 de julio del 2012 desde <http://isa.umh.es/asignaturas/rvc/tema1.pdf>

tres grados de libertad, los cuales corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z.

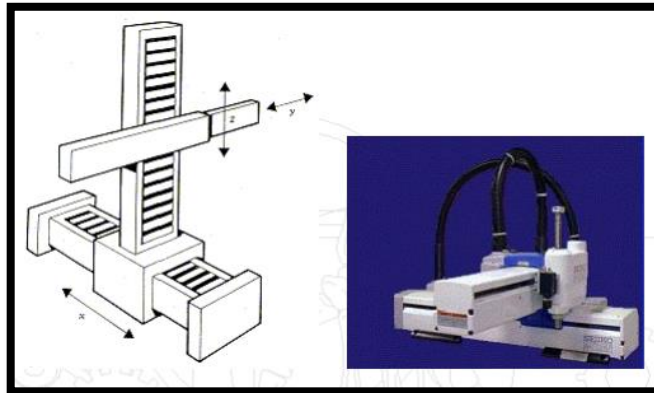


Figura 1.14: Cartesiana.

b.1.2 Cilíndrica.

El robot tiene un movimiento de rotación sobre una base; una articulación prismática para la altura, y una prismática para el radio. Este robot ajusta bien a los espacios de trabajo redondos. Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, o sea, que presenta tres grados de libertad. En la Figura 1.15, se observa una configuración morfológica con sus desplazamientos correspondientes.

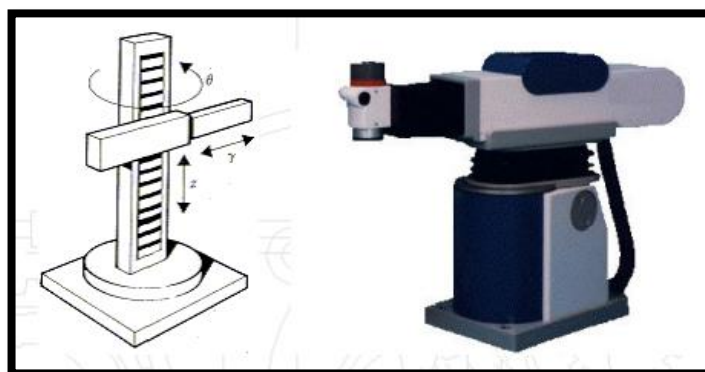


Figura 1.15: Cilíndrica.

b.1.3 Esférica.

Dos juntas de rotación y una prismática permiten al robot apuntar en muchas direcciones, y extender la mano a un poco de distancia radial. Los movimientos son: rotacional, angular y lineal. Como se muestra en la Figura 1.16, este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.

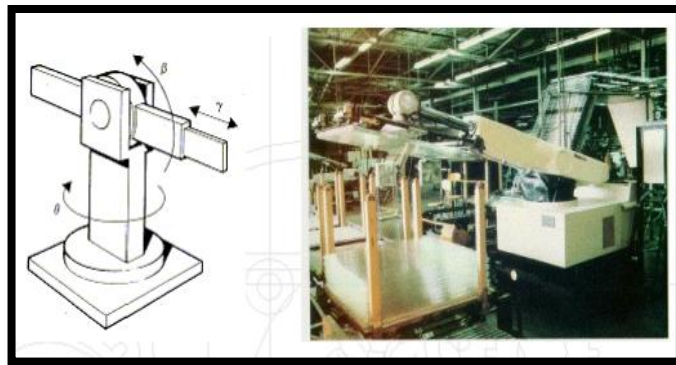


Figura 1.16: Esférica.

b.1.4 Brazo articulado.

El robot usa 3 juntas de rotación para posicionarse. Generalmente, el volumen de trabajo es esférico. Estos tipos de robot se parecen al brazo humano (Figura 1.17), con una cintura, el hombro, el codo, la muñeca. Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares. Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular.

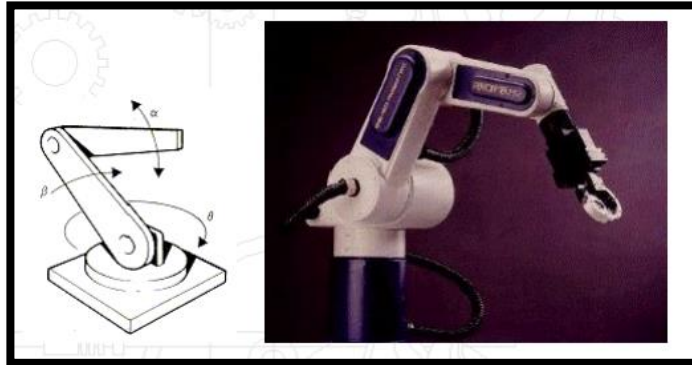


Figura 1.17: Brazo articulado.

Dentro de la configuración morfológica de brazo articulado se encuentra el Robot Industrial KUKA KR 16.

b.1.5 Scara.

El scara (selective compliance assembly robot arm) es similar al de configuración cilíndrica, pero el radio y la rotación se obtienen por uno o dos eslabones. Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales. En la Figura 1.18, se indica al robot de configuración SCARA en un movimiento lineal (mediante su tercera articulación).

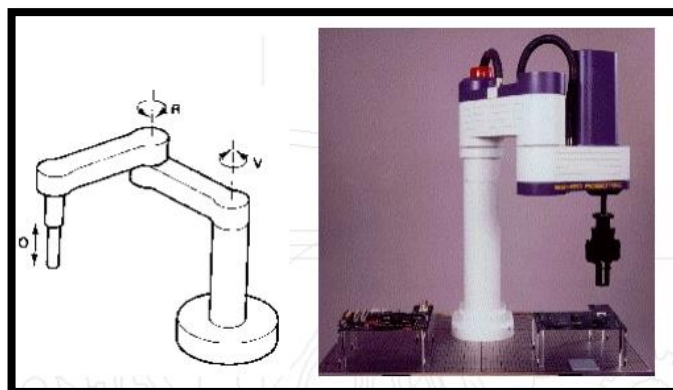


Figura 1.18: Scara.

c. Bandas transportadoras.

Spotts (1998) explica que una banda transportadora es un sistema de transporte continuo que se mueve entre dos tambores. La banda es arrastrada por fricción por uno de los tambores, que a su vez es accionado por un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores.

La cinta de la banda normalmente está hecha de un tejido a base de poliéster/nylon (EP), nylon (NN), algodón, PVC o acero, cubierto con goma sintética. El tejido y cubiertas deben escogerse en base a la resistencia a la tracción, a los cortes, a los aceites y al fuego.

Las bandas transportadoras se usan como componentes en la distribución y almacenaje automatizados. Combinados con equipos informatizados de manejo de palés, permiten una distribución minorista, mayorista y manufacturera más eficiente, permitiendo ahorrar mano de obra y transportar rápidamente grandes volúmenes en los procesos, lo que ahorra costes a las empresas que envían o reciben grandes cantidades, reduciendo además el espacio de almacenaje necesario.

c.1 Tipos de bandas transportadoras.

Existen diversos tipos de bandas transportadoras que son utilizadas dentro de la industria manufacturera, las cuales se describen a continuación (Orthwein, 1996):

c.1.1 Plana.

Es usada para cargas unitarias, como cajas o bolsas. La Figura 1.19, indica una banda soportada por rodillos o por travesaños planos.



Figura 1.19: Banda transportadora plana.

c.1.2 Malla metálica.

Fabricadas en distintos metales y aleaciones (Figura 1.20), generalmente están constituidas por espiras de alambre unidas entre sí por varillas onduladas o rectas. Permiten su utilización en aplicaciones extremas de temperatura (-180 °C a 1200 °C), corrosión química o donde se requiera una superficie libre determinada.



Figura 1.20: Banda transportadora de malla metálica.

También existen otras bandas transportadoras, como son:

- ✓ Modulares.
- ✓ De goma.
- ✓ PVC y PU.

d. Sistema de visión artificial.

Los elementos básicos de un sistema de visión artificial son:

- ✓ El sistema de iluminación (fluorescente, led, polarizada, laser).
- ✓ La cámara de captura de imagen.
- ✓ Tarjeta de captura de elevado ancho de banda (firewire, cámara LINK, gigabit ethernet).
- ✓ Procesamiento de imagen (procesadores y algoritmos de pretratamiento y filtrado de la imagen, de segmentación y reconocimiento de formas, de extracción de descriptores y clasificación).
- ✓ Sincronía con el proceso, para adquirir la imagen en el momento adecuado y para actuar con el proceso o separar unidades defectuosas.

1.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).⁴

Un controlador lógico programable (programmable logic controller “PLC”) (Figura 1.21), es un dispositivo de estado sólido, basado en microprocesadores que permite el control secuencial en tiempo real de una máquina o proceso. Un PLC incluye módulos de entrada/salida tipo digital y análogo, y memoria para el almacenamiento de instrucciones, destinadas a realizar funciones específicas tales como lógica secuencial, procesamiento aritmético y control análogo.

⁴ Montanero A., (1990). *Autómatas Programables. Fundamento, manejo, instalación y prácticas.* (Ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A). (pp. 10-28). Madrid, España.



Figura 1.21: Controlador lógico programable “PLC”.

1.2.1 ESTRUCTURA INTERNA.

Un PLC es un conjunto de dispositivos electrónicos digitales, con alto grado de integración, capaz de ser programados a través de un lenguaje específico y que sirve para controlar procesos industriales. Dentro de los dispositivos característicos con que cuentan estos equipos está (Montanero et al., 1990):

- **Unidad central de procesos (CPU).**- En éste encuentra la memoria que almacena el programa, la base de datos, el estatus del procesador y los elementos internos que permiten el control de los temporizadores, contadores e instrucciones para operaciones lógicas.
- **Interfaces de entradas y salidas.**- Establecen la comunicación con la planta, permiten ingresar la información proveniente de los sensores, interruptores, etc, y enviar información a motores, electroválvulas y accionamientos en general. Para esto, las interfaces deben filtrar, adaptar y codificar adecuadamente las señales.
- **Dispositivos de programación (interfaz humano-máquina).**- Mediante la interfaz con el operador, se tiene acceso a la información que permite controlar y conocer el funcionamiento de la planta. La

interfaz más usual es un terminal de programación, resistente al ambiente industrial y de tipo portátil, el cual sirve para introducir, modificar y editar el programa de usuario que ejecutará el procesador central, permitiendo el diagnóstico y localización de fallas.

- **Comunicaciones.-** La red de comunicaciones tiene una gran importancia pues permite una utilización más completa de las capacidades del sistema de producción avanzado. Mediante el uso de redes de área local se pueden interconectar varios PLC's y las diferentes componentes que forman el sistema total, logrando con ello su mejor administración y operación.

- **Fuente de alimentación.-** La fuente de alimentación convierte altos voltajes de corriente de línea (115v, 230v AC) a bajos voltajes (5v, 15v, 24v DC) requeridos por el CPU y los módulos de entradas y salidas.

1.2.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.⁵

Los PLC's soportan dos tipos de programación:

a. Lista de instrucciones.

Está basado en un listado de símbolos nemotécnicos cercanos al lenguaje máquina. Se escribe en formato de texto, utilizando caracteres alfanuméricos para definir las líneas de operaciones lógicas. Suele ser un lenguaje potente pero a la vez mucho más complejo. En la Figura 1.22, se muestra un ejemplo de programación mediante lista de instrucciones.

⁵ Acevedo J., López S., Pérez E., (2005). *Autómatas Programables. Entorno y Aplicaciones*. (Ed. International Thomson Editores Spain Paraninfo S.A) (pp. 36-55). Madrid, España.

PLC1 - Instruction List		
0	LD	M8000
2	OUT	Y5
4	LD	M0
6	DMOV	K300000 D0
10	LD	M1
12	DPLSF	K30000 Y0
16	SET	Y1
18	END	

Figura 1.22: Lista de instrucciones.

b. Ladder (forma de diagrama de escalera).

El diagrama lógico esta realizado bajo la lógica de los esquemas eléctricos, el cual incluye contactos y bobinas. Este lenguaje está basado en renglones en los que se establecen las condiciones necesarias para tener una salida. Este tipo de programación se utiliza en gran manera en el control secuencial de un proceso u operación de manufactura. En la Figura 1.23, se muestra un ejemplo de programación mediante escalera.

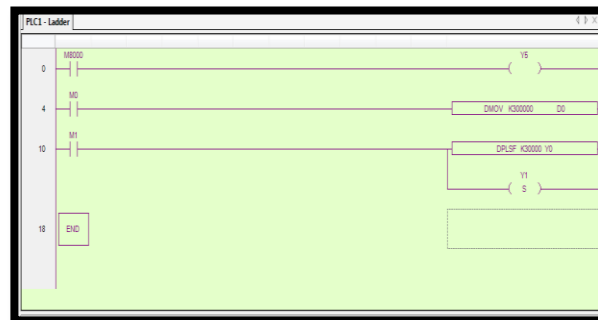


Figura 1.23: Ladder (escalera).

1.3 SERVO MOTORES AC.

Un servo motor es un motor eléctrico con capacidad de ser controlado, en velocidad y/o posición (Ordoñez, 2003).

- **Control en velocidad.-** Posibilidad de hacer girar al motor a una velocidad determinada independientemente de la carga o fuerza que deba vencer.
- **Control en posición.-** Posibilidad de realizar desplazamientos entre dos posiciones determinadas con precisión.

La forma más adecuada de realizar cualquiera de estas operaciones es mediante un control en lazo cerrado, en el cual se están midiendo continuamente velocidad y posición para, en función de estos valores, aportar mayor o menor tensión al motor. Los servo motores AC, se utilizan en aplicaciones que requieren características de respuesta rápida y precisa. Para conseguir estas características, estos servo motores de AC tienen un rotor de diámetro pequeño, el cual también provee de baja inercia para arranques, paradas y retrocesos. En la Figura 1.24, se indica las partes de las que está compuesto un servo motor AC.

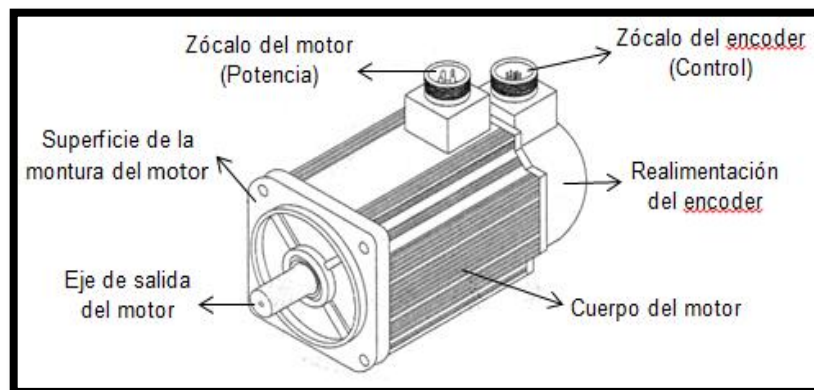


Figura 1.24: Partes de un servo motor AC.

1.3.1 FUNCIONAMIENTO.

El motor de inducción diseñado para el uso del servo se enrolla con dos fases físicamente en ángulo recto o en un espacio de cuadratura. Un arrollamiento fijo o de referencia es excitado por una fuente de voltaje fijo,

mientras que el devanado de control es excitado por una tensión de control ajustable o variable, por lo general de un servo amplificador. Los bobinados del servo motor son a menudo diseñados con la misma tensión/relación de vueltas, por lo que los insumos de energía de excitación máxima son de fase fija, y la señal máxima de la fase de control, está en equilibrio.

1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Las ventajas y desventajas de la tecnología en servo motores son (Faires, 1982):

- ✓ Mayores torques en equipos más pequeños.
- ✓ Peso más ligero (para potencias iguales).
- ✓ Mayor capacidad de rango de velocidad.
- ✓ Modelos operados por torque o por velocidad.
- ✓ Posicionamiento y aceleración más rápidos.
- ✓ El servo motor está diseñado para proporcionar control y "desempeño" precisos.
- ✓ Un pequeño tamaño también conduce a un menor peso, (al comparar los pesos de motores de inducción y servomotores de potencia similar se aprecia que los servo motores son mucho más ligeros, entre un 40 a 50% y en algunos casos, incluso hasta un 70% más ligeros).
- ✓ El tamaño más pequeño reduce la masa o la inercia del rotor. Esto permite una aceleración y posicionamiento más rápidos; lo cual se refleja directamente en el desempeño de la máquina.

Las desventajas en servo motores son:

- ✓ Necesidad del personal especializado.
- ✓ Sólidos conocimientos sobre programación y computadores.
- ✓ Mantenimiento más complejo.
- ✓ Mayores inversiones en maquinaria.

1.3.3 SERVO DRIVE.

Un servo drive es un amplificador electrónico especial, utilizado para energía eléctrica de servomecanismos que controla la retroalimentación de la señal del servomecanismo y continuamente ajusta la desviación del comportamiento esperado (GSK, 2009).

El servo drive (Figura 1.25), trabaja en conjunto con el servo motor.



Figura 1.25: Servo motor AC con servo drive.

Una unidad del servo drive recibe una señal de mando de un sistema de control, amplifica la señal, y transmite corriente eléctrica a un servo motor con el fin de producir el movimiento proporcional a la señal de mando. Típicamente, la señal de mando representa una velocidad deseada, pero también puede representar un par deseado o posición. Un sensor conectado al servomotor informa sobre el estado real del motor a la unidad del servo drive. La unidad de servo drive a continuación compara el estado actual del motor con el estado del motor seteado alterando la tensión de frecuencia o amplitud de pulso para el motor a fin de corregir cualquier desviación de la condición de mandado.

1.4 VISIÓN ARTIFICIAL. ⁶

La visión artificial, permite programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen. Una imagen digital se compone de una matriz rectangular (o cuadrada) de píxeles que representan una serie de valores de intensidad ordenados en un sistema de coordenadas (x, y) .

El procesamiento digital de la imagen permite una modificación reversible prácticamente libre de ruido en forma de una matriz de enteros, en vez de las clásicas manipulaciones en el cuarto oscuro o filtración de voltajes dependientes del tiempo necesarios para las imágenes analógicas y señales de video.

1.4.1 FUNDAMENTOS DE UNA IMAGEN DIGITAL. ⁷

Los fundamentos ayudan a tener una idea clara y concisa de cómo son y como están compuestas las distintas imágenes digitales, estos conceptos ayudan a comprender la visión artificial y estos son:

- **Imagen.-** El término imagen monocroma o simplemente imagen, se refiere a una función bidimensional representando intensidad de luz, donde x e y son las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier punto (x, y) es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto.

⁶ Domingo A., (1994). *Tratamiento digital de imágenes*. (Ed. Anaya multimedia). (pp. 25-27). Zaragoza, España.

⁷ De la Cruz J., (2002). *Visión por Computador. Imágenes digitales y aplicaciones*. (Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.). (pp. 65-587). México.

- **Imagen digital.-** Es una imagen que ha sido discretizada tanto en coordenadas espaciales como en brillo. Se considera a una imagen digital como una matriz cuyos índices de filas y columnas identifican un punto en la imagen y el correspondiente elemento de matriz identifica el valor de gris en ese punto.
- **Pixel.-** Un píxel o pixel, es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea ésta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico.

1.4.2 ESTRUCTURA DE UNA IMAGEN DIGITAL. ⁸

La función de una imagen digital representa un valor de brillo en ese punto, pero cuando se quiere representar una imagen en color, esa interpretación puede cambiar. En la división de colores en un cubo RGB, se puede descomponer toda la imagen en tres bandas para representar el brillo de rojo, de verde y de azul.

El color que se visualiza en un punto concreto será el resultante de combinar los valores de ese punto en las tres bandas, en la proporción indicada por esos valores.

a. Imagen en blanco y negro.

Cada píxel de una imagen en blanco y negro es blanco o negro como ilustra la Figura 1.26. Los tonos intermedios (grises) se crean ordenando los píxeles blancos y negros para simular gris. Es lo que se llama técnica de 'dithering'.

⁸ Chacón M., (2007). *Procesamiento Digital de Imágenes*. (Ed. Trillas S.A. de C.V.). (pp. 8-35). México, D.F.



Figura 1.26: Imagen en blanco y negro.

b. Imagen en escala de grises.

Cada píxel de una imagen en escala de grises (Figura 1.27), puede ser uno de los 256 valores distintos de gris, del negro (cero) al blanco (255). Este tipo de datos muestra suaves cambios de tono utilizando tonos intermedios de gris.



Figura 1.27: Imagen en escala de grises.

c. Imagen en color indexado 16 y 256.

En una imagen en color indexado, cada píxel puede ser uno de 16 o de 256 colores. Estos colores vienen especificados en la tabla de colores de la imagen. A cada píxel se le asigna un número que se refiere a un color de la tabla de colores como muestra la Figura 1.28.

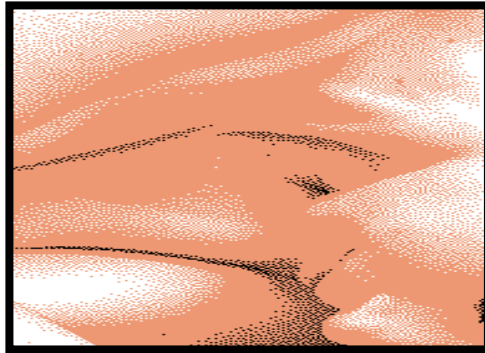


Figura 1.28: Imagen en color indexado 256.

d. Imagen en color real RVA.

En una imagen en color real RVA, cada píxel puede ser uno de los más de 16,7 millones de colores disponibles como se aprecia en la Figura 1.29. El tipo de datos de color real RVA es actualmente el mejor tipo de datos para editar imágenes en color, debido a que retiene mayor cantidad de información.



Figura 1.29: Imagen de color real RVA.

e. Imagen en color real CMAN.

Las imágenes en color real CMAN (Figura 1.30), utilizan el mismo modelo de color que la impresión industrial: todos los colores se representan en porcentajes de cian, magenta, amarillo y negro puesto que hay cuatro

colores en cada píxel, las imágenes en color real CMAN se llaman imágenes de 32 bits.



Figura 1.30: Imagen en color real CMAN.

1.4.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.

El procesamiento digital de imágenes es un conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información. Las principales características considerar para el procesamiento digital de imágenes son (García, 2008):

a. Elementos.

Los componentes generales de un sistema de tratamiento digital de imagen se pueden organizar de la siguiente forma:

a.1 Digitalizador (unidad de entrada de datos).

Es un dispositivo que convierte una imagen en una representación numérica (imagen digital). Existen multitud de aparatos que realizan esta función.

a.2 Procesador (unidad de proceso de datos).

Se entiende como tal, a un dispositivo capaz de realizar algún tipo de manipulación con imágenes digitales. Entran en esta categoría desde pequeños microprocesadores especializados hasta grandes ordenadores.

a.3 Pantalla (unidad de salida de datos).

La función de la pantalla es la inversa que la del digitalizador, esto es, convertir las matrices numéricas que representan imágenes digitales en alguna forma de representación discernible por el ser humano a través de los sentidos.

b. Mejoramiento de una imagen.

El principal objetivo de las técnicas de mejoramiento de imagen es procesar una imagen con el fin de hacerla más adecuada para una determinada aplicación o procesamiento posterior. Depende por tanto del problema específico a resolver el que se emplee una u otra técnica.

b.1 Componentes del sistema PDI (tratamiento, procesamiento y análisis).

Cuando se trabaja con imágenes se debe tomar en cuenta una serie de conceptos y de pasos, para lograr un mejor desempeño del sistema de reconocimiento. Por ejemplo, las variaciones de luz o la adición de ruido a reconocer las imágenes, pueden presentar dificultades al sistema. La Figura 1.31 muestra los elementos de un sistema de visión artificial; entre ellos están la iluminación, el tipo de cámara, la lente, el objeto y el ambiente en el que se ejecutará el sistema.

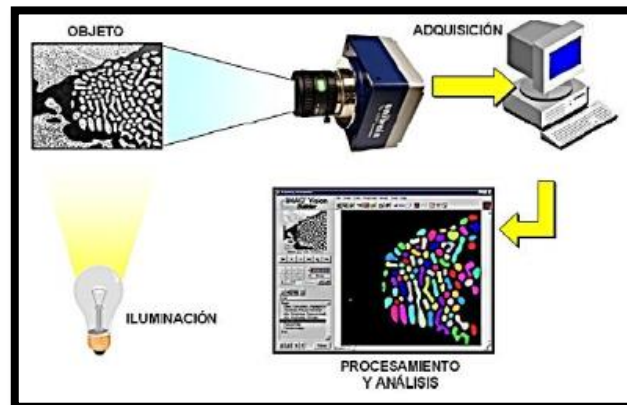
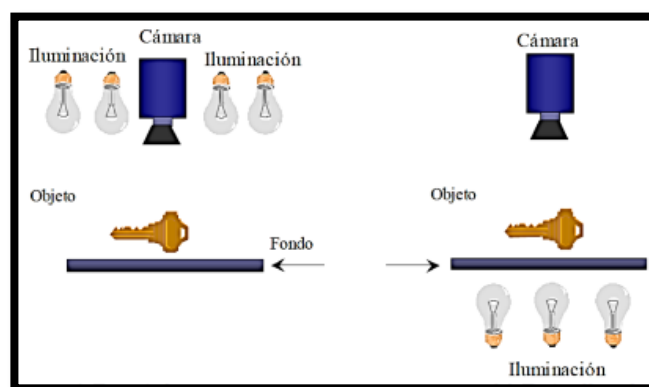


Figura 1.31: Elementos de un sistema de visión artificial.

Al desarrollar un sistema de adquisición de imágenes se debe buscar que la iluminación contraste con el objeto y el fondo para su óptima localización; se debe eliminar en lo posible reflejos y factores ambientales como: la luz del día, polvo, vibración, etc. La iluminación de la escena tiene que realizarse de una forma correcta, dada la importancia que tiene. Existen fundamentalmente dos formas de iluminación, las cuales se muestran en la Figura 1.32.

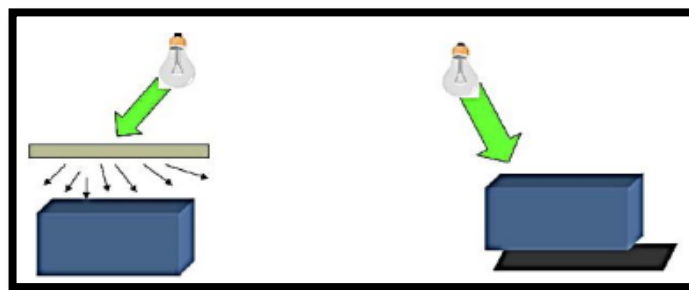


a) Frontal. b) Retroiluminación.
 Figura 1.32: Tipos de iluminación.

➤ **Iluminación frontal.-** Es donde la luz incide directamente sobre el objeto, ya sea verticalmente, horizontalmente, de forma oblicua o de forma directa; permite distinguir detalles de los objetos.

➤ **Iluminación trasera o retroiluminación.**- Es donde se ilumina una pantalla de forma que lo que se busca es el contorno del objeto a modo de sombra chinesca. El objeto puede estar delante o detrás de la pantalla; sirve para detección de contornos.

Existen distintas técnicas de iluminación (Figura 1.33). La iluminación de una sola fuente llamada también directa y la iluminación desde múltiples direcciones llamada también difusa. Esta última es la más recomendada ya que elimina sombras al contrario de la iluminación directa que las produce.



a) Difusa.

b) Directa.

Figura 1.33: Técnicas de iluminación.

El fondo de la escena cumple un papel esencial cuando se trata de simplificar alguna de las etapas subsiguientes (como la segmentación). Éste debe ser lo más homogéneo posible y de un color que permita distinguirlo fácilmente de los objetos. Cualquier mancha o defecto que exista en el fondo puede ocasionar errores en la etapa de reconocimiento.

Utilizando iluminación frontal, el fondo debe ser lo más opaco posible evitando todo reflejo. El color negro opaco suele ser el más utilizado. Por otro lado, si la iluminación es trasera, se busca que la pantalla difumine lo más posible la luz de forma que se obtenga un fuerte fondo blando que lo distinga fácilmente de los objetos.

1.4.4 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.

La ejecución de un programa para la manipulación y transformación de los píxeles de una imagen, generalmente requiere más tiempo que los circuitos que realizan la misma función por hardware. Los programas de procesamiento de imágenes suelen ser del lenguaje ensamblador o lenguaje C, es decir, aquellos que son más cercanos al lenguaje de máquina, para optimizar tiempo y tamaño de la memoria. A veces, en la propia tarjeta de visión se incluye un procesador especializado, que trabaja con instrucciones apropiadas en el tratamiento de imágenes (Valdemar, Zaldivar, 2004).

La elección del procesador es crucial en el rendimiento del sistema de visión; la velocidad de procesamiento de las instrucciones y el tamaño del bus, son las características más determinantes.

a. LabVIEW de national instruments.⁹

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos, mediante el uso de lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VI's), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Todos los VI's tienen un panel frontal y un diagrama de bloques.

⁹ Lajara J., Pelegrí J., (2007). *LabVIEW. Entorno gráfico de programación*. (Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.). (pp. 37-63). Barcelona, España.

a.1 Panel frontal.

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa; está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. La Figura 1.34, indica el panel frontal con un programa.

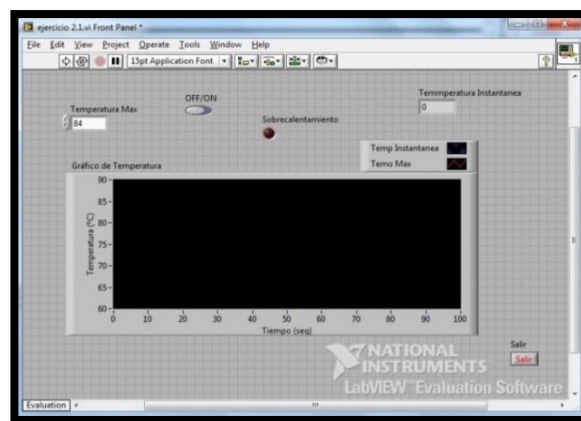


Figura 1.34: Panel frontal.

a.2 Diagrama de bloques.

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques (Figura 1.35), mediante los terminales. El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

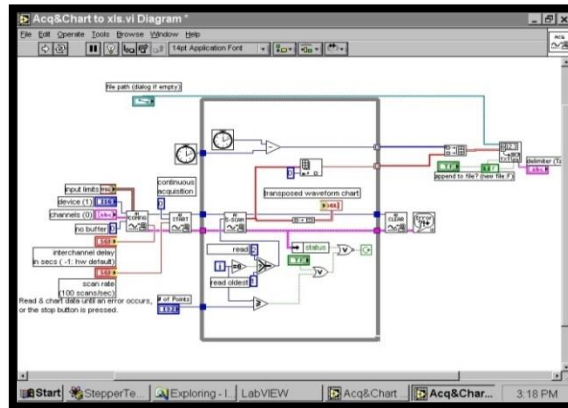


Figura 1.35: Diagrama de bloques.

b. Vision Builder AI para inspección automatizada.

La Figura 1.36, muestra la interfaz de la última versión de Vision Builder AI 2011, contiene nuevos algoritmos que incluyen inspección de contornos para el análisis de contornos de objetos y su desviación de contornos deseados, la segmentación de textura y la segmentación de color (National Instruments, 2010).

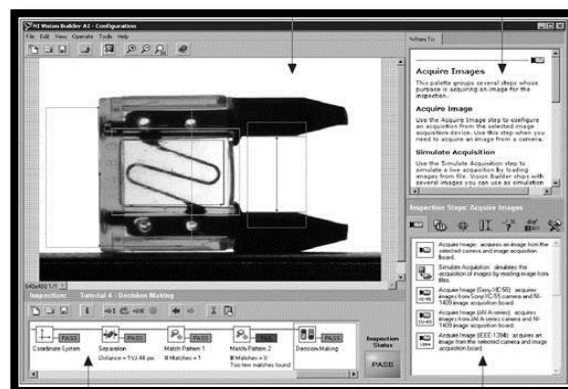


Figura 1.36: Interfaz de Vision Builder.

1.5 SENSORES Y ACTUADORES.

Los sensores y actuadores son los dispositivos del sistema de medida y control que interactúan con el sistema físico que se pretende estudiar o

controlar; los primeros permiten la toma de medidas de las distintas magnitudes físicas que se van a analizar, mientras que los actuadores posibilitan la modificación de dicho sistema.

1.5.1 SENSORES. ¹⁰

Un sensor o transductor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, caudal, fuerza, torsión, humedad, pH, etc.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, que puede incluir un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de los circuitos. La Figura 1.37, indica el diagrama para el acondicionamiento de la señal obtenida del sensor.

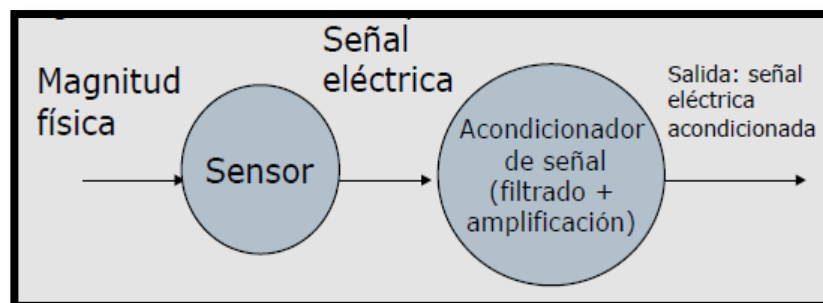


Figura 1.37: Acondicionamiento de señal.

¹⁰ Storey N., (1995). *Electrónica de los sistemas a los componentes*. (Ed. Addison-Wesley Iberoamérica, S.A.). (pp. 21-43). Estados Unidos.

a. Tipos.

Existe una gran variedad de sensores, los cuales dependen de muchos factores como temperatura, presión, humedad, proximidad, etc. Para lo cual se realiza una clasificación dependiendo de estos elementos y tomando en cuenta las consideraciones técnicas y el diseño para la implementación de una celda de manufactura (Jarren, Mantilla, 2011).

a.1 Desplazamiento.

Los sensores de desplazamiento (Figura 1.38), funcionan electromecánicamente y constan de una resistencia de valor fijo sobre la cual se desplaza un cursor dividiendo a la resistencia eléctricamente. Estos sensores pueden ser:

- ✓ Sensores resistivos.
- ✓ Sensores inductivos y capacitivos.
- ✓ Sensores ópticos y basados en el Efecto H.



Figura 1.38: Sensor de desplazamiento - inductivo.

a.2 Presión.

Los sensores de presión (Figura 1.39), se utilizan para el control y la vigilancia en miles de aplicaciones tales como líquido / flujo de gas, velocidad, nivel de agua, y la altitud. Estos sensores son los siguientes:

- ✓ Manómetros.
- ✓ Diafragmas.
- ✓ Muelles.
- ✓ Indicadores de presión y piezómetros.



Figura 1.39: Sensor de presión - manómetro.

1.5.2 ACTUADORES. ¹¹

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula. Existen varios tipos de actuadores como:

¹¹ Fundación Wikimedia, (2012, junio 12). *Actuador*. Extraído el 10 de agosto del 2012 desde <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>

a. Electrónicos.

Los actuadores electrónicos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servo motores AC sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso, debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento. La Figura 1.40, indica un servo motor con fuerza, posición, velocidad y aceleración programables.



Figura 1.40: Servo motor.

b. Neumáticos.

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos (Figura 1.41). Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.



Figura 1.41: Actuador neumático.

c. Eléctricos.

La estructura de un actuador eléctrico (Figura 1.42), es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.



Figura 1.42: Actuador eléctrico.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua. La forma más sencilla para el accionamiento con un pistón, sería la instalación de una palanca solidaria a una bisagra adherida a una superficie paralela al eje del pistón de accionamiento y a las entradas roscadas.

Existen alambres musculares, los cuales permiten realizar movimientos silenciosos sin motores. Es la tecnología más innovadora para robótica y automática, como así también para la implementación de pequeños actuadores.

1.6 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI).

Un interfaz humano máquina, HMI (anteriormente, interfaz hombre-máquina), es un mecanismo que permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido/apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial. La Figura 1.43, indica un diagrama de un HMI interactuando con algunos elementos.

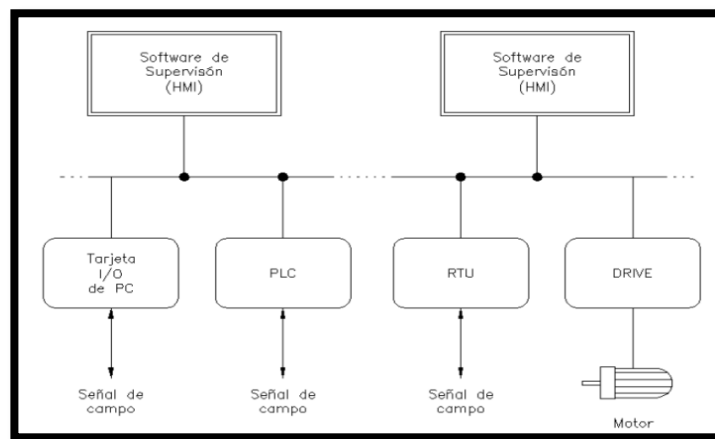


Figura 1.43: Diagrama de un HMI.

La interfaz de un HMI (Figura 1.44), puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta. Un ejemplo común de un HMI es el cajero automático que posibilita al usuario ejecutar una serie de transacciones bancarias.



Figura 1.44: Interfaz de un HMI.

Programas como el InTouch de la Wonderware, Lookout de la National Instruments, TouchWin de Xinje, por mencionar algunos; constituyen plataformas de desarrollo que facilitan el diseño de los HMI en computadoras. Algunos de estos paquetes de desarrollo incluyen muchas herramientas poderosas que permiten el desarrollo de HMI's de mucho potencial de procesamiento (Padilla, Reyes, 2006).

1.6.1 FUNCIONES.

Las funciones principales y necesarias que un HMI debe cumplir son (Padilla et al., 2006):

- **Monitoreo.-** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- **Supervisión.-** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

- **Generación de alarmas.-** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.
- **Control.-** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana.
- **Generación de históricos.-** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

a. Tareas de un software de supervisión y control.

Al momento de realizar un HMI, el software debe ser fácil de programar, pudiendo así permitir (Sinchiguano, 2003):

- ✓ Una comunicación con dispositivos de campo.
- ✓ Actualizar una base de datos "dinámica" con las variables del proceso.
- ✓ Visualizar las variables mediante pantallas con objetos animados.
- ✓ Que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles ON/OFF, ajustes continuos con el mouse o teclado.
- ✓ Supervisar niveles de alarma y alertar/actuar en caso de que las variables excedan los limites nominales.
- ✓ Almacenar los valores de las variables para análisis estadístico y/o control.
- ✓ Controlar en forma limitada ciertas variables de proceso.

CAPÍTULO II

DISEÑO, SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA

2.1 CRITERIOS TÉCNICOS.

Es importante considerar los criterios técnicos de implementación que se utilizan para el diseño de una celda de manufactura, puesto que éstos permiten diseñar de manera correcta y de acuerdo a las normas que requieren las industrias manufactureras. Los criterios fundamentales en los que se basa este proyecto, para la implementación de una celda de manufactura se describen a continuación:

- *Seleccionar, definir y situar los elementos que serán parte de la celda de manufactura.*
- *Clasificar los elementos activos y pasivos de la celda, para aplicar las normas de seguridad necesarias con el fin de prevenir cualquier tipo de accidentes.*
Elementos activos: brazo robótico, centro de mecanizado, bandas transportadoras planas y módulo de sistema de visión.
Elementos Pasivos: distribuidor de materia prima y estación de almacenamiento.
- *Definir y seleccionar la arquitectura de control para cada equipo.*
- *Definir el proceso iterativo, se refiere a los softwares de cada equipo para su programación de control.*

➤ *Considerar la disposición de brazo robótico en la celda de trabajo.*

Si el brazo robótico está colocado en el centro de la celda, se debe aprovechar al máximo el campo de trabajo.

2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO.

Con el presente proyecto se desea realizar el diseño de una celda de manufactura, con el fin de efectuar el control de calidad utilizando procesamiento digital de imágenes de piezas mecanizadas en materiales blandos.

El proceso debe cumplir con las siguientes etapas:

- ✓ Expulsión de la materia prima a través de un distribuidor.
- ✓ Transportación de la materia prima y de piezas mecanizadas a través de dos banda transportadoras planas.
- ✓ Manipulación de la materia prima y de la pieza mecanizada por medio de un brazo robótico.
- ✓ Mecanizado de la materia prima para obtener la pieza que requiere el proceso, por medio de una máquina de control numérico.
- ✓ Control de calidad, para determinar las dimensiones y forma de la pieza mecanizada.
- ✓ Manipulación de las piezas buenas y malas respectivamente.
- ✓ Desarrollo de un HMI para el monitoreo, control e historial del proceso.

En base a los parámetros mencionados anteriormente, se considera:

- ✓ Seleccionar el tipo de materia prima, la cual puede ser: aluminio, madera, MDF, duralón, drilón, etc.
- ✓ Implementar dos bandas transportadoras con el objetivo de crear una red Ethernet entre los PLC's incorporados en las bandas.
- ✓ Implementar en una de las bandas transportadoras el sistema para el control de calidad y determinar su velocidad de movimiento.

- ✓ Un control de calidad eficiente, que permita capturar la imagen superior y lateral de la pieza mecanizada; para analizarla mediante el procesamiento digital de imágenes.
- ✓ Determinar un rango de tolerancia de 1mm como máximo en los parámetros del software de las piezas que pasan el control de calidad.
- ✓ Dimensionar el área de trabajo (Tabla 2.1), con el fin de ubicar los equipos adecuadamente para optimizar cada uno de los movimientos y proporcionar al operario un espacio para el mantenimiento de la celda de manufactura.

Tabla 2.1: Dimensiones de la celda.

<i>Dimensiones (mm)</i>	
<i>Largo</i>	5430
<i>Ancho</i>	4970

- ✓ Implementar una celda de manufactura con una configuración en anillo (Figura 2.1), en donde los equipos se encuentren ubicados de manera secuencial al proceso; esto ayuda a aprovechar todo el campo de trabajo del brazo robótico, tanto en su alcance vertical como radial permitiendo optimizar el tiempo del proceso.

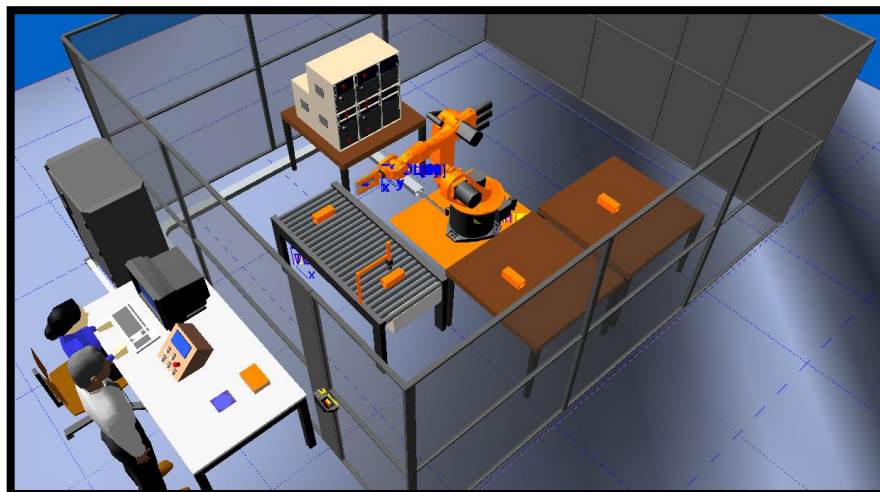


Figura 2.1: Celda de manufactura con una configuración en anillo.

2.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.

Luego de haber sido analizado los parámetros de diseño, se establece que los equipos necesarios para la implementación de la celda de manufactura son los siguientes:

- ✓ Brazo robótico industrial, que soporte un peso mínimo de 5000 gr, tenga un alcance de trabajo mínimo de 1500 mm, tenga 6 grados de libertad y pueda soportar la comunicación de entradas/salidas digitales.
- ✓ Mini centro de mecanizado, que pueda mecanizar materiales blandos, tenga un recorrido en el eje X, Y y Z de mínimo 110 mm y se pueda comunicar con otros equipos a través de entrada/salidas digitales.
- ✓ Bandas transportadoras planas, diseñadas para manipular su velocidad y posición; que estén controladas mediante un PLC que soporte módulos de extensión para aumentar entradas/salidas digitales y módulos para red ethernet y permita la conexión de una touch panel.
- ✓ Un sistema de visión artificial tanto en hardware como software, que permita procesar las imágenes con las características mencionadas en el diseño.
- ✓ Dos cámaras, las cuales permitan capturar la imagen lo más nítida posible y principalmente sean compatibles con el sistema de visión artificial.
- ✓ Software de CAD y CAM, para el diseño y mecanizado de la pieza a ser analizada por el control de calidad.

2.3.1 EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO.

Una vez analizado los equipos que se necesitan para la implementación de la celda de manufactura, se realiza la metodología de la ingeniería

inversa¹², ya que en el laboratorio se dispone de algunos equipos los cuales cumplen con los parámetros de diseño y estos serán acoplados para el correcto funcionamiento del proceso. Estos equipos son:

- ✓ Brazo robótico KUKA KR 16.
- ✓ Mini centro de mecanizado ExpertMill VMC – 600.
- ✓ Bandas transportadoras planas Techdesign.
- ✓ Touch panel TP760-T.
- ✓ Distribuidor de materia prima.
- ✓ Sistema embebido de visión NI EVS-1464RT.
- ✓ Bloque terminal de entradas y salidas.
- ✓ Fuente de alimentación NI PS – 15.
- ✓ Cámaras Basler scout gigabit ethernet scA640 – 70gc.
- ✓ Lentes Computar FA mega pixel M0814-MP2.
- ✓ Monitores LG W1943CV.
- ✓ PC de escritorio.

a. Descripción de los equipos.

A continuación se presenta un resumen de las características más relevantes de cada uno de los equipos disponibles en el laboratorio.

a.1 Brazo robótico industrial.

El brazo robótico industrial KUKA KR 16 (Figura 2.2), se acopla a la necesidad de los parámetros. En el Anexo A, se muestra las características técnicas (KUKA Robotics, 2012).

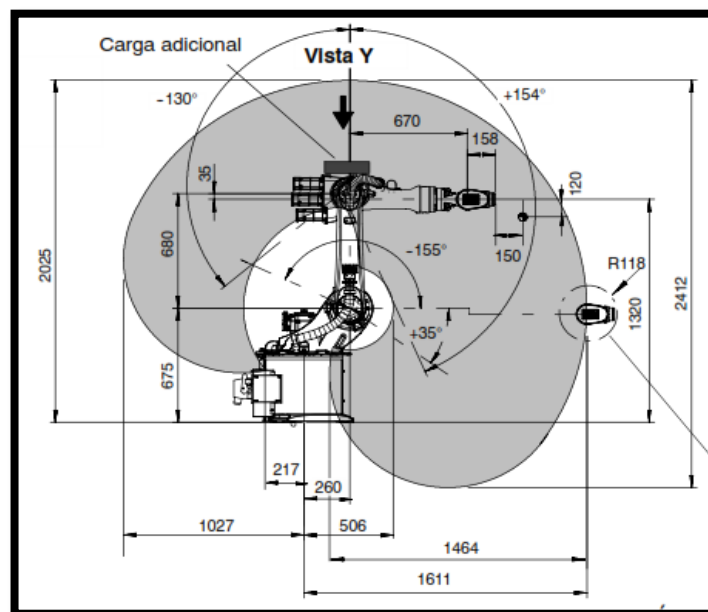
¹² **Ingeniería Inversa.**- Es el proceso de descubrir los principios tecnológicos de un dispositivo, objeto o sistema, a través de razonamiento hipotético de su estructura, función y operación (de qué está hecho, qué lo hace funcionar y cómo fue fabricado).



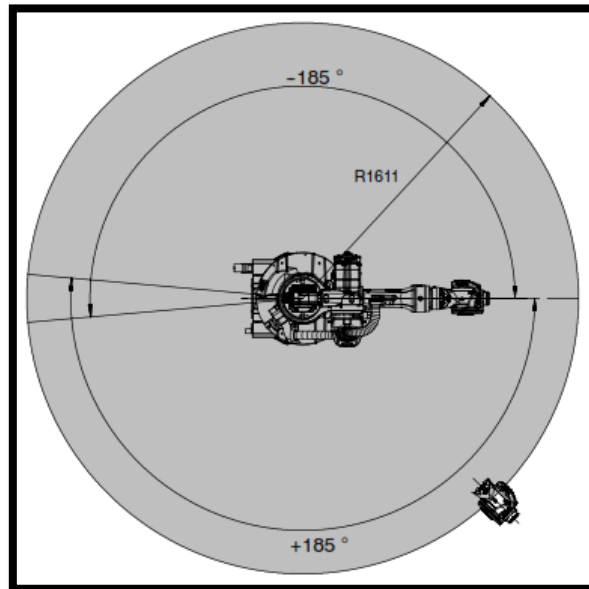
Figura 2.2: KUKA KR 16.

a.1.1 Medidas principales y campos de trabajo.

El espacio de trabajo del brazo robótico, está dado en función de su alcance y desplazamiento tanto radial como vertical. Esto se observa en la Figura 2.3.



a) Alcance vertical (eje X).



b) Alcance radial (eje Y).

Figura 2.3: Medidas principales y campo de trabajo.

a.2 Mini centro de mecanizado.

El mini centro de mecanizado ExpertMill VMC - 600 (Figura 2.4), cumple con los parámetros de diseño. El Anexo B, indica las características técnicas (Intelitek, 2008).



Figura 2.4: ExpertMill VMC - 600.

Los parámetros que debe cumplir el mini centro de mecanizado se describe a continuación:

- ✓ Selección del tipo y dimensiones de la materia prima. En la Figura 2.5 se observa el tipo de material (MDF) que fue seleccionado para el mecanizado y en la Tabla 2.2, se observa las medidas establecidas para la materia prima; esto se estableció para que el mecanizado sea rápido y no muy complejo, debido a que es un proyecto educativo y necesita optimizar el tiempo.



Figura 2.5: Materia prima (MDF).

Tabla 2.2: Dimensiones de la materia prima.

<i>Dimensiones (mm)</i>	
<i>Largo</i>	100
<i>Ancho</i>	100
<i>Espesor</i>	40

- ✓ La pieza a ser mecanizada no debe exceder el recorrido de los ejes X, Y, Z; es decir, que el material deberá estar dentro de las dimensiones de los ejes que se muestran en la Tabla 2.3. Esto se cumple puesto que las medidas que se diseñaron para la materia prima están dentro del rango.

Tabla 2.3: Dimensiones de los ejes.

EJES	DIMENSIONES	
<i>Eje X</i>	304 mm	12"
<i>Eje Y</i>	152 mm	6"
<i>Eje Z</i>	241 mm	9.5"

Fuente: Manual de operación ExperMill VMC – 600.

- ✓ Se debe considerar la exactitud y precisión con la que trabaja el centro de mecanizado para obtener la pieza lo más exacta posible (Tabla 2.4).

Tabla 2.4: Características de exactitud.

EXACTITUD	DIMENSIONES	
<i>Repetibilidad</i>	0.0127 mm	(0.0005")
<i>Resolución</i>	0.0032 mm	(0.00013")

Fuente: Manual de operación ExperMill VMC – 600.

- ✓ En función del material de la pieza a ser mecanizada, se debe buscar junto al fabricante de la herramienta los datos de velocidad de corte y avance. El Anexo C, indica la tabla con los datos que se tomaron para las respectivas velocidades.
- ✓ El mini centro de mecanizado, se encuentra cargado por una herramienta de corte en el ATC, cuyo fin es mecanizar la pieza (Tabla 2.5).

Tabla 2.5: Tipo de herramienta.

# ATC	Herramienta	Dimensiones	# Filos	Material
1	End mill	Filo 1/4" (6,35 mm.)	4	HSS

- ✓ La máxima altura que permite desbastar en los contornos del material es de 12 mm, ya que los perfiles de la entenalla pueden sufrir colisión con la herramienta.

Se diseñaron tres modelos diferentes de piezas tanto en forma como tamaño, con el fin de realizar el control de calidad de piezas que cubran con diferentes trayectorias, dimensiones y perforaciones. El proceso que se usó para su diseño, es el siguiente:

- ✓ Mediante el software SolidWorks se dibujó cada una de las piezas con sus respectivas medidas (Figura 2.6). En el Anexo D se indica las cotas respectivas.

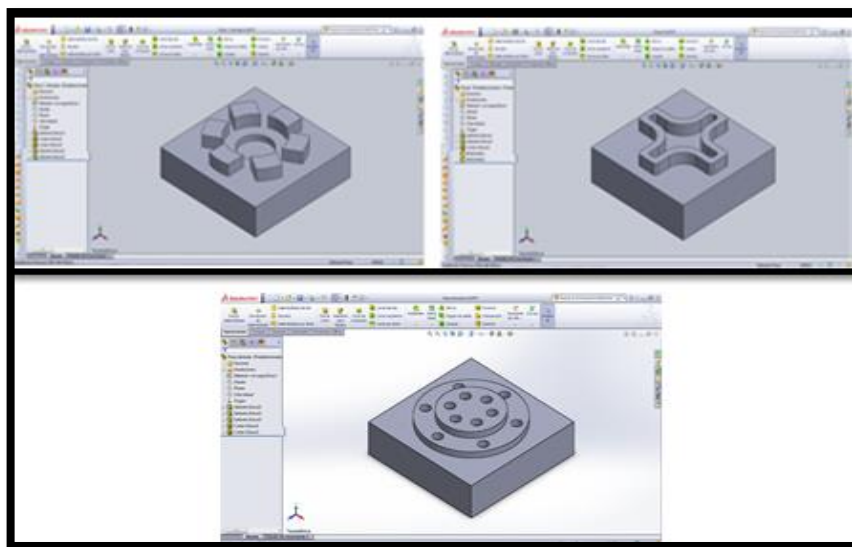


Figura 2.6: Piezas dibujadas en SolidWorks.

- ✓ Una vez concluido el dibujo, se guardó el archivo en formato .dxf, para que sea compatible con el software Mastercam X6.
- ✓ A través de este software, se abrió el archivo .dxf, para realizar el proceso de mecanizado dependiendo de las operaciones de fresado. La Tabla 2.6, muestra las operaciones que se realizaron con cada pieza, así como las velocidades, diámetros de fresas, profundidades de corte, etc; utilizadas para la mecanización de cada una de ellas.

Tabla 2.6: Operaciones de fresado.

Operaciones de fresado					
Pieza Nº1	<i>Operación</i>	<i>Material</i>	<i>Vel. de Corte (m/min)</i>	<i>Vel. de Avance mm/min</i>	<i>Nº Programa</i>
	Desbastado y ranurado	MDF	80	400	1
	<i>Diámetro de la fresa</i>	<i>Vel. Giro del Husillo vuelta/min</i>	<i>Nº ATC</i>	<i>Trayectoria</i>	<i>Profundidad de corte (mm)</i>
	¼"	1000	1	Pocket y contorno	10
Pieza Nº2	<i>Operación</i>	<i>Material</i>	<i>Vel. de Corte (m/min)</i>	<i>Vel. de Avance mm/min</i>	<i>Nº Programa</i>
	Desbastado	MDF	80	400	2
	<i>Diámetro de la fresa</i>	<i>Vel. Giro del Husillo vuelta/min</i>	<i>Nº ATC</i>	<i>Trayectoria</i>	<i>Profundidad de corte (mm)</i>
	¼"	1000	1	Pocket y contorno	10
Pieza Nº3	<i>Operación</i>	<i>Material</i>	<i>Vel. de Corte (m/min)</i>	<i>Vel. de Avance mm/min</i>	<i>Nº Programa</i>
	Desbastado y penetrado	MDF	80	400	3
	<i>Diámetro de la fresa</i>	<i>Vel. Giro del Husillo vuelta/min</i>	<i>Nº ATC</i>	<i>Trayectoria</i>	<i>Profundidad de corte (mm)</i>
	¼"	1000	1	Pocket y contorno	5

a.3 Banda transportadora plana.

La banda transportadora plana TechDesign (Figura 2.7), es un elemento electromecánico que va a formar parte de la celda de manufactura y está

destinada a transportar la materia prima así como el producto terminado.

Los componentes que forman parte de la banda transportadora son:

- ✓ Estructura metálica de acero inoxidable.
- ✓ PLC “XC3-48RT-E Series”, Marca Xinje.
- ✓ Módulo de señales analógicas “XC-E4AD2DA Series”, Marca Xinje.
- ✓ Módulo Industrial Ethernet “T-BOX Series”, Marca Xinje.
- ✓ Servo Drive “DA98B-05 Series”, Marca GSK.
- ✓ Servo Motor “80SJT-M024C Series”, Marca GSK.
- ✓ Reductor “TCM 063 Series”, Marca Transtecno.
- ✓ Sensor Foto Eléctrico “PE-M3D Series”, Marca Hanyoung.
- ✓ Sensor Inductivo “UP18RLD-8NA Series”, Marca Hanyoung Nux.
- ✓ Touch Panel “TH Series”, Marca TouchWin



Figura 2.7: Banda transportadora plana TechDesign.

a.3.1 Cálculos de velocidad y desplazamiento.

Para conocer la velocidad lineal y cuanto se desplaza la banda mediante pulsos, se realiza los siguientes cálculos:

- **Para la velocidad lineal.**- La velocidad nominal del servo motor es 2000 rpm, expresada en radianes es:

$$n = 2000 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$n = 209.4395 \frac{rad}{s}$$

$n =$ Velocidad angular.

Como el servo motor está acoplado a la banda a través de un reductor 25:1, la velocidad angular del reductor es la siguiente:

$$n_r = \frac{209.4395 \frac{rad}{s}}{25} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$n_r = 8.3775 \frac{rad}{s}$$

$n_r =$ Velocidad angular del reductor.

Se obtiene la velocidad lineal de la banda mediante la ecuación:

$$v = n_r * r \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$v = 8.3775 \frac{rad}{s} * 30 mm$$

$$v = 251.3 \frac{mm}{s}$$

$v =$ Velocidad lineal de la banda.

$n_r =$ Velocidad angular del reductor.

$r =$ Radio del eje.

- **Para el desplazamiento:** Se conoce que el servo motor da 25 rpm con 250,000 pulsos por lo tanto el reductor va a dar 1 rpm; el radio del eje es 0.03 m y el espesor de la banda es 0.001 m, los cálculos son:

$$d = n_r(r + e_b) \quad \text{(Ec. 2.4)}$$

$$d = 1 \frac{rev}{min} (30 mm + 1 mm)$$

$$d = 2\pi rad (31 mm)$$

$$d = 194.77 mm$$

d = Desplazamiento lineal de la banda.

n_r = Velocidad angular del reductor.

r = Radio del eje.

e_b = Espesor de la banda.

a.4 Sistema de control de calidad.

El sistema embebido de visión en tiempo real NI EVS-1464RT (Figura 2.8), es un controlador robusto diseñado para procesar imágenes en tiempo real; este sistema de visión contiene partes sin movimiento ya que se enfría por convección (sin ventilador) e incluye un controlador de estado sólido (SSD).



Figura 2.8: NI EVS – 1464RT.

El EVS está sincronizado con el Bloque Terminal de E/S (NI Vision I/O) (Figura 2.9), para habilitar entradas y salidas digitales, permitiendo una

comunicación con el PLC de la banda transportadora y obteniendo una inspección más compleja y de más alta velocidad.



Figura 2.9: Bloque terminal de E/S.

En el Anexo E, se describen las características técnicas del sistema embebido de visión (National Instruments et al., 2010).

a.4.1 Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación NI PS – 15 (Figura 2.10), funciona con una entrada de 115/230V AC de 1 fase, salida de 24 a 28V DC, 5 A. Es la fuente de alimentación para el EVS y el bloque terminal de E/S.



Figura 2.10: Fuente NI PS – 15.

a.4.2 Cámara Basler Scout Gigabit Ethernet.

El proyecto consta de dos cámaras Basler scout gigabit ethernet scA640 – 70gc (Figura 2.11), las que se han determinado para el proceso de control de calidad; cuyo objetivo es adquirir las imágenes y determinar si la forma y tamaño de la pieza es la que se estableció previamente en el diseño de la pieza.



Figura 2.11: Cámara Basler gigabit.

En el Anexo F, se indica las especificaciones de la cámara Basler (Basler AG, 2012).

Cada cámara consta de un lente Computar FA Mega Pixel de la serie M0814-MP2 (Figura 2.12), los cuales permiten una captura completa de la imagen, controlar la intensidad de luz y el iris de la imagen (zoom); facilitando el procesamiento de imágenes. En el Anexo G, se muestra las características técnicas del lente FA mega pixel (Computar, 2013).



Figura 2.12: Lente M0814-MP2.

a.4.3 Limitaciones del sistema de control de calidad.

Los parámetros que conllevan a un control de calidad eficiente, se detallan a continuación:

- ✓ El procesamiento de imágenes solo puede analizar imágenes en 2D.
- ✓ La pieza mecanizada debe ser de un color diferente al de la superficie donde se encuentra ubicada, debido a que al momento de extraer los colores RGB no se puede diferenciar los bordes de la pieza con respecto a la superficie y esto dificulta el análisis.
- ✓ Se debe utilizar material MDF, ya que otros materiales como el aluminio y acero poseen un brillo intenso que dificultan el procesamiento de imágenes.
- ✓ El control de calidad al procesar las imágenes se limita al análisis de ciertos parámetros, como son:

Número de objetos.

Análisis de distancias entre bordes, puntos y figuras geométricas.

Clasificación de colores.

Clasificación de objetos.

Identificación de textura de un material.

Identificación de texto y código de barras.

Esto se cumple siempre y cuando la imagen sea nítida y esté dentro del rango de visión de la cámara.

2.3.2 DEFINICIÓN DEL CONTROL Y SOFTWARE DE LOS EQUIPOS.

Para cada equipo se define un control y un software para su funcionamiento, los cuales se detallan a continuación:

a. Arquitectura de control.

- ✓ Para el control del brazo robótico, se utilizará el KCP (kuka control panel).
- ✓ Para el movimiento de las bandas transportadoras, el control se realizará mediante los PLC's.
- ✓ Para la captura de la imagen de la pieza que pasará el control de calidad, se realizará mediante el EVS.
- ✓ El mini centro de mecanizado, se controlará a través de una PC.

b. Proceso Iterativo.

- ✓ Para programar el brazo robótico, se utilizará el software KRL (kuka robot language).
- ✓ Para desarrollar el algoritmo en los PLC's se empleará el software XC Series Program Tool.
- ✓ Para la implementación del HMI en la touch panel el, software TouchWin Edit Tool.
- ✓ Para el diseño de las piezas SolidWorks 2013.
- ✓ Para generar los códigos G, el software Mastercam X6.
- ✓ El software CNCBase for intelitek, para el control del mini centro de mecanizado.
- ✓ Para configurar las IP de las cámaras, se aplicará el software Pylon Configuration Tool.
- ✓ Para el procesamiento de imágenes, se desarrollará mediante el software Vision Builder AI.

2.3.3 DISEÑO DEL SOPORTE PARA LAS CÁMARAS.

Para el diseño del soporte y ubicación de las cámaras, se tomó en cuenta el ángulo de visión y la distancia focal de los equipos junto con los lentes; tratando que la imagen a ser analizada sea clara y nítida para que no se pierdan los detalles, ya que el procesamiento de imágenes se lo realiza por medio de pixeles y esto puede variar el resultado del control de calidad.

La cámara vertical se debe desplazar en el eje Y y en el eje Z; en el eje X, la banda transportadora se encarga de mover la pieza mecanizada. Este elemento tendrá un desplazamiento máximo en el eje Z de 390.97 mm (Figura 2.13), lo cual da un ángulo de visión y distancia focal óptimo para la captura de la imagen, en la Tabla 2.7, se detallan las dimensiones máximas que puede capturar el equipo vertical en el plano X-Y.

Tabla 2.7: Dimensiones máximas plano X-Y.

<i>Imagen</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>
<i>Eje X</i>	208
<i>Eje Y</i>	160

La cámara horizontal se debe desplazar en el eje Z, logrando un desplazamiento máximo de 513 mm (Figura 2.13), lo cual da un ángulo de visión y distancia focal óptima para la captura horizontal de la imagen, en la Tabla 2.8, se detallan las dimensiones máximas que puede capturar éste equipo en el plano X-Z.

Tabla 2.8: Dimensiones máximas plano X-Z.

<i>Imagen</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>
<i>Eje X</i>	220
<i>Eje Z</i>	165

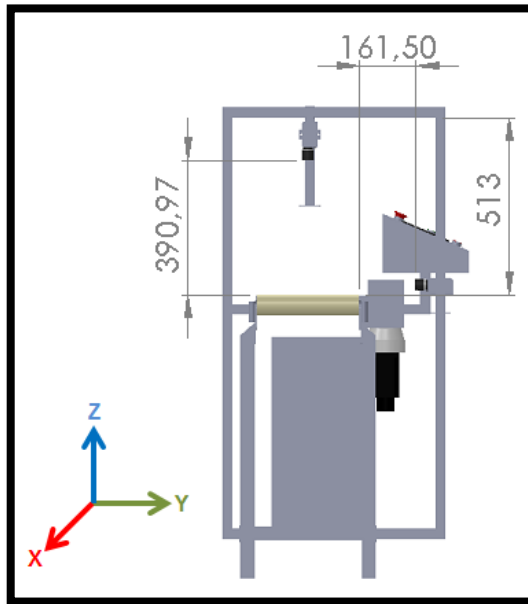


Figura 2.13: Distancias máximas de las cámaras.

El soporte para las cámaras será fabricado en hierro, para evitar que el material se deteriore se realizó el proceso de cromado. Esta estructura se encuentra montada a 900 mm del extremo izquierdo de la banda transportadora (Figura 2.14), para evitar complicaciones al momento que el brazo robótico manipula las piezas mecanizadas.

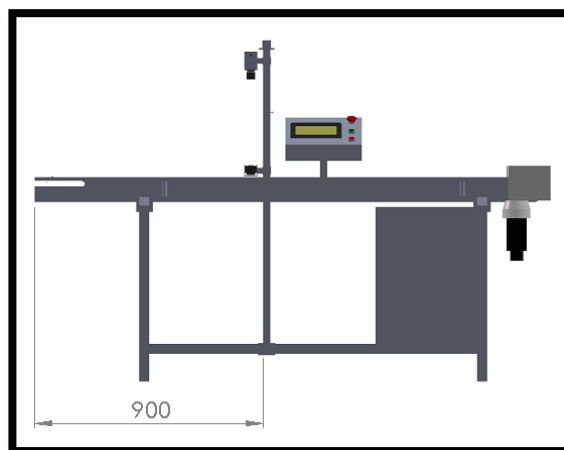


Figura 2.14: Distancias de la estructura.

Para la instalación del soporte de los equipos se perforó cuatro orificios en la base de la banda y se ajustó con pernos de acero inoxidable, con el fin de que quede un ajuste seguro. En el Anexo H, se encuentran las dimensiones de la estructura metálica para las cámaras.

2.3.4 DISEÑO DEL MÓDULO DE SISTEMA DE VISIÓN.

Mediante los componentes que conformarán este módulo se va a realizar el control de calidad de la pieza mecanizada orientada a la forma y tamaño. Este sistema utiliza para visión artificial el software Vision Builder AI, el cual procesa las imágenes para generar una interfaz con el usuario y así determinar si está correcta o incorrecta la pieza. A más de los componentes para visión artificial, está equipado con una pantalla touchWin para el monitoreo de la celda de manufactura.

El módulo (Figura 2.15), se fabricó de acuerdo al número y dimensiones de los equipos, tomando en cuenta la facilidad de manipulación del usuario; las dimensiones del módulo se detallan en el Anexo I.



Figura 2.15: Módulo del sistema de visión artificial.

Este módulo consta de un interruptor que energiza el sistema de visión incluido la touch panel y de un paro de emergencia que está conectado a las entradas de los PLC's para cualquier interrupción si se diera el caso.

2.3.5 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.

Para la automatización de la celda se necesitó de entradas/salidas digitales de cada uno de los equipos. En la Figura 2.16, se indica un diagrama esquemático de todas las entradas/salidas digitales que se emplearon en el proceso. En la Tabla 2.9, se muestra el número de entradas y salidas que se ocuparon en cada equipo.

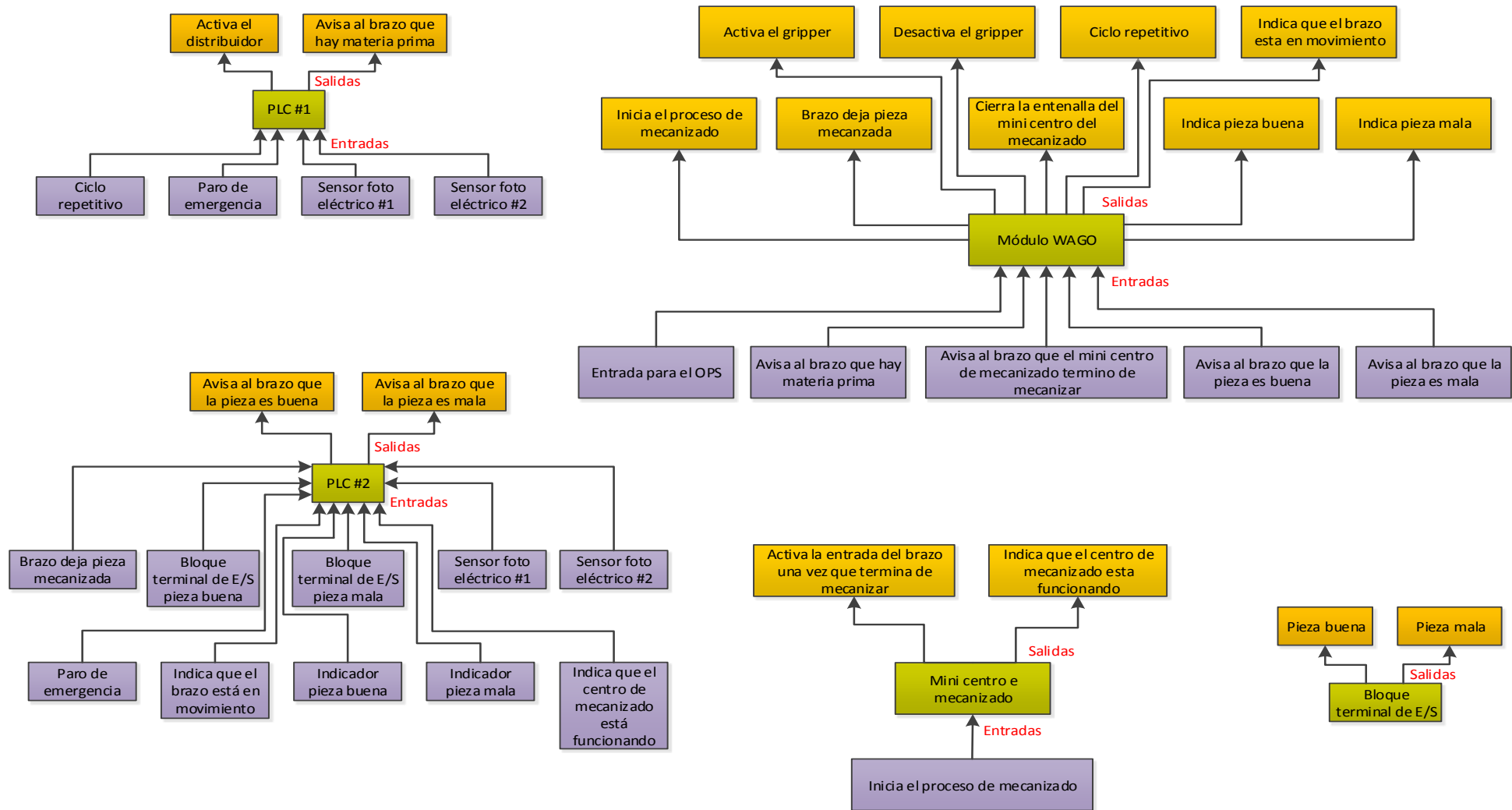


Figura 2.16: Diagrama esquemático de E/S digitales.

Tabla 2.9: Número de E/S digitales.

Equipo	Número de entradas digitales	Número de salidas digitales
<i>PLC #1</i>	4	2
<i>PLC #2</i>	10	2
<i>Módulo WAGO</i>	5	9
<i>Mini centro de mecanizado</i>	1	2
<i>Bloque terminal de E/S</i>		2

2.4 MONTAJE E IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA. ¹³

Una vez seleccionado los equipos, se puede realizar un análisis analítico y lógico del correcto montaje de los equipos; tomando en cuenta las dimensiones de la celda (Figura 2.17). En la Tabla 2.10, se indica los elementos que forman parte de la celda.

Tabla 2.10: Elementos de la celda.

Número	Elementos
1	Brazo robótico KUKA KR 16.
2	Máximo alcance del brazo robótico.
3	Zona de precaución.
4	Paso peatonal.
5	Enchufe eléctrico 110 V.
6	Toma de aire (máximo 6 bar o 86.95 psi).
7	Canaleta metálica.
8	Puerta de ingreso.

¹³ Robótica España, (2000, febrero 22). *Robótica Industrial-Criterios de Implementación*. Extraído el 28 de noviembre del 2012 desde [http://isa.umh.es/asignaturas/crss/capitulo9 .pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/crss/capitulo9.pdf)

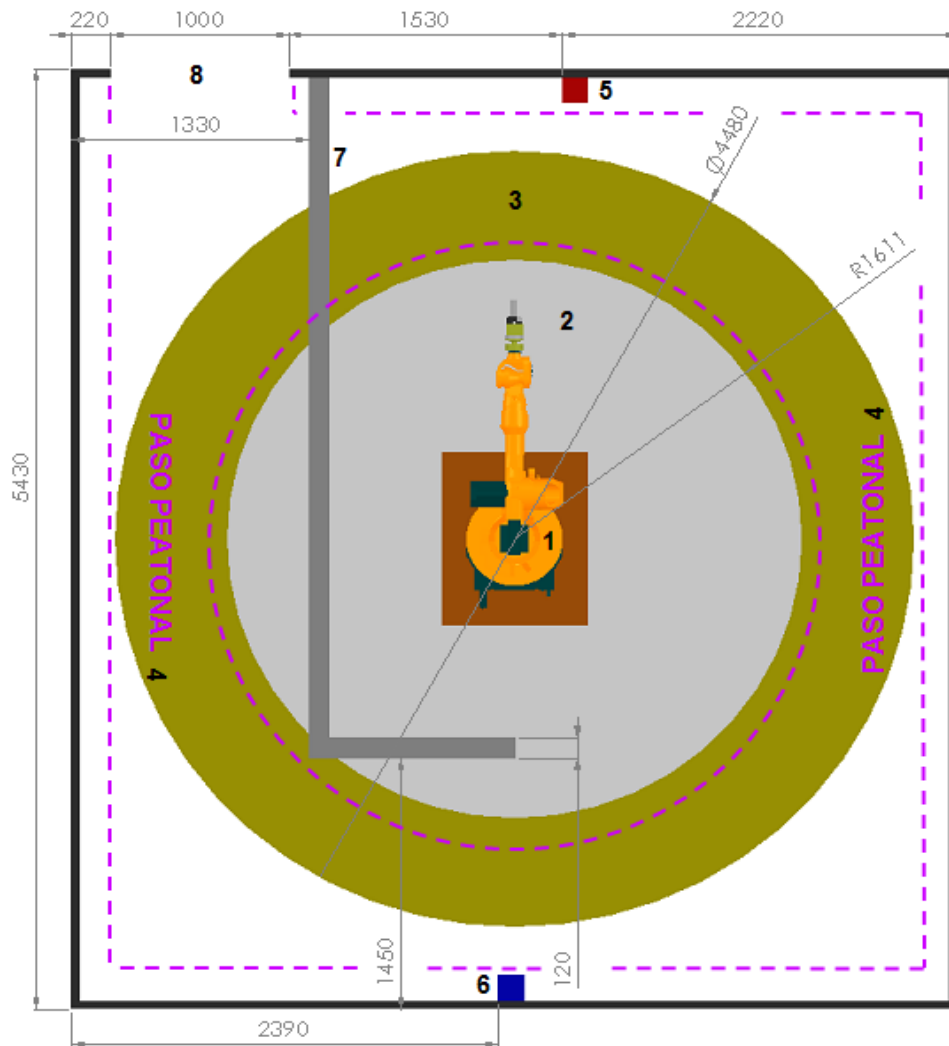


Figura 2.17: Dimensionamiento de la celda (mm).

La zona de precaución es el área donde el usuario debe tener cuidado, ya que está cerca del campo de trabajo del brazo robótico; fuera de esta área se encuentra el paso peatonal donde el usuario puede caminar de forma segura. Se dispone de un enchufe de 110 V y una toma de aire, considerando las distancias a las que se encuentran se acoplarán los equipos que necesitan de estos elementos. Para el ingreso de los equipos a la celda se tomó en cuenta la dimensión de la puerta, para evitar daños a la celda y a los equipos.

2.4.1 MONTAJE DE EQUIPOS.

Esta etapa es de vital importancia dentro del proyecto, ya que un buen montaje de los equipos garantizará el óptimo funcionamiento de la celda de manufactura. Aquí se detalla las tareas que se realizaron tanto en la parte mecánica como eléctrica del sistema.

a. Montaje de las bandas transportadoras.

Para la ubicación de las bandas, se tomó en cuenta los parámetros indicados en la Figura 2.3 (a), donde muestra el campo de trabajo del brazo robótico en el eje X; la banda transportadora se acopló a una distancia media del brazo, para que tenga un alcance de trabajo óptimo y así pueda llegar a cada área de la banda sin ningún problema. La Figura 2.18, indica las medidas correspondientes al dimensionamiento de la banda en el eje x.

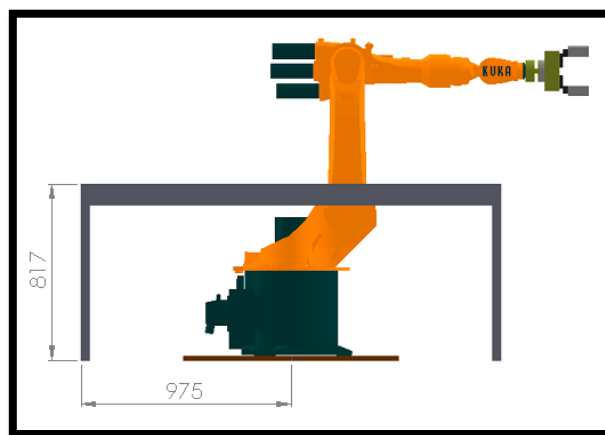


Figura 2.18: Montaje de bandas transportadoras (eje x).

La altura de la banda se puede variar en un rango de 100 mm, por lo que es despreciable; esto limita a colocar la banda más cerca del brazo robótico ya que al no estar dentro del campo de trabajo no se va a lograr el transporte de la materia prima o las piezas mecanizadas a las bandas.

Para conocer cuál es la distancia a las que se ubicó las bandas, se tomó en cuenta los parámetros indicados en la Figura 2.3 (b), como las bandas se ubicarán a los lados del brazo para el análisis se consideró que el brazo trabajará a su máximo alcance como se indica en la Figura 2.19.

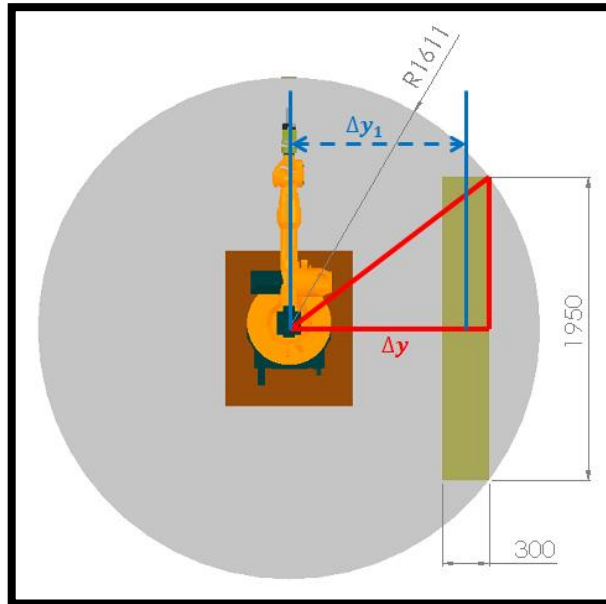


Figura 2.19: Montaje de bandas transportadoras (eje y).

A continuación se muestra el cálculo para determinar la variable Δy_1 , que se considera el máximo alcance que debe hacer el brazo robótico para coger o dejar el material.

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$r^2 = \Delta y^2 + (975 \text{ mm})^2$$

$$\Delta y = \sqrt{(1,611 \text{ mm})^2 - (975 \text{ mm})^2}$$

$$\Delta y = 1,282.457 \text{ mm}$$

$c = r =$ Radio del campo de trabajo del brazo.

$a = \Delta y =$ Distancia del centro del brazo al extremo de la banda.

$b =$ Distancia media de la banda.

$$\Delta y_1 = \Delta y - 150 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$\Delta y_1 = 1,282.457 \text{ mm} - 150 \text{ mm}$$

$$\Delta y_1 = \mathbf{1,132.457 \text{ mm}}$$

$\Delta y_1 =$ Distancia del centro del brazo al centro del extremo de la banda

La distancia máxima a las que se deben colocar las bandas es de 1,132.457 mm.

Para el proyecto se determinó una distancia del 75% (Ecuación 2.3), con el fin de que el brazo robótico no alcance su máximo recorrido, puesto que se corre el riesgo de accionar el STOP por limitación de ejes. Y otro aspecto es que la banda no se vea afectada por la canaleta metálica que se encuentra anclada al piso.

$$\begin{array}{rcl} 1,132.457 & 100\% & \\ \Delta y_{ideal} & 75\% & \end{array} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$$\Delta y_{ideal} = \mathbf{849.34 \text{ mm}}$$

$\Delta y_{ideal} =$ Distancia ideal de las bandas transportadoras.

b. Montaje del distribuidor de materia prima.

Uno de los aspectos principales para ubicar el distribuidor de materia prima, es que al momento de expulsar la materia prima lo haga por la mitad de la banda, ya que así el gripper no colisionará con las barras laterales de la banda o con los sensores. La Figura 2.20, muestra las distancias a la que se ubicará el distribuidor.

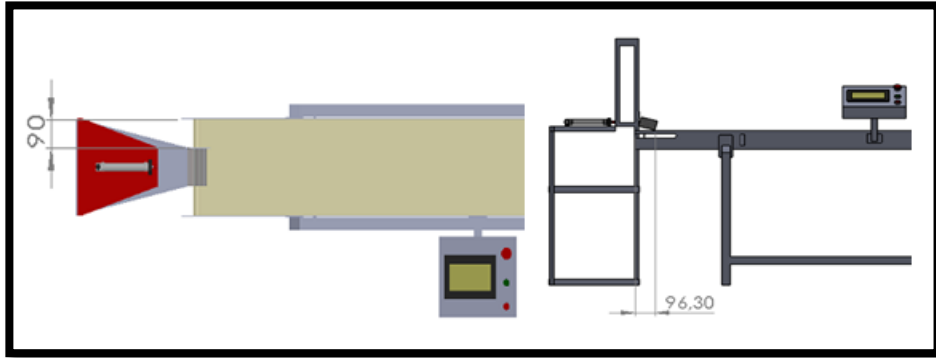


Figura 2.20: Montaje del distribuidor.

c. Montaje del mini centro de mecanizado.

Para la ubicación del mini centro de mecanizado, se tomó en cuenta los parámetros indicados en la Figura 2.3 (a), donde muestra el campo de trabajo del brazo robótico en el eje X; se acopló a una distancia donde el brazo alcance con facilidad a colocar y retirar el material cuando el centro de mecanizado esté en el HOME máquina.

Para calcular el máximo alcance de trabajo a la que el brazo puede llegar se formó un triángulo rectángulo (Figura 2.21), con los siguientes cálculos:

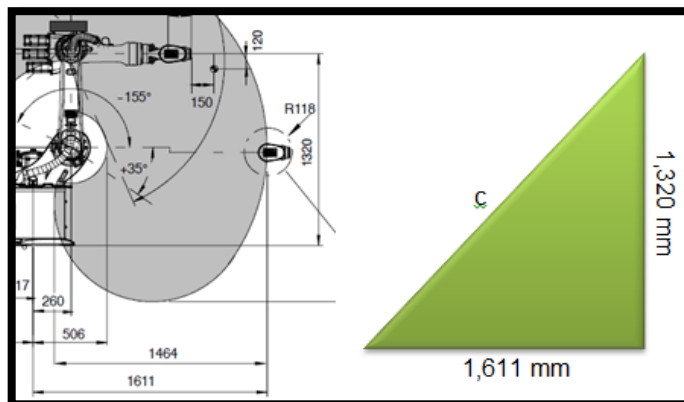


Figura 2.21: Máximo alcance de trabajo (eje X).

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$c = \sqrt{(1,611 \text{ mm})^2 + (1,320 \text{ mm})^2}$$

$$c = 2,082.71 \text{ mm}$$

$c =$ *Máximo alcance de trabajo (eje X).*

$a =$ *Distancia en X.*

$b =$ *Altura.*

Como se desea que el brazo robótico no trabaje a su máximo alcance se tomará un 70% de su distancia en X, ya que la altura del mini centro de mecanizado no se puede variar.

1,611	100%	(Ec. 2.9)
a_{ideal}	70%	

$$a_{ideal} = 1,127.7 \text{ mm}$$

$a_{ideal} =$ *Distancia ideal para ubicar el centro de mecanizado.*

Hay que tomar en cuenta que la distancia a_{ideal} , corresponde al HOME máquina del centro de mecanizado, donde se desea que el brazo llegue a colocar y retirar el material sin problemas, la Figura 2.22 indica las medidas del centro de mecanizado en la mesa y la distancia para colocar la mesa con respecto al robot.

A continuación se realiza el análisis matemático para determinar las distancias.

$$a_{mesa} = a_{ideal} - (200 \text{ mm} - 50 \text{ mm}) \quad (\text{Ec. 2.10})$$

$$a_{mesa} = 1,127.7 \text{ mm} - (200 \text{ mm} - 50 \text{ mm})$$

$$a_{\text{mesa}} = 977.7 \text{ mm}$$

a_{mesa} = Distancia para ubicar la mesa del centro de mecanizado.

a_{ideal} = Distancia ideal para ubicar el centro de mecanizado.

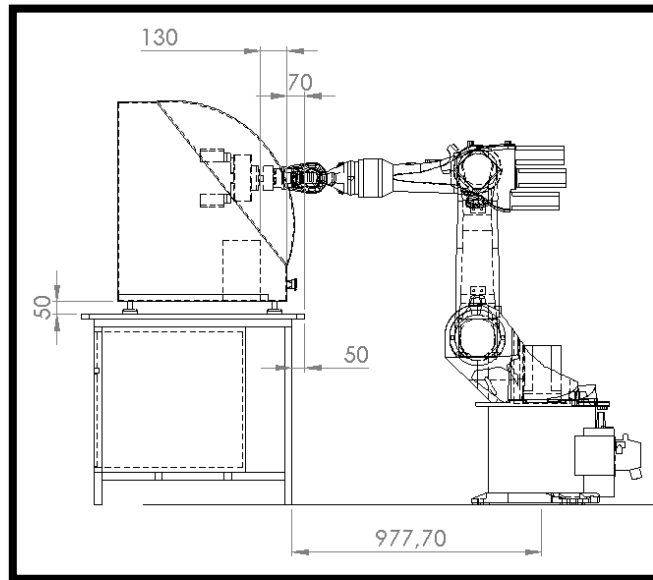


Figura 2.22: Montaje del centro de mecanizado (eje X).

El centro de mecanizado se ubicó frente al brazo robótico; para ello se tomó en consideración que las bandas transportadoras no pueden ser desplazadas debido a las medidas calculadas anteriormente; por lo que la mesa del centro de mecanizado se colocó a la mitad del brazo ya que así no se colisiona con las bandas. En la Figura 2.23 se detallan las medidas del centro de mecanizado con respecto a la mesa.

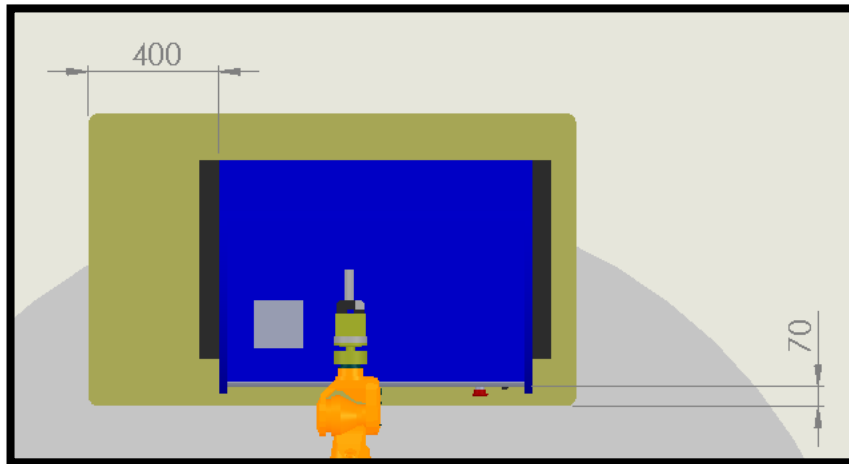


Figura 2.23: Dimensiones del centro de mecanizado en la mesa.

En la Figura 2.24, se observa el montaje de los equipos dentro de la celda.

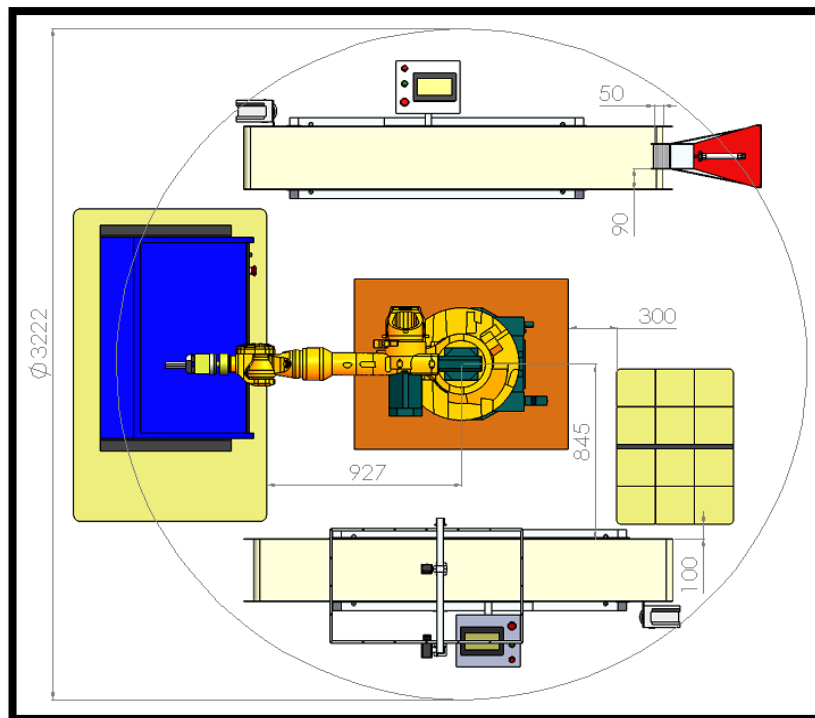


Figura 2.24: Dimensiones de la celda de manufactura.

d. Equipos en el módulo del sistema de visión.

Luego que se diseñó y construyó el módulo del sistema de visión fabricado en hierro y pintado con pintura electrostática, se procedió con el montaje de los equipos que forman parte del sistema de visión artificial.

Para la implementación de los elementos se siguieron una serie de pasos.

- ✓ Distribución de espacios, para ello se ubicó de manera ordenada las canaletas y el riel DIN para posteriormente ubicar los elementos (Figura 2.25).



Figura 2.25: Distribución de espacios.

- ✓ Colocación y cableado del módulo EVS, fuente de alimentación, bloque de E/S, relés de estado sólido, fusibles, breaker, borneras, cable de alimentación para PC, switch. (Figura 2.26).



Figura 2.26: Colocación y cableado.

- ✓ Colocación y cableado de dos monitores, un teclado, un mouse y una pantalla touch (Figura 2.27), en la parte externa del módulo de sistema de visión.



Figura 2.27: Colocación y cableado de monitores.

- ✓ Cableado para la alimentación del módulo del sistema de visión ubicado en la parte exterior de la celda de manufactura.

La canaleta ranurada ayuda a la distribución de los cables dentro del módulo, a más de mejorar la estética del mismo, las dimensiones de la canaleta varían de acuerdo a la ubicación de cada componente.

El riel DIN permite la cómoda instalación de los componentes en el módulo facilitando el reemplazo de los mismos, si es necesario se puede utilizar varios rieles DIN según la forma y medida.

e. Montaje eléctrico.

El cableado eléctrico cumple un papel importante, ya que unas buenas conexiones aseguran un trabajo con buenos resultados.

e.1 Alimentación principal y puesta a tierra.

La alimentación principal para las bandas transportadoras planas proviene del tablero principal de distribución (Figura 2.28) de la ESPE-L, con un breaker de 15A y 220V.

El mini centro de mecanizado junto con el computador de control y el módulo del sistema de visión, se energizan del tablero principal de distribución, con un breaker de 30A y 110V.



Figura 2.28: Tablero principal de distribución.

Por otro lado, el brazo robótico industrial KUKA KR 16, posee su alimentación independiente a través de un breaker de 30A y 440v (Figura 2.29).



Figura 2.29: Alimentación principal para el KUKA KR 16.

Los equipos se encuentran asegurados a un buen sistema puesto a tierra, para evitar sobrecargas de corriente y voltaje.

e.2 Módulo del sistema de visión.

Para el montaje eléctrico se dan algunas consideraciones generales de montaje y conexión; es decir, que todos los elementos que van dentro del módulo no deberán perturbarse entre sí.

Para realizar una buena conexión entre los cables de alimentación y señales se debe proceder con un tendido correcto y evitar longitudes de cable innecesarias.

En el Anexo J, se puede observar cómo se encuentra montado y ubicado los componentes, empezando con la ubicación del módulo EVS, fuente de alimentación, bloque terminal de E/S, breaker, fusibles, relés de estado sólido y borneras de paso.

El montaje y cableado del módulo de sistema de visión embebido se lo realizó de forma que quede espacio suficiente para que pueda disipar el calor.

Los componentes que se energizan a través del interruptor, colocado en el módulo del sistema de visión artificial son:

- ✓ Los monitores correspondientes al CPU y al del EVS.
- ✓ El CPU.
- ✓ El Switch.
- ✓ La fuente de alimentación NI PS – 15, que energiza al EVS y al bloque terminal de E/S.
- ✓ Las dos cámaras basler.
- ✓ El adaptador AC/DC, que energiza a la touch panel.

Para la protección de los equipos se tomó en cuenta la instalación de fusibles y un breaker, considerando la carga total del sistema, en la Tabla 2.11 se detallan las cargas de cada equipo.

Tabla 2.11: Cargas de los equipos.

<i>Equipo</i>	<i>Carga (A)</i>
<i>Fuente de Alimentación NI PS - 15</i>	0.20
<i>Monitores</i>	0.30
<i>Cámaras</i>	0.04
<i>Switch</i>	0.04
<i>CPU</i>	0.04
<i>Adaptador AC/DC</i>	0.3
Carga total:	0.92

Trashorras (2009) explica que para un circuito de baja potencia, la selección del fusible y del breaker dependerá de la carga total del sistema, en éste caso es 0.92A pero como no existe en el mercado se elige el inmediato superior que es de 1A para los dos casos; en el Anexo K se indica el plano de las conexiones eléctricas de los dispositivos.

2.4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA.

Para el funcionamiento automático del proceso se implementó algunos dispositivos como relés, puntos de red, borneras, conexiones eléctricas y neumáticas; los cuales se detallan a continuación:

a. Conexiones físicas para las E/S de los PLC's.

Luego de haber realizado el análisis para determinar que entradas y salidas se usarán para la programación de los PLC's; se procedió con las conexiones físicas de las mismas (Figura 2.30).

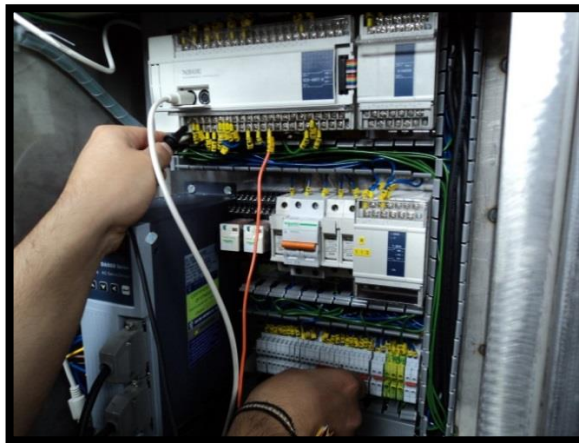


Figura 2.30: Conexiones de E/S de los PLC's.

Para estas conexiones se usó cable flexible tipo TFF calibre N.- 16 y se colocó marquillas con numeración para facilitar el trabajo en caso de alguna avería.

a.1 Red Ethernet.

Para realizar el HMI del proceso se implementó una red ethernet, para lo cual se necesitó de los siguientes equipos:

a.1.1 Módulo industrial ethernet.

El módulo industrial ethernet T-BOX (Figura 2.31), permite realizar una red ethernet soportando una comunicación modbus entre los PLC's de las bandas transportadoras, a través del protocolo TCP/IP utilizando RJ-45. Su función es la de escribir, leer datos o valores de los PLC's y controlar, monitorear desde un touch panel para realizar un sistema scada.



Figura 2.31: Módulo T-BOX.

Para la interconexión se utiliza un switch, el cual permite la comunicación entre los dos módulos y un computador; este ayuda a configurar la red. La Figura 2.32, indica el diagrama de conexiones de la red en la celda de manufactura. El switch trabaja a una velocidad de 10/100/1000Mbps, por lo que se utiliza tanto para los módulos T-BOX como para la conexión entre el EVS y las cámaras basler.

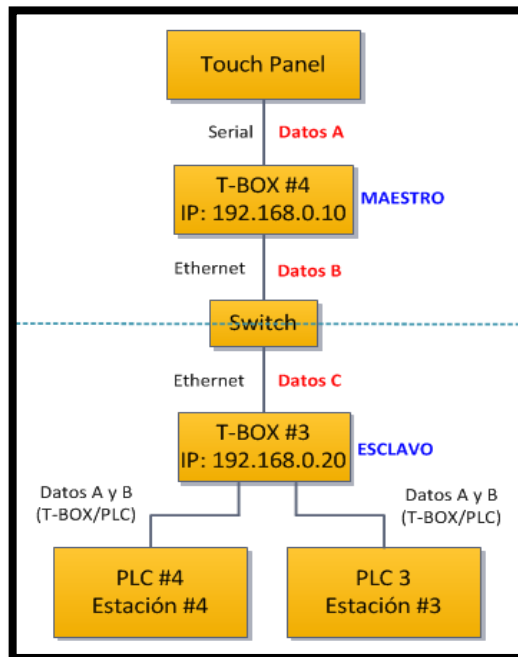


Figura 2.32: Diagrama de conexiones.

El tipo de cable UTP utilizado para todas las redes ethernet dentro de la celda de manufactura es de Categoría 6 o Cat 6, ya que dentro de sus características está soportar velocidades de hasta 1000Mbps (gigabit ethernet), longitud de 100 metros, una frecuencia de 250 Mhz y es inmune al ruido. ¹⁴

a.1.2 Touch panel.

El proyecto consta de una touch panel TP760-T (Figura 2.33), la misma que es usada para el HMI del proceso de la celda de manufactura, la cual fue programada para el encendido/apagado del proceso, control de velocidad de las bandas transportadoras, monitoreo de los distintos sensores y actuadores, mensajes de información de lo que está sucediendo dentro del

¹⁴ Fundación Wikimedia, (2013, marzo 19). *Cable de categoría 6*. Extraído el 9 de abril del 20123 desde http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_categor%C3%ADa_6

proceso y un registro donde consta el número de materia prima, piezas mecanizadas correctas o incorrectas.



Figura 2.33: Touch panel TP760-T.

En el Anexo L, se indica las características técnicas de la touch panel (Xinje et al., 2011).

b. Conexiones físicas para las E/S del módulo WAGO.

El módulo WAGO permite la conexión de entradas/salidas digitales; mediante software normalmente el número de entradas y salidas digitales disponibles es de 1024, pero existe la posibilidad de utilizar 2048 o 4096 entradas y salidas.

En el armario de control KR C2 está instalado un módulo WAGO con 16 entradas digitales (Figura 2.34); para el proyecto se utilizan las entradas digitales: 6, 10, 11, 12 y 13. Igual consta de salidas digitales (Figura 2.35), se utilizan: 1, 2, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16.

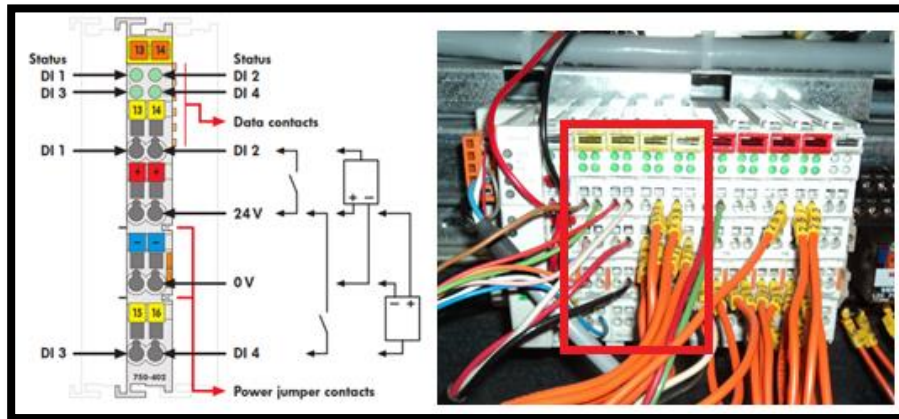


Figura 2.34: Módulo de entradas digitales.

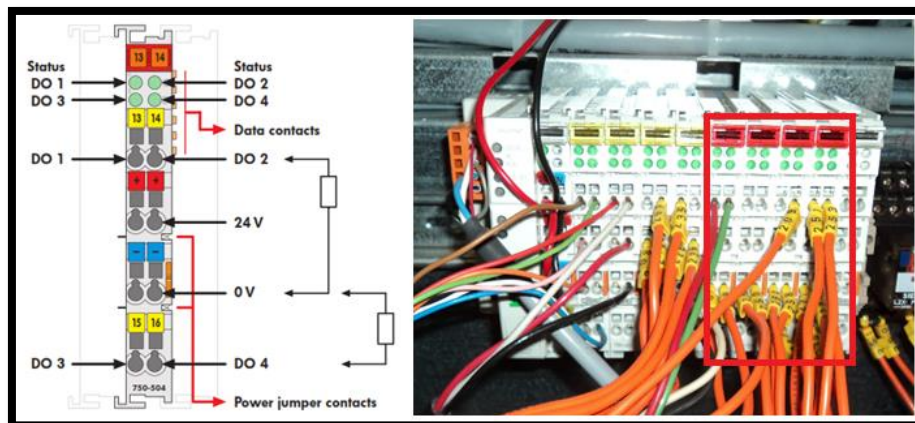


Figura 2.35: Módulo de salidas digitales.

c. Conexiones físicas para las E/S del mini centro de mecanizado.

Para la automatización del proceso, se utilizó una entrada digital la cual permite iniciar con el proceso de mecanizado y dos salidas digitales, las mismas que permiten dar como finalizado el mecanizado y la otra es un indicador para el monitoreo (Figura 2.36).

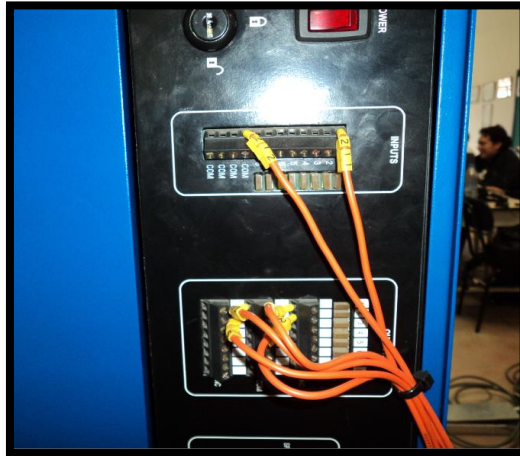


Figura 2.36: Conexiones de E/S del mini centro de mecanizado.

d. Conexión física del EVS.

Para la conexión del EVS con el computador y el switch, se lo realiza con cable UTP Cat 6 ya que la red es ethernet y utiliza el protocolo TCP/IP. En la Figura 2.37, se aprecia el diagrama de conexión del EVS con sus respectivos dispositivos. En el Anexo M, se muestra los led indicadores, dip switches y conectores de los que está formado el EVS.

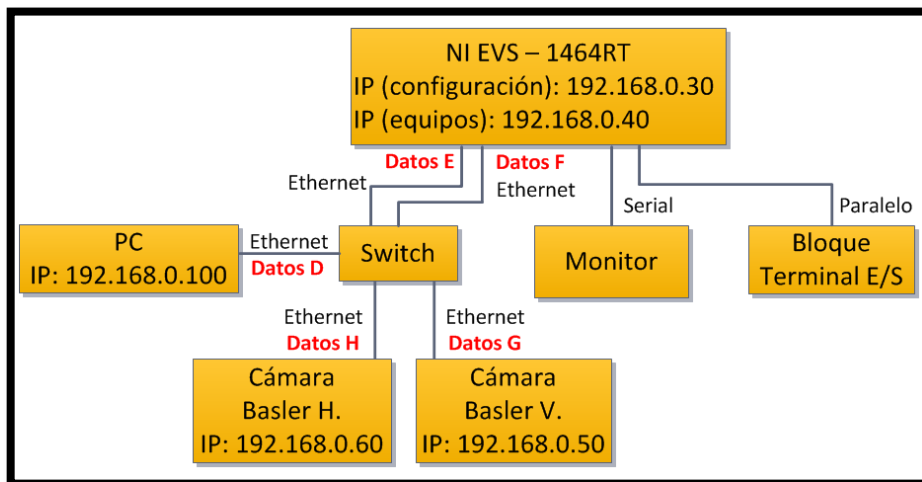


Figura 2.37: Diagrama de conexión.

Para la comunicación del EVS con el computador hay que seguir los siguientes pasos:

- ✓ Conectar los dispositivos como indica la Figura 2.37 y energizarlos.
- ✓ Desactivar el wireless del computador.
- ✓ En el computador seguir la secuencia: **Inicio > Panel de Control > Ver el estado y las tareas de red > Conexión de Área Local > Propiedades > Seleccionar: Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4) > Propiedades.**
- ✓ En la nueva ventana seleccionar la opción **Usar la siguiente dirección IP** y colocar la IP: 192.168.0.100 (Figura 2.38).

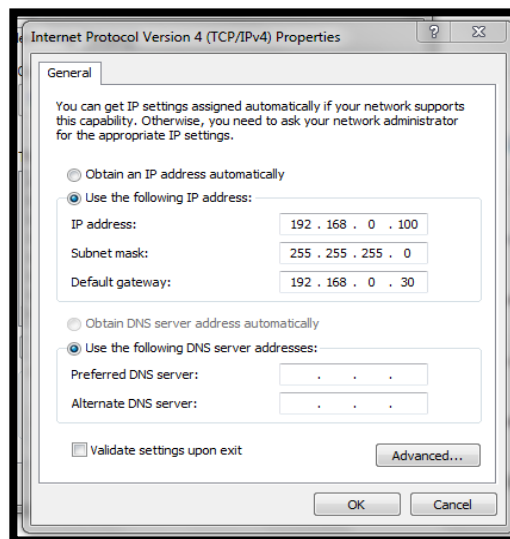


Figura 2.38: Configuración de la IP.

- ✓ La Tabla 2.12, indica los valores correspondientes a cada casillero, para poder establecer la red entre el EVS y el computador. Tomando en cuenta que en Puerta de enlace predeterminada va la IP de configuración del EVS.

Tabla 2.12: Direcciones IP establecidas.

Dirección IP:	192.168.0.100
Máscara de subred:	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada:	192.168.0.30

- ✓ Para comprobar si el EVS está listo para trabajar seguir la secuencia: **Inicio > Todos los Programas > National Instruments > Measurement & Automation (MAX).**
- ✓ En el software MAX, en la pantalla izquierda desplegar la opción **Remote Systems** y comprobar si el EVS está conectado (Figura 2.39), si esto ocurre se visualiza el nombre y modelo del EVS, en este caso es: **NI-EVS1460-C9C207FE**. (Este nombre depende del dispositivo y varía al cambiar el mismo).

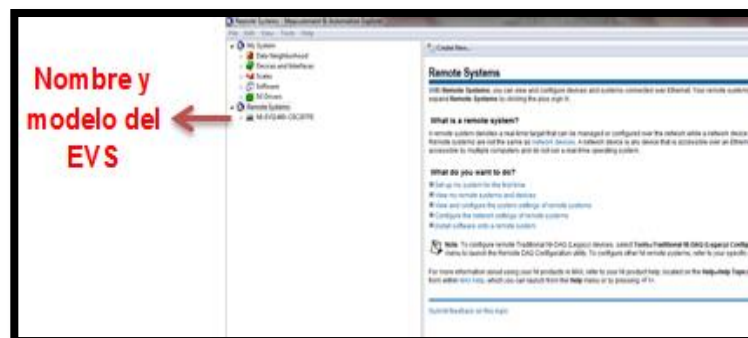


Figura 2.39: Measurement & Automation (MAX).

- ✓ Finalmente dar clic sobre el nombre del EVS, en la nueva ventana (Figura 2.40), se puede observar los datos del Conector de Red Primario y Secundario.

En el conector de red primario la IP debe ser Estática, para que al conectar al computador no esté variando, la IP del EVS viene predefinida pero se la debe cambiar para poder establecer la red con el computador, en este caso se utiliza la IP: **192.168.0.30**. El conector de red Secundaria es destinado para conectar los equipos, en este caso las cámaras, la IP secundaria es: **192.168.0.40**.

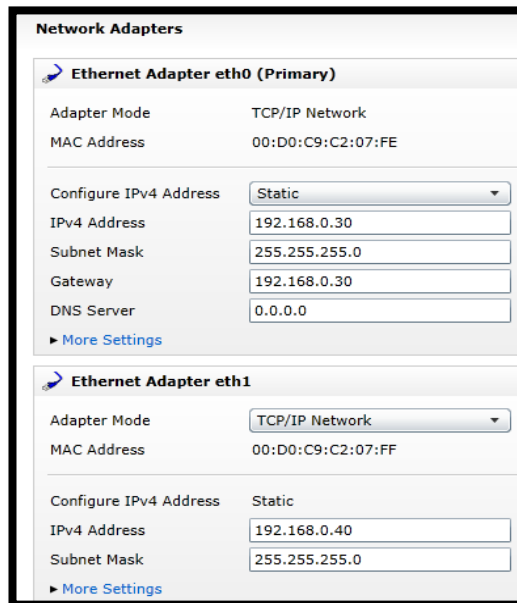


Figura 2.40: Datos configurables para el EVS.

En la Figura 2.37, se observa como están conectadas las cámaras al EVS a través de un switch. Para que las cámaras puedan funcionar hay que cambiar las IP, a continuación se describe los pasos a seguir:

- ✓ Ejecutar el software Pylon IP Configuration Tool (Figura 2.41) y verificar si las cámaras han sido reconocidas, caso contrario dar clic en **Refresh**.

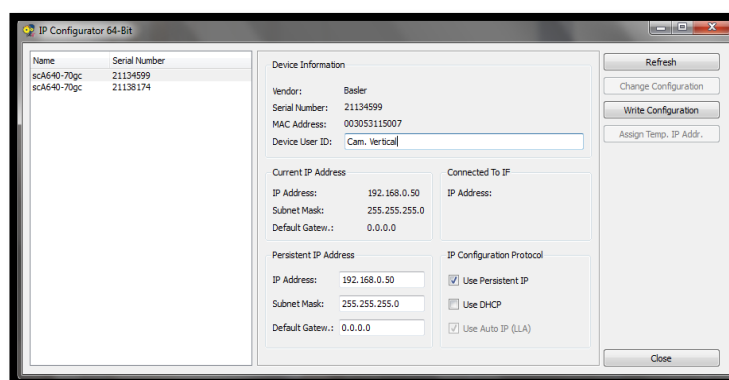


Figura 2.41: Pylon IP Configuration Tool.

- ✓ Para cambiar la IP de las cámaras dar clic en **Change Configuration**, se activa las diferentes ventanas y en **Device User ID:** se puede dar un

nombre a cada una de las cámaras, en este caso: **Cam. vertical** y **Cam. horizontal**.

- ✓ En **IP Address**: se cambia las IP, las cuales son **192.168.0.50** para la cámara vertical y **192.168.0.60** para la cámara horizontal.
- ✓ Para actualizar los datos dar clic en **Write Configuration**. Los pasos anteriores se los debe realizar independientemente para cada cámara.
- ✓ En el MAX verificar si las cámaras han sido reconocidas por el EVS, siguiendo la secuencia: **Remote Systems > NI-EVS1460-C9C207FE > Devices and Interfaces > NI-IMAQdx Devices** (Figura 2.42).

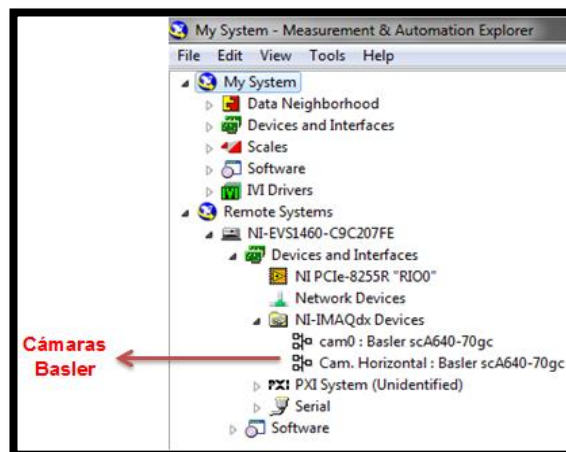


Figura 2.42: Cámaras reconocidas por el EVS.

e. Señales digitales de control.

Para la implementación del control entre las entradas/salidas digitales de los PLC's, el módulo WAGO, bloque terminal de E/S y mini dentro de mecanizado; se necesitó la instalación de relés de estado sólido de 24V DC, con protección en la bobina de un diodo colocado en anti paralelo para la inducción de la corriente. Cada uno de los componentes da la facilidad de trabajar con 24V DC.

En la Tabla 2.13, se indica las funciones que realizan cada entrada y salida digital de los componentes de la celda de manufactura.

Tabla 2.13: Funciones de E/S de los componentes.

PLC banda transportadora N.- 3			
<i>Número de Relé (R)</i>	<i>Entrada (X)</i>	<i>Salida (Y)</i>	<i>Función</i>
R1		Y10	Activa la electroválvula del distribuidor de materia prima
R2		Y11	Activa la entrada 10 del módulo WAGO
	X20		Se activa con R10
	X21		Paro de emergencia
Módulo WAGO del brazo robótico			
<i>Número de Relé (R)</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	<i>Función</i>
R3		10	Activa la entrada 1 del mini centro de mecanizado
R5		11	Activa la entrada X20 del PLC de la banda transportadora N.- 4
R10		12	Activa la entrada X20 del PLC de la banda transportadora N.- 3
R11		13	Activa la electroválvula de la entenalla
R12		14	Activa la entrada X24 del PLC de la banda transportadora N.- 4
R13		15	Activa la entrada X25 del PLC de la banda transportadora N.- 4
R14		16	Activa la entrada X26 del PLC de la banda transportadora N.- 4
	10		Se activa con R2
	11		Se activa con R4
	12		Se activa con R8
	13		Se activa con R9

Mini centro de mecanizado			
<i>Número de Relé (R)</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	<i>Función</i>
R4		1	Activa la entrada 11 del módulo WAGO
R15		2	Activa la entrada X27 del PLC de la banda transportadora N.- 4
	1		Se activa con R3
Bloque terminal de E/S			
<i>Número de Relé (R)</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	<i>Función</i>
R6		0	Activa la entrada X21 del PLC de la banda transportadora N.- 4
R7		1	Activa la entrada X22 del PLC de la banda transportadora N.- 4
PLC banda transportadora N.- 4			
<i>Número de Relé (R)</i>	<i>Entrada (X)</i>	<i>Salida (Y)</i>	<i>Función</i>
R8		Y10	Activa la entrada 12 del módulo WAGO
R9		Y11	Activa la entrada 13 del módulo WAGO
	X20		Se activa con R5
	X21		Se activa con R6
	X22		Se activa con R7
	X23		Paro de emergencia
	X24		Se activa con R12
	X25		Se activa con R13
	X26		Se activa con R14
	X27		Se activa con R15

En el Anexo N, se presenta el plano de control de la celda de manufactura.

Para la alimentación a las bobinas de los relés se utilizó un conductor flexible de cobre tipo TFF calibre 16; en el Anexo O se muestra las

características físicas, el cual soporta una corriente de hasta 8A y es fácil de manipular (Disensa Electrocables CA., 2012).

De igual forma se usó para las entradas y salidas digitales de los PLC's de las dos bandas.

f. PC de escritorio.

El uso del computador es de vital importancia dentro de la celda de manufactura, debido a que complementa todo el trabajo que se lleva en el proceso, con su intervención en el proceso se alcanza el tercer nivel de la automatización.

Además, es necesaria su integración para realizar el control de calidad con respecto a la forma y el tamaño de las piezas mecanizadas a través del software Vision Builder AI; para programar los PLC's por medio del software XC Series Program Tool; para generar los códigos G mediante Mastercam X6 y poder mecanizar las piezas a través del software CNCBase for intelitek.

g. Estaciones de trabajo.

Luego de haber montado e implementado los equipos, se obtuvo las siguientes estaciones de trabajo:

g.1 Estación de distribución.

Como se indica en la Figura 2.43, está compuesta por una electroválvula 3/2 (3 vías, 2 posiciones) que se energiza con 12V DC, la cual activa a un cilindro de simple efecto neumáticamente. Su función es expulsar la materia prima hacia la banda transportadora.



Figura 2.43: Estación de distribución.

g.2 Estación de mecanizado.

Se compone del mini centro de mecanizado (Figura 2.44), éste se encarga de mecanizar la pieza una vez que el brazo robótico ha colocado la materia prima en la entenalla.

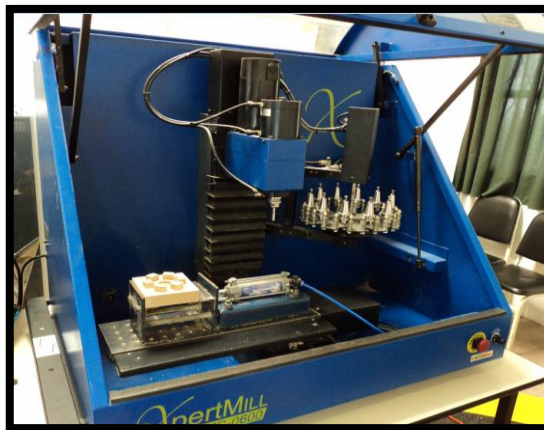


Figura 2.44: Estación de mecanizado.

g.3 Estación de control de calidad.

Se compone del módulo de sistema de visión, donde se localiza el EVS junto con el bloque de terminales de E/S y dos cámaras Basler sujetas a

una estructura a la altura media de la banda transportadora N.- 4 (Figura 2.45). Su función es capturar la imagen superior y lateral para procesar las imágenes y determinar si las dimensiones y la forma que tiene la pieza cumple con las especificaciones que fueron dadas por el fabricante. El control de calidad determina si la pieza cumple satisfactoriamente con lo requerido en el proceso o si la pieza tuvo alguna falla.



Figura 2.45: Estación de control de calidad.

g.4 Estación de transporte.

Como se observa en la Figura 2.46, está compuesta por dos bandas transportadoras planas y el brazo robótico. Su función es transportar la materia prima por la primera banda hasta el extremo, para que el brazo robótico tome la materia prima de ese punto y lo lleve hasta la estación de procesamiento.

Finalmente el brazo robótico espera que termine de mecanizar la pieza para tomar la misma y transportarla hasta la otra banda. Espera que la pieza pase el control de calidad para realizar el proceso de manipulación dependiendo si la pieza es buena o mala.

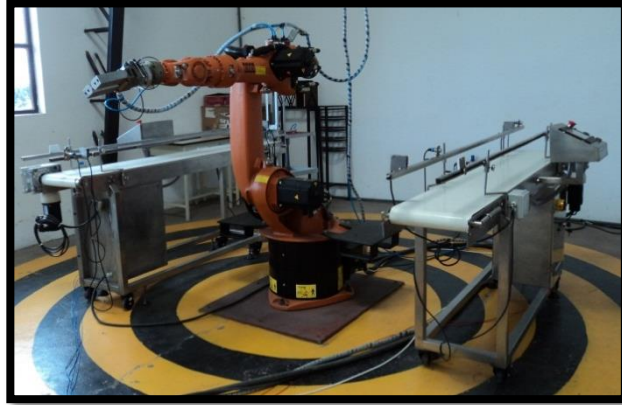


Figura 2.46: Estación de transporte.

g.5 Estación de clasificación y almacenamiento

Simplemente se ha designado un espacio para este fin, sin ninguna característica en especial; en el cual se va a clasificar y almacenar las piezas mecanizadas dependiendo del control de calidad; obteniendo dos áreas de almacenamiento, para las piezas que pasen el control de calidad y para las piezas malas respectivamente.

2.4.3 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO.

Finalmente, una vez que se terminó de montar e implementar las estaciones de trabajo, la celda de manufactura queda diseñada e implementada según lo que observa en la Figura 2.47.

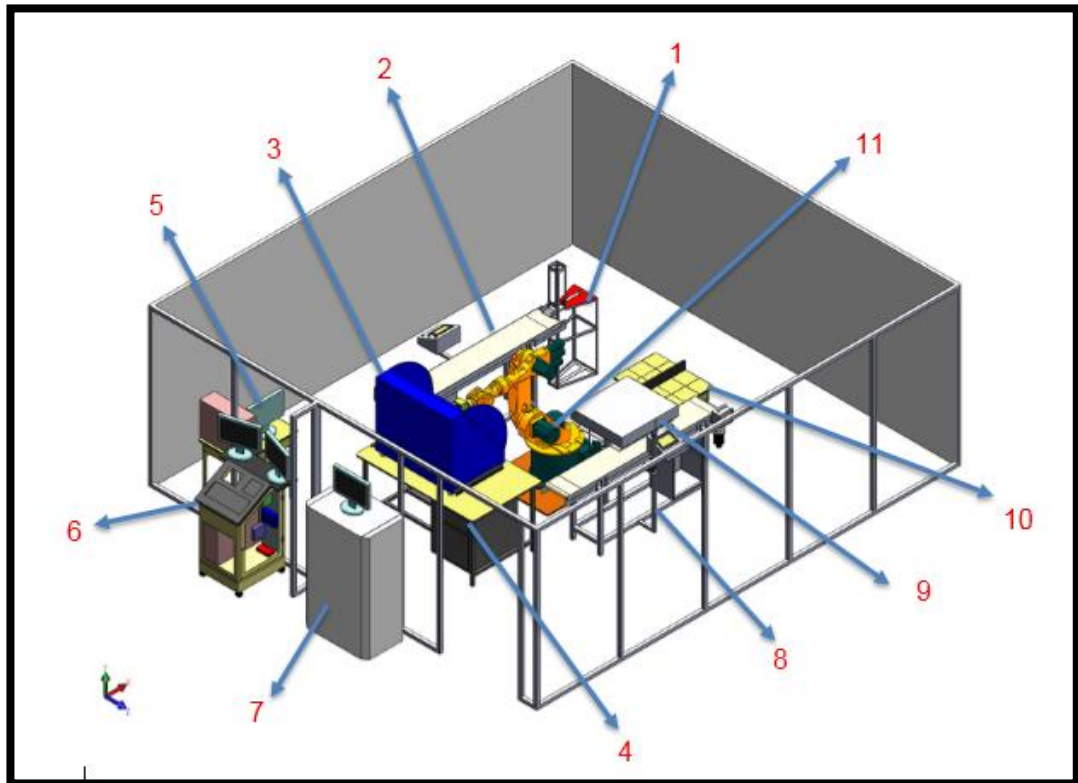


Figura 2.47: Descripción del proyecto.

Las partes constitutivas de la misma se detallan a continuación:

- 1) Distribuidor de materia prima.
- 2) Banda transportadora N.-3, su número se debe a la designación que viene por fábrica y este se encuentra ubicado en el encoder del servo drive que pertenece a la banda.
- 3) Mini centro de mecanizado ExperMill VM-600.
- 4) Mesa del mini centro de mecanizado.
- 5) PC para la comunicación con el mini centro de mecanizado.
- 6) Módulo de control de calidad.
- 7) Armario de control del robot industrial KUKA KR 16.
- 8) Banda transportadora N.-4, su número se debe a la designación que viene por fábrica y este se encuentra ubicado en el encoder del servo drive que pertenece a la banda.
- 9) Estructuras de difuminación de luz para las cámaras.

10) Mesa destinada al almacenamiento de las piezas mecanizadas.

11) Brazo robótico industrial KUKA KR 16.

2.4.4 MEDIDAS DE SEGURIDAD A TOMAR EN LA FASE DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA.

Por otra parte, durante la utilización del sistema y en especial durante las fases y puesta en marcha, deben respetarse rigurosamente determinadas normas que reducirán el riesgo de accidente. Además, es importante que exista información en el propio laboratorio de la posibilidad de esos riesgos, así como que los operarios tengan la formación adecuada. Estas consideraciones se pueden resumir de forma breve en los siguientes puntos:

- ***Abstenerse a entrar en la zona de trabajo.***- Durante la programación e implantación de la aplicación, se procurara permanecer, dentro de lo posible, fuera del campo de trabajo del robot. Este trabajara a velocidades lentas. En cualquier caso, se deberá salir fuera del área de trabajo cuando el robot vaya a trabajar de manera automática, aun siendo en fase de pruebas. Es también aconsejable que, siempre que sea posible, la fase de programación se realice con dos operarios, observando uno de ellos la marcha del proceso, estando dispuesto a accionar el paro de emergencia en caso de necesidad.

- ***Señalización adecuada.***- La celda estará dotada de una adecuada señalización del estado del robot mediante señales que se encuentran colocadas de manera visible en torno a la celda (Figura 2.48).



Figura 2.48: Señalización en la celda de manufactura.

- **Prueba progresiva del programador del robot.-** El desarrollo y ejecución del programa del robot, y de toda la celda en sí, deberá hacerse con sumo cuidado. El programa deberá ejecutarse primeramente a velocidad lenta y pasó por paso. A continuación se podrá ejecutar de manera continua, pudiéndose aumentar progresivamente la velocidad.
- **Formación adecuada.-** Del personal que maneje la celda de manufactura.

2.5 SEGURIDAD EN LA CELDA DE MANUFACTURA. ¹⁵

En la celda destinada para este proyecto se ha de considerar la utilización de señales y protección en general que intenten minimizar el riesgo de accidentes. De forma general se pueden citar los siguientes:

- **Vallas de acceso a la celda.-** Se dispondrán de barreras en torno a la celda, que impidan el acceso a personas. (Figura 2.49).

¹⁵ De la Fuente R., (2005, enero 19). *Miniproyecto Automatización Industrial (AUTI)*. Extraído el 28 de noviembre del 2012 desde <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012628/40604-3452.pdf>



Figura 2.49: Celda de manufactura con vallas de protección.

- **Movimientos condicionados.-** En el caso de que durante el funcionamiento de la celda, el operario deba entrar en determinados momentos dentro del campo de trabajo del robot (para alimentar de materia prima), se programará a éste de manera que no efectúe movimiento alguno durante estos instantes.
- **Condiciones adecuadas en la instalación auxiliar.-** Se trata de un sistema eléctrico con protecciones, aislamientos, etc., sistemas neumáticos o hidráulicos correctos.
- **Supervisión del sistema de control.-** Realizar un control del funcionamiento de los relés que permiten el correcto funcionamiento del proceso.
- **Paradas de emergencia.-** Colocadas en el KCP del brazo robótico y en el módulo del sistema de visión.
- **Detectores de sobreesfuerzo.-** En el caso de que el gripper tope con algún objeto, se ha colocado un sensor de colisión que se activará en el momento del choque.

El objetivo de implementar la seguridad industrial en este proyecto es la de promover la cultura de prevención a través del conocimiento y aplicación de técnicas para lograr la prevención de riesgos laborales; así como localizar las causas, determinar medidas de prevención antes de que ocurran los accidentes y mejorar la calidad de producción.

2.5.1 SEÑALES Y SÍMBOLOS DE SEGURIDAD.


Dentro de la celda de manufactura se observa que existen señales y símbolos de seguridad, los cuales se aplican para la identificación de posibles fuentes de peligro y para marcar la localización de equipos de emergencia y de protección.

a. Colores de seguridad.

La Tabla 2.14, establece los tres colores de seguridad, el color auxiliar, sus respectivos significados y da ejemplos del uso correcto de los mismos.

Tabla 2.14: Colores de seguridad y significado.

Color.	Significado.	Ejemplo de Uso.
	Alto. Prohibición.	Señal de parada. Signos de Prohibición. Este color también se utiliza para prevenir fuego y para marcar equipo contra incendio y su localización.
	Atención. Cuidado, peligro.	Indicación de peligros (fuego, explosión, envenenamiento, etc.) Advertencia de obstáculos.
	Seguridad.	Rutas de escape, salidas de emergencia, estación de primeros auxilios.

	Acción obligada. Información.	Obligación de usar equipos de seguridad industrial. Localización de teléfono.
---	----------------------------------	--

b. Señales de seguridad.

La Tabla 2.15, establece las formas geométricas y sus significados para las señales de seguridad.

Tabla 2.15: Señales de seguridad.

Señales	Descripción
	Fondo blanco, círculo y barra inclinada rojos. El símbolo de seguridad será negro, colocado en el centro de la señal, pero no debe sobreponerse a la barra inclinada roja.
	Fondo azul. El símbolo de seguridad o el texto serán blancos colocados en el centro de la señal. Los símbolos usados en las señales de obligación establecen tipos generales de protección.
	Fondo amarillo. Franja triangular negra. El símbolo de seguridad será negro y estará colocado en el centro de la señal.
	Fondo verde. Símbolo o texto de seguridad en blanco y colocado en el centro de la señal. La forma de la señal debe ser cuadrada o rectangular de tamaño adecuado para alojar el símbolo y/o texto de seguridad.

c. Señales de prohibición.

En la Tabla 2.16, se indica las señales de seguridad de las que consta la celda de manufactura.

Tabla 2.16: Señales de seguridad.

<i>Señal de Seguridad</i>	<i>Significado</i>
	ENTRADA PROHIBIDA A PERSONAS NO AUTORIZADAS
	NO INTRODUZCA LAS MANOS
	PROHIBIDO FUMAR
	PROHIBIDO INGERIR ALIMENTOS
	ATENCIÓN PELIGRO TENER CUIDADO

	<p>CUIDADO PELIGRO DE SHOCK ELÉCTRICO ALTO VOLTAJE</p>
	<p>ES OBLIGATORIO MANTENER LA PUERTA CERRADA</p>
	<p>USO OBLIGATORIO GAFAS</p>
	<p>USO OBLIGATORIO OREJERAS</p>
	<p>USO OBLIGATORIO CALZADO DE SEGURIDAD</p>

CAPÍTULO III

CONFIGURACIÓN DEL CONTROL DE LA CELDA DE MANUFACTURA

3.1 GENERALIDADES.

Hoy en día la industria manufacturera debe cubrir algunas necesidades, para garantizar un producto de calidad a sus clientes, disminuyendo errores en la producción y avalando un proceso de control de calidad fiable. Para ello se están aplicando los métodos y avances tecnológicos más efectivos en algunos de los procesos claves de la producción. Uno de estos procesos es el de control de calidad.

El objetivo principal que tiene este proyecto es el de contribuir con la implementación de un equipo de visión que garantice una elevada fiabilidad de la calidad. Los equipos que forman parte para la inspección del control de calidad permiten realizar las inspecciones en un proceso continuo y de tiempo real, una vez configurados los parámetros necesarios.

Este proyecto se particulariza en el estudio y uso de técnicas de visión artificial. Las técnicas que ofrece el mercado actual y el uso del software de programación Vision Builder AI, ha permitido desarrollar una aplicación de visión artificial, con la finalidad de realizar el control de calidad en piezas mecanizadas.

El proceso de control de calidad se basa en un algoritmo que permite comprobar y analizar las dimensiones de la pieza, tales como diámetros de circunferencia, distancia entre puntos, análisis de altura y detección de objetos similares.

Con la implementación de este equipo de visión artificial, se pretende garantizar el aprendizaje eficaz orientado a la realidad industrial en equipos automatizados, proporcionando seguridad y confianza para manejar los equipos.

3.2 DESARROLLO DEL CONTROL DEL BRAZO ROBÓTICO, BANDAS TRANSPORTADORAS Y MINI CENTRO DE MECANIZADO.

Al iniciar con el proceso de control del brazo robótico, bandas transportadoras y el mini centro de mecanizado, es necesario realizar algunas configuraciones con estos equipos; ya que de ello depende la completa automatización de la celda de manufactura para obtener un proceso eficiente y eficaz.

3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.

Para empezar con la programación de los movimientos del brazo robótico KUKA KR 16, se debe configurar la base y herramienta del robot con la que se va a trabajar en el proyecto, con el fin de asignar una superficie de trabajo y una herramienta a un sistema de coordenadas cartesianas.

a. Configuración de la base.

El objetivo de configurar la base del robot KUKA KR 16, es la de establecer el sistema de coordenadas de la superficie de trabajo en la que se desplazará el robot.

Para la configuración de la base del robot, se utilizó el método de los 3 puntos, en el que el TCP debe desplazarse al origen y luego a otros dos puntos (Figura 3.1).

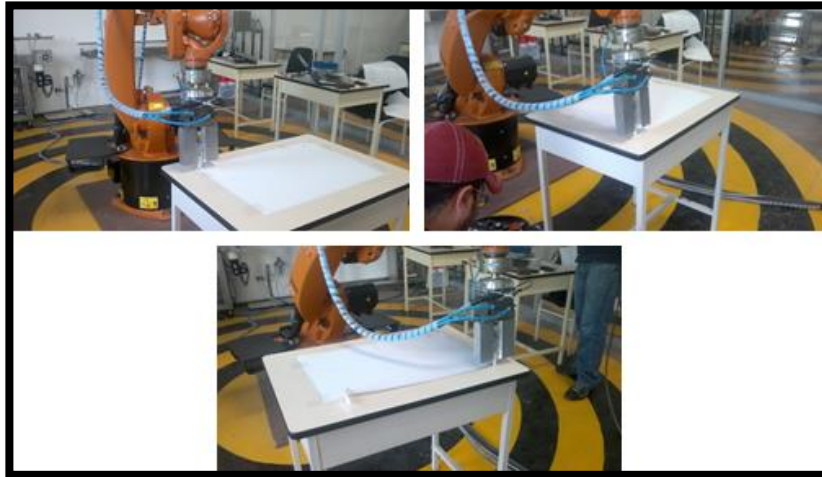


Figura 3.1: Método de los 3 puntos.

Los pasos que se siguen para configurar la base del robot, se describen a continuación:

- ✓ Seleccionar la secuencia en las Teclas de Menú: **Inicial > Medición > Base > 3-Puntos** (Figura 3.2).

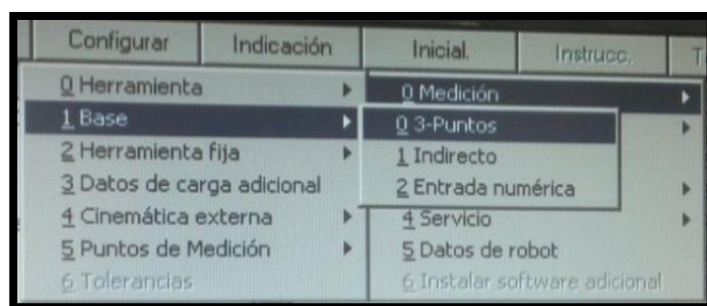


Figura 3.2: Configuración de la base.

- ✓ Indicar un número y un nombre para la nueva Base, en este caso se asigna Base Num: 8 y Nombre del sistema base: Tesis. Luego en las Teclas de Función Programable, pulsar **Continuar** (Figura 3.3).

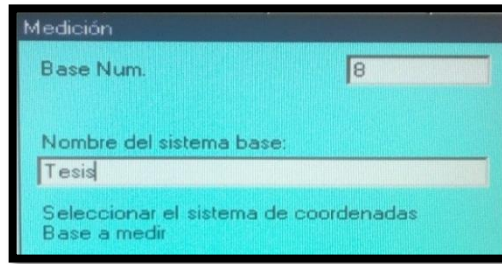


Figura 3.3: Asignación de nombre y número de base.

- ✓ Indicar el número de la herramienta montada, en este caso Medición de herramienta Num: 8. Pulsar **Continuar** (Figura 3.4).

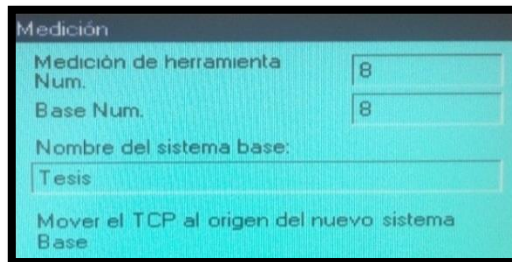


Figura 3.4: Número de la herramienta.

- ✓ Con el TCP mover el robot a una nueva Base (origen). Pulsar **Medición** > **Continuar**. (Figura 3.5).

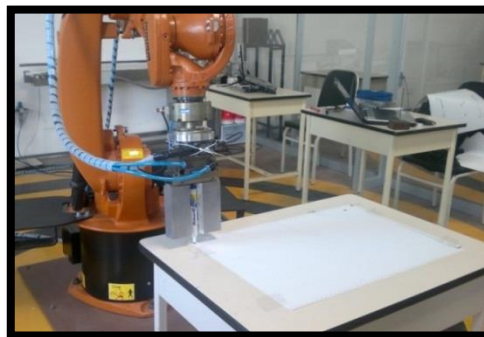


Figura 3.5: Posicionamiento en el origen.

- ✓ Con el TCP desplazar el robot a un punto del eje X positivo de la nueva Base. Pulsar **Medición** > **Continuar**.

- ✓ Con el TCP desplazar el robot a un punto del plano XY de la nueva Base, con valor Y positivo. Pulsar **Medición > Continuar**.
- ✓ Finalmente pulsar **Guardar**.

b. Configuración de la herramienta.

Mediante la configuración de la herramienta del robot, se asigna a una herramienta montada en la brida del robot un sistema de coordenadas cartesianas.

Para la configuración de la herramienta del robot, se utilizó la medición XYZ de los 4 puntos (Figura 3.6), en donde el TCP de la herramienta que se desea medir, debe desplazarse a un punto de referencia desde 4 direcciones diferentes.

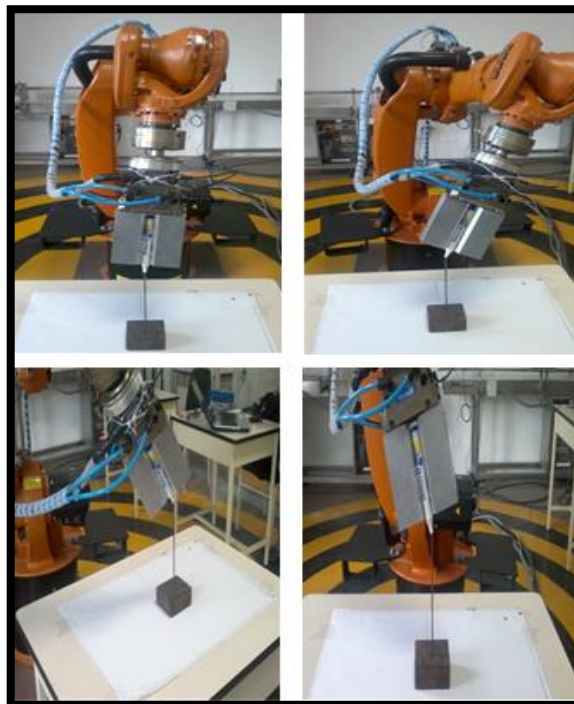


Figura 3.6: Medición XYZ de los 4 puntos.

A continuación se describe el procedimiento para la configuración de la herramienta.

- ✓ Seleccionar la secuencia en las Teclas de Menú: **Inicial > Medición > Herramienta > XYZ 4- Puntos.** (Figura 3.7).

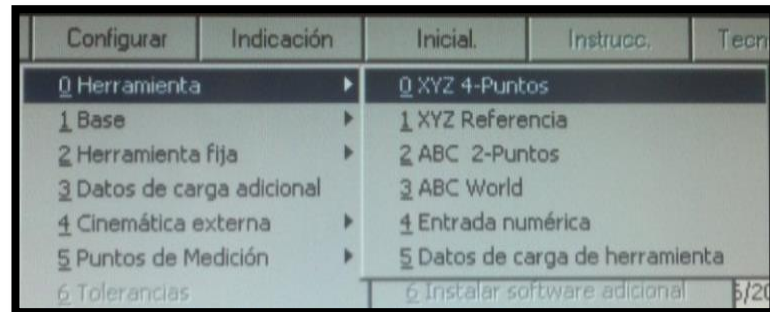


Figura 3.7: Configuración de la herramienta.

- ✓ Indicar un número y un nombre para la herramienta, en este caso se asigna Herramienta Num: 8 y Nombre de herramienta: Tesis. Luego en las Teclas de Función Programable, pulsar **Continuar** (Figura 3.8).

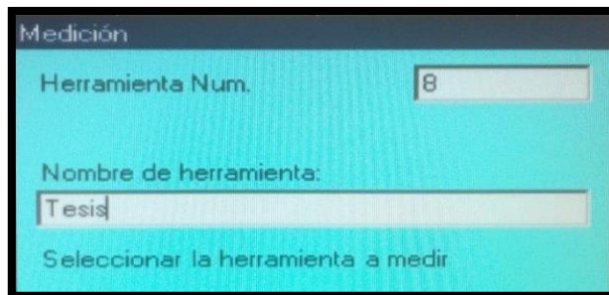


Figura 3.8: Asignación número y nombre.

- ✓ Alinear la herramienta (TCP) a un punto de referencia (Dirección1). Pulsar **Medición > Continuar** (Figura 3.9).



Figura 3.9: Punto de referencia.

- ✓ Alinear la herramienta (TCP) a un punto de referencia (Dirección2). Pulsar **Medición > Continuar**.
- ✓ Repetir el paso 3 y 4 dos veces.
- ✓ Finalmente pulsar **Guardar**.

3.2.2 PROGRAMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.

Antes de empezar con la secuencia de programación que realizará el brazo robótico, se debe conocer las características de trabajo del robot ya que de esta forma se obtiene un control preciso, evitando una colisión del brazo con los equipos o algún ser humano.

a. Grupo de usuario.

En su configuración estándar, el software de la unidad de control KRC (Kuka Roboter Controller) diferencia entre tres grupos de usuarios:

- ✓ Programador.
- ✓ Programador experto.
- ✓ KRC Administrador.

En el grupo de usuario “Programador”, el usuario no requiere conocimientos de sintaxis de programación, ya que confecciona programas guiándose por menús. Al arrancar el sistema, se selecciona automáticamente el nivel programador. Las funciones del grupo de usuario programador, no son suficientes para el proceso de la celda de manufactura ya que el acceso a determinadas funciones de control o programación del robot están bloqueadas.

Se necesita pasar al grupo de usuario “Programador experto”, en este nivel se puede programar con el teclado ASCII en el lenguaje de programación de robots KRL (KUKA Robot Language) y editar archivos del sistema o de inicialización (sistemas de bus). KRL es un lenguaje de programación superior, similar al idioma PASCAL y con ello también indicado para la programación de tareas complejas.

Para acceder al programador experto se sigue los siguientes pasos:

- ✓ En las Teclas de Menú del KCP, seleccionar **Configuración > Grupo de Usuario > Conectar** (Figura 3.10).

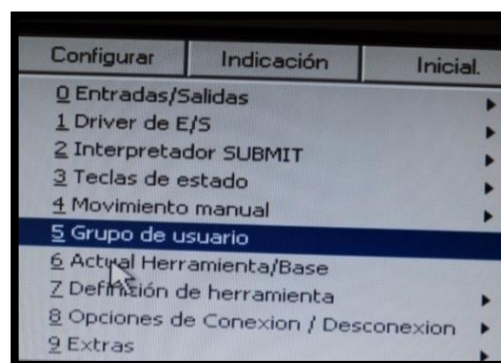


Figura 3.10: Selección del grupo de usuario.

- ✓ Seleccionar **Programador experto > Conectar** (Figura 3.11).

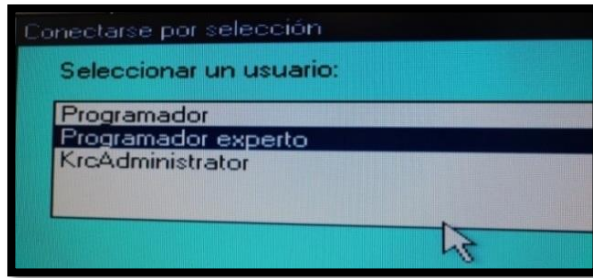


Figura 3.11: Programador Experto.

✓ Ingresar la clave, y presionar **Conectar** (Figura 3.12).

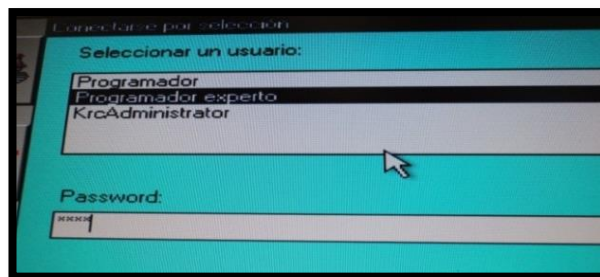


Figura 3.12: Ingreso de clave.

b. Archivo de aplicación.

Se crea un archivo en donde se realizará la programación de la secuencia de movimientos y funciones de control, que debe cumplir el brazo robótico. Los pasos que se siguen para crear el archivo se describen a continuación.

✓ En las Teclas de Función Programable del KCP, elegir **Nuevo** (Figura 3.13).



Figura 3.13: Selección de un nuevo archivo.

- ✓ En la ventana que aparece seleccionar el tipo de estructura del programa; se utiliza la estructura “Expert” para facilidad de programación de acuerdo a las necesidades del usuario. En la Tabla 3.1, se describe la función de cada estructura.

Tabla 3.1: Estructura de programación y funciones.

Estructura	✓ Significado
Modul	Se crea un fichero SRC y un fichero DAT, que contiene un programa base o tronco de programa.
Expert	Se crea un fichero SRC y un fichero DAT, que contiene solo el encabezamiento DEF... y END.
Cell	En este caso sólo se crea un fichero SRC que contiene un programa base o tronco de programa. Este programa sirve para el mando del robot a través de un PLC central.
Function	En este caso se crea una función (fichero SRC) que contiene el encabezamiento DEF... y END.
Submit	Se crea un fichero SUB con una base o tronco de programa. El fichero Submit contiene instrucciones y puede ser utilizado por ejemplo, para controles cíclicos (garras, etc.). El fichero Submit trabaja en forma paralela al servicio del robot y es ejecutado por el interpretador de la unidad de control.
Expert Submit	Como en el caso del Template Submit, se crea un fichero SUB que, sin embargo, sólo contiene el encabezamiento DEF... y END.

- ✓ Ingresar un nombre para el archivo, en este caso “**principal_tesis**”, presionar **OK** (Figura 3.14).

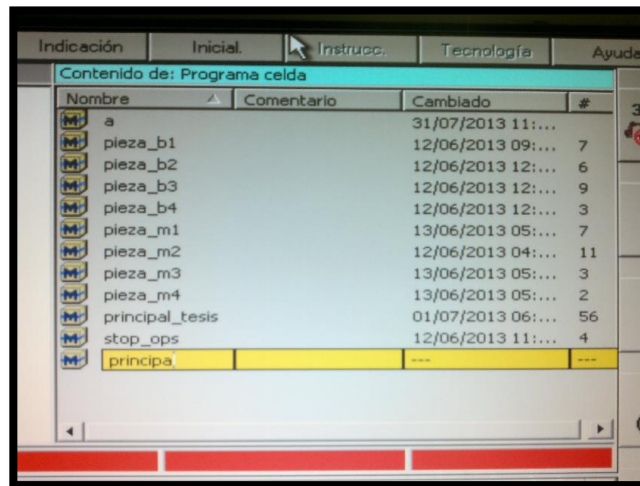


Figura 3.14: Nombre del archivo.

- ✓ Se selecciona la opción **Abrir** (Figura 3.15), y el archivo está listo para crear las líneas de programación.

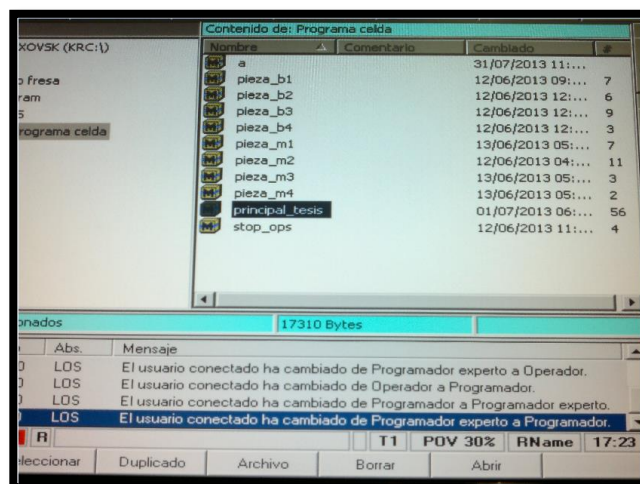


Figura 3.15: Archivo.

Configuración de la Posición HOME del Robot Industrial.

- ✓ Lo primero que se debe hacer es determinar una posición específica para el robot con el fin de que se acople al diseño de la celda. Esta posición se determina como una posición HOME.

- ✓ Una vez que se ingresa al archivo nuevo, se abre la ventana de programación (Figura 3.16).

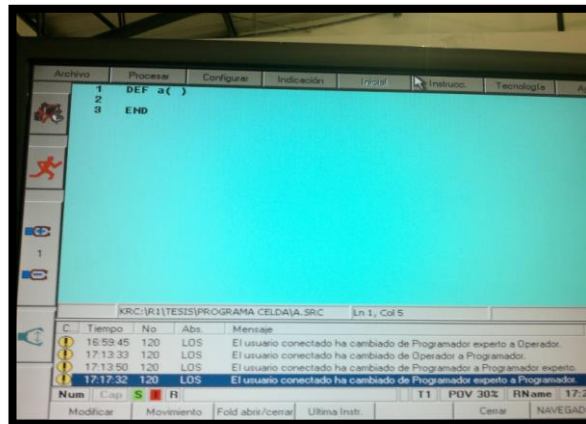


Figura 3.16: Ventana de programación.

- ✓ Digitar las siguientes instrucciones (Figura 3.17).

```
DEF nombre del archivo nuevo ( )  
BAS (# INITMOV,0)  
PTP $POS_ACT  
LOOP
```

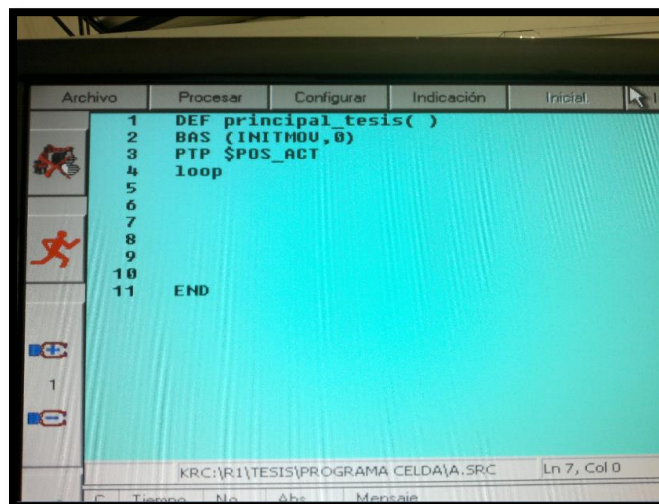


Figura 3.17: Archivo.

- ✓ Mover el robot a la posición que se desea guardar como la nueva Posición **HOME** (Figura 3.18), esto se lo hace a través de movimientos manuales de los ejes y con la ayuda del KCP.

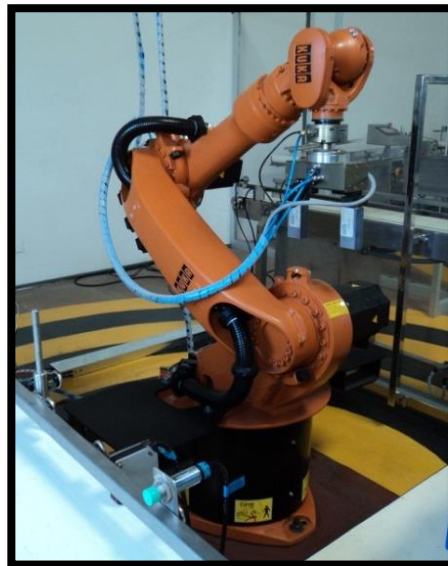


Figura 3.18: Posición HOME.

- ✓ Presionar **Movimiento** e **Instruc. OK** (Figura 3.19). Con esto se guarda el punto como la nueva posición HOME.

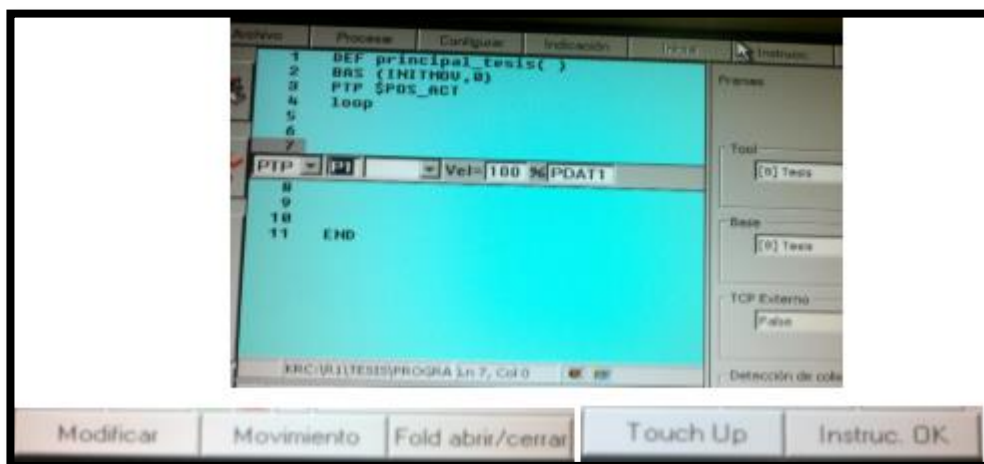


Figura 3.19: Punto para la nueva posición HOME.

c. Comandos de movimiento.

Una parte de las funciones del programa requiere la introducción de los tipos de movimiento que acepta el brazo robótico. Estos valores se introducen mediante una máscara de entrada “Formulario Inline” (Figura 3.16), o se seleccionan mediante campos de selección.

c.1 Programación del movimiento PTP (punto a punto).

Este tipo de movimiento se utiliza para que el robot desplace el TCP al punto de destino a lo largo de una trayectoria más rápida. Dado que los ejes del robot se mueven de forma rotacional, las trayectorias curvas pueden ser ejecutadas de forma más rápida que las rectas.

En la Figura 3.20 se indica el formulario Inline para movimientos PTP.



Figura 3.20: Formulario inline para movimientos PTP.

c.1.1 Pasos para programar un movimiento PTP.

- ✓ Desbloquear y confirmar la parada de emergencia.
- ✓ Asegurar que esté ajustado el Modo de Servicio en T1 o T2.
- ✓ Mover el TCP (herramienta) a la posición la cual se programará como punto de destino.
- ✓ Colocar el cursor en la línea **detrás** de la cual se insertará la instrucción de movimiento.
- ✓ Seleccionar la secuencia de menú **Instrucción > Movimiento > PTP**.
- ✓ Declarar los parámetros en el **formulario Inline**; en la Tabla 3.2, se visualiza cada uno de los campos con su función.

- ✓ Guardar la instrucción con el softkey **Instrucción OK**.
- ✓ Guardar los cambios.

Tabla 3.2: Denominación de campo y funciones (PTP).

Denominación del campo	Función	Rango de valores
PTP	Tipo de movimiento.	PTP, LIN, CIRC.
P1	Denominación del punto.	Máximo 23 caracteres.
<i>Tool</i>	Herramienta nro.	Nullframe, Tool_Data[1]...[16].
<i>Base</i>	Base nro.	Nullframe, Base_Data[1]...[16], EX_AX_Data[1]...[6].
<i>TCP externo</i>	El robot conduce la herramienta/la base.	True, False.
CONT	Posicionamiento aproximado activo.	“ “, Cont.
Vel=100%	Velocidad.	1 al 100% del valor máximo (predefinición 100%).
PDAT1	Parámetros movimiento.	
<i>Aceleración</i>	Aceleración.	0...100%
<i>Distancia de aproximación *1</i>	Comienzo o fin de la zona de aproximación.	0...100%
*1 Solamente puede seleccionarse cuando se ha conectado “CONT”.		

c.2 Programación de movimientos LIN (lineal).

En el movimiento LIN, el robot conduce el TCP a la velocidad definida hasta el punto de destino, a lo largo de una recta. La Figura 3.21 muestra el formulario Inline para movimientos LIN.



Figura 3.21: Formulario Inline para movimientos LIN.

c.2.2 Pasos para programar un movimiento LIN.

- ✓ Desbloquear y confirmar la parada de emergencia.
- ✓ Asegurar que esté ajustado el modo de servicio T1 o T2.
- ✓ Mover el TCP (herramienta) a la posición la cual se programará como punto de destino.
- ✓ Colocar el cursor en la línea **detrás** de la cual se insertará la instrucción de movimiento.
- ✓ Seleccionar la secuencia de menú **Instruccion > Movimiento > LIN**.
- ✓ Declarar los parámetros en el formulario **Inline**; en la Tabla 3.3, se visualiza cada uno de los campos con su función.
- ✓ Guardar la instrucción con el softkey **Instruccion OK**.
- ✓ Guardar los cambios.

Tabla 3.3: Denominación de campo y funciones (LIN).

Denominación del campo	Función	Rango de valores
LIN	Tipo de movimiento.	PTP, LIN, CIRC.
P1	Denominación del punto.	Máximo 23 caracteres.
<i>Tool</i>	Herramienta nro.	Nullframe, Tool_Data[1]...[16].
<i>Base</i>	Base nro.	Nullframe, Base_Data[1]...[16].
<i>TCP externo</i>	El robot conduce la herramienta/la base.	True, False.
CONT	Posicionamiento aproximado activo.	“ “, Cont.

Vel=2m/s	Velocidad.	0,001...2m/s (predefinición 2m/s)
CPDAT1	Parámetros movimiento.	
<i>Aceleración</i>	Aceleración.	0...100%
<i>Distancia de aproximación *1</i>	Comienzo o fin de la zona de aproximación.	0...300mm
<i>Control de la orientación</i>	El tipo de control de la orientación.	Estandar, PTP manual, orientación constante.
*1 Solamente puede seleccionarse cuando se ha conectado "CONT".		

d. Sentencias de control.

En la programación de modo experto se ha colocado algunas instrucciones que cumplen con una función específica, las cuales se describen a continuación:

- ✓ **\$CONFIG.DAT.-** Es una lista de datos generales de configuración que ha sido predefinida por KUKA. El archivo se encuentra en el directorio KRC > R1 > System; en ella se puede definir variables, estructuras, canales y señales que mantienen su validez durante mucho tiempo y son de gran importancia para los programas.
- ✓ **SIGNAL.-** En el KRC se puede asignar nombres a cada una de las entradas/salidas, para ello sirve la declaración de la señal. Esta deberá estar ubicada en el \$CONFIG.DAT, ejemplo:

SIGNAL sensor_choque \$IN[6]

- ✓ **DEF.-** Es una declaración e indica el nombre del archivo del programa.

- ✓ **BAS (#INITMOV,0).**- Inicializa velocidades, aceleraciones y movimientos del programa.
- ✓ **PTP \$POS_ACT.**- Lee la posición actual y real del robot.
- ✓ **LOOP/ENDLOOP.**- Se puede programar bucles sinfín, la ejecución repetida del bloque de instrucción sólo se puede finalizar mediante la instrucción EXIT; ejemplo:

```

DEF ejemplo ()
PTP HOME
LOOP
PTP Pos_1
IF $IN[1] == true then
EXIT
ENDIF
PTP Pos_2
ENDLOOP

```

- ✓ **WAIT FOR \$IN [].**- Detiene el proceso del programa hasta que se produzca el evento especificado con Condición; ésta condición puede aplicarse a las variables: \$IN[], \$OUT[], \$CYCFLAG[], \$TIMER[], \$TIMER_FLAG[], \$FLAG[] e I[].
- ✓ **WAIT SEC 1.**- Sirve para programar los tiempos de espera en segundos.
- ✓ **\$OUT [].**- Es la variable para activar las salidas digitales.
- ✓ **INTERRUPT.**- Esto se realiza con las declaraciones de interrupción, teniendo en cuenta que a cada interrupción se le asigna una prioridad,

un evento y la rutina de interrupción que ha de activar. La sintaxis completa es:

INTERRUPT DECL Prioridad **WHEN** Evento **DO** Subprograma

La Tabla 3.4, indica el tipo de dato de las interrupciones.

Tabla 3.4: Datos para las interrupciones.

Argumento	Tipo de datos	Significado
Prioridad	INT	Expresión aritmética que indica la prioridad de la interrupción. Están disponibles los niveles de prioridad del 1...39 y 81...128. Los valores 40...80 están reservados para una asignación automática de prioridades por parte del sistema. La interrupción del nivel 1 tiene la máxima prioridad.
Evento	BOOL	Expresión lógica que define el evento de interrupción. Se permite: Una constante booleana. Una variable booleana. Un nombre de señal. Una comparación
Subprograma		Nombre del programa de interrupción que se ha de ejecutar cuando se produzca un evento.

✓ **IF/ELSE/ENDIF.-** Permite la formulación de instrucciones condicionadas, ofreciendo dos alternativas para la selección. En la forma más común la instrucción es la siguiente:

IF Condición de ejecución **THEN**

Instrucciones

ELSE

Instrucciones

ENDIF

La condición de ejecución es una expresión booleana. Si la condición de ejecución ha sido cumplida, se ejecutará el bloque THEN. En el otro caso, puede ejecutarse el bloque ELSE o se prescinde del mismo.

- ✓ **BRAKE.-** Si se desea que se detengan movimientos en ejecución del robot cuando se produzca una interrupción, entonces sirve la instrucción BRAKE en el programa de interrupción.

Si se programa BRAKE sin parámetros, esto produce un frenado del movimiento con los valores de aceleración de ejes y de trayectoria programados. El comportamiento es el mismo que el que se produce cuando se acciona la tecla STOP; en esta actuación, no se abandona la trayectoria de movimiento programada.

Importante.- La instrucción BRAKE sólo puede estar en un programa de interrupción. En otros programas producirá una parada con fallo.

- ✓ **HALT.-** La instrucción HALT produce un detenimiento en los movimientos del robot con aceleración controlada.

e. Estructura de las líneas de programación.

Para la programación del robot hay que declarar todas las variables hacer utilizadas en el \$CONFIG.DAT. A continuación se indican las variables declaradas y el diagrama de flujo del programa.

e.1 Variables declaradas en el archivo \$CONFIG.DAT.

```
DEFDAT $CONFIG  
BASISTECH GLOBALS  
AUTOEXT GLOBALS
```

GRIPPERTECH GLOBALS

SPOTTECH GLOBALS

USER GLOBALS

DECL INT prueba=0

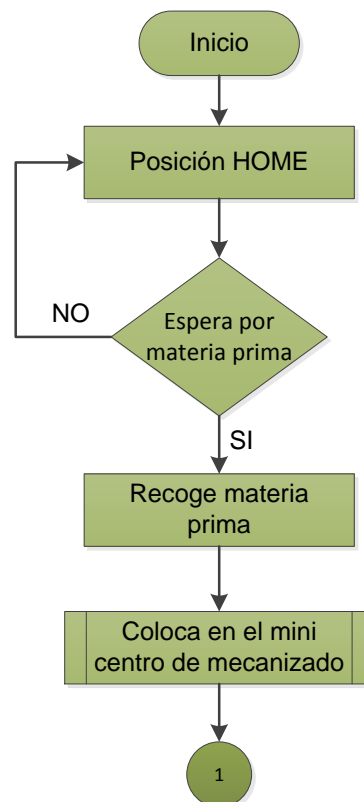
;SIGNAL entrada \$in[11]

SIGNAL sensor_choque \$in[6], **(Variable declarada)**

ENDDAT

e.2 Algoritmo de programación.

En la Figura 3.22 se indica el diagrama de flujo que se realizó para el algoritmo de programación del brazo robótico.



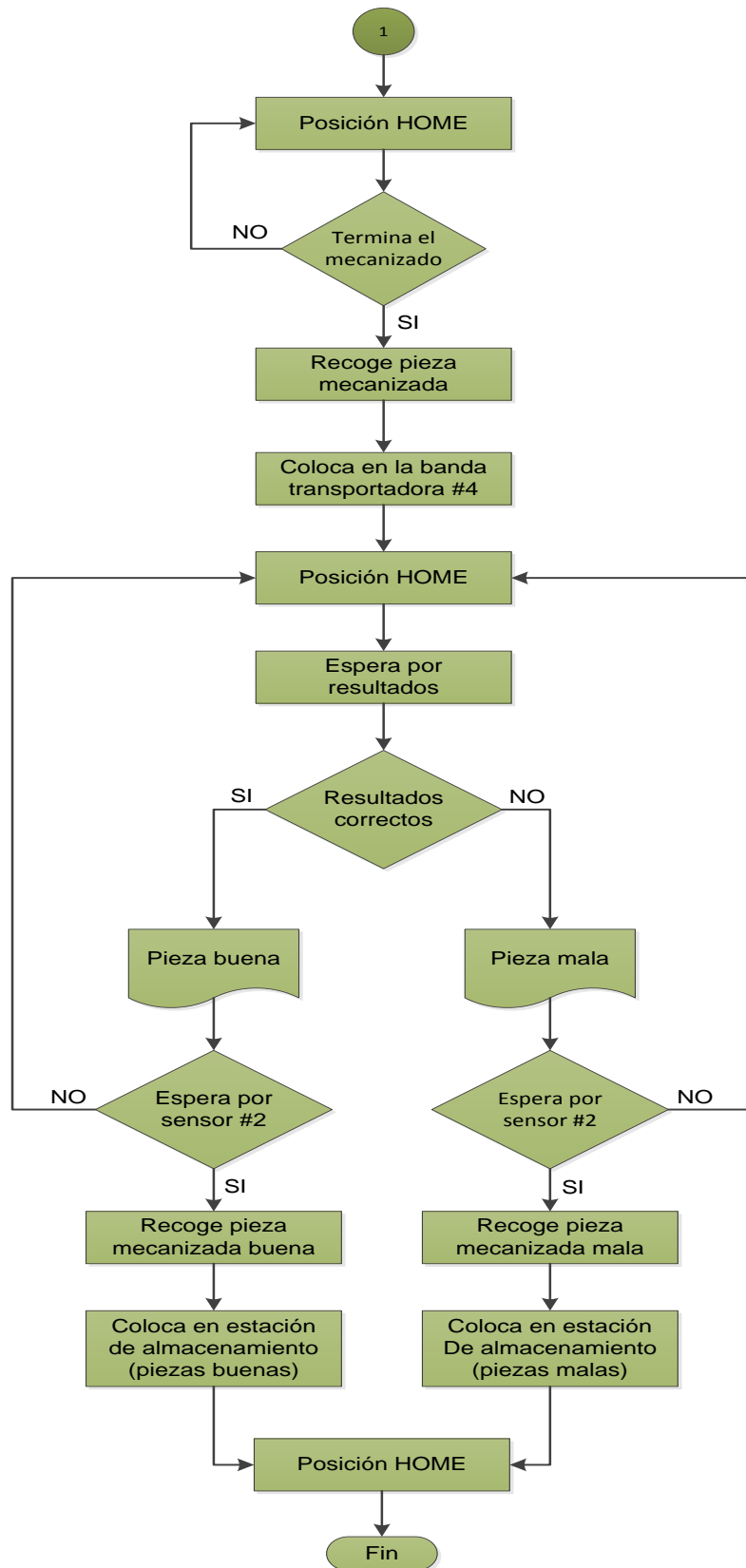


Figura 3.22: Diagrama de flujo del brazo robótico.

En el Anexo P, se presenta las líneas de programación que se realizaron para los movimientos del brazo robótico.

3.2.3 CONFIGURACIÓN DEL PLC XC3-48RT-E.

La banda transportadora plana está controlada por un PLC de la serie XC3-48RT-E, mediante el cual se va a comunicar con el módulo WAGO del robot KUKA KR 16, a través de entradas/salidas digitales activadas mediante relés, para el control de las distintas secuencias de movimiento.

a. Función de los componentes.

A continuación se describen las funciones de los componentes del PLC y las variables que van a ser utilizadas en la programación de la celda de manufactura (Xinje, 2011).

a.1 Relés de entrada (X).

Son las señales de entradas ON/OFF externas y se identifican con la letra **X**, que pueden provenir de un sensor, de un relé o algún dispositivo que active a estas entradas. Existe 28 entradas, que van de la X0 – X33 y están distribuidas de la siguiente manera (Tabla 3.5):

Tabla 3.5: Distribución (X).

Serie	Nombre	RANGO			
		8 IN	16 IN	24 IN	28 IN
XC3	X	X0 – X7	X10 – X17	X20 – X27	X30 – X33

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

En la Figura 3.23, se indica cómo conectar las entradas al PLC.

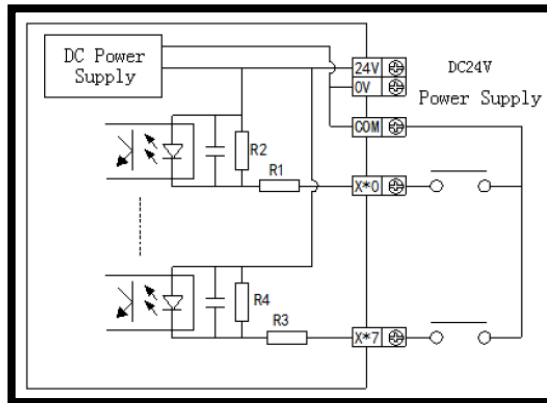


Figura 3.23: Conexión de entradas al PLC.

a.2 Relés de salida (Y).

Son las señales de salidas y se identifican con la letra **Y**, que pueden activar a un relé de 24V DC para enviar un pulso a cualquier dispositivo. Existe 20 salidas, que van de la Y0 – Y23 y están distribuidas de la siguiente manera (Tabla 3.6):

Tabla 3.6: Distribución (Y).

Serie	Nombre	RANGO		
		8 OUT	16 OUT	20 OUT
XC3	Y	Y0 – Y7	Y10 – Y17	Y20 – Y23

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

En la Figura 3.24, se indica como conectar las salidas del PLC.

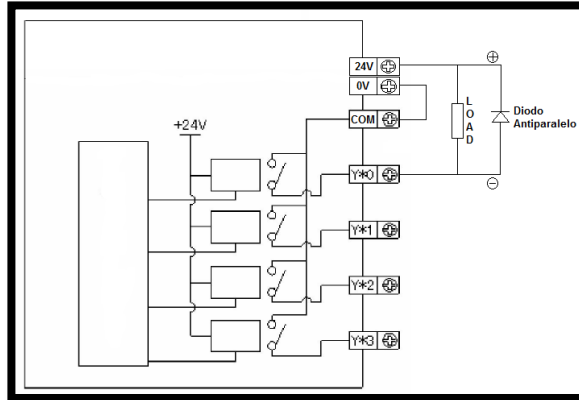


Figura 3.24: Conexión de salidas del PLC.

a.3 Relés auxiliares o internos (M).

Conocidas como memorias internas del PLC, se identifican con la letra **M** y sirven para activar alguna entrada o salida mediante software. En la Tabla 3.7, se observa los relés auxiliares que soporta el PLC.

Tabla 3.7: Tipos de relés auxiliares.

Serie	Nombre	RANGO		
		Para uso común	Para power-off Uso retentivo	Para uso especial
XC3	M	M000 – M2999	M3000 – M7999	M8000 – M8767

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

a.4 Relés de estado o subrutinas (S).

Los relés de estado o subrutinas se programan mediante escalera (Ladder), se identifican con la letra **S** y se utilizan para llamar a activar o desactivar subprogramas. En la Tabla 3.8, se indica los valores que pueden tomar las subrutinas.

Tabla 3.8: Tipos de relés de estado o subrutinas.

Serie	Nombre	RANGO	
		Para uso común	Para power-off Uso retentivo
XC3	S	S000 – S511	S512 – S1023

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

a.5 Temporizadores (T).

Los temporizadores identificados con la letra **T**, son usados para calcular el tiempo de los pulsos como: 1ms, 10ms, 100ms, etc; cuando se cumple el valor programado la salida de los temporizadores se activa. En la tabla 3.9, se observa los tipos de temporizadores.

Tabla 3.9: Tipos de temporizadores.

Serie	Nombre	RANGO
		Para uso común
XC3	T	T000 – T99: 100ms no acumulativos
		T100 – T199: 100ms acumulativos
		T200 – T299: 10ms no acumulativos
		T300 – T399: 10ms acumulativos
		T400 – T499: 1ms no acumulativo
		T500 – T599: 1ms acumulativo
		T600 – T639: 1ms con tiempo preciso

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

a.6 Contadores (C).

Se identifican con la letra **C**, existe cinco tipos de contadores los cuales se detallan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Tipos de contadores.

Serie	Nombre	RANGO		
		Para uso común		
XC3	C	C000 – C299: 16 bits contador ascendente		
		C300 – C599: 32 bits contador ascendente/descendente		
		C600 – C619: una fase HSC (Contador de Alta Velocidad)		
		C620 – C629: doble fase HSC (Contador de Alta Velocidad)		
		C630 – C639: AB fase HSC (Contador de Alta Velocidad)		

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

a.7 Registro de datos (D).

Se identifican con la letra **D** y permiten guardar valores Dword, hay que tener muy en cuenta que cada dato (D0, D1, D2,) puede registrar hasta un valor Word, por ello cuando se utilice Dword hay que ocupar dos datos. En la Tabla 3.11, se indica los tipos de registros que soporta el PLC.

Tabla 3.11: Tipo de registro de datos.

Serie	Nombre	RANGO		
		Para uso común	Para power-off Uso retentivo	Para uso especial
XC3	D	D0000 – D3999	D4000 – D7999	D8000 – D9023

Fuente: Manual de usuario del XCP PRO.

a.8 Constantes (B), (K), (H).

En cada uno de los tipos de datos que soporta el PLC, se puede escribir constantes en donde: la letra **B** representa números **Binarios**, la letra **K**

representa números **Decimales** y la letra **H** representa números **Hexadecimales**.

b. Pulsos de salida.

Las bandas transportadoras son encendidas y activadas a través del PLC XC3-48RT-E, para ello se necesita de ciertas instrucciones para el desplazamiento de la banda las cuales se detallan a continuación:

b.1 Salida de pulsos variables (PLSF).

Mediante esta instrucción se puede controlar la velocidad del servo motor, al generar pulsos continuos a través de una frecuencia variable.

- **Instrucción para 16 Bits.-** En la Figura 3.25, se indica como activar la instrucción PLSF para un valor de 16 bits.

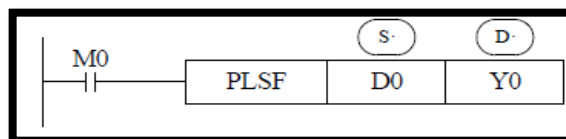


Figura 3.25: Instrucción PLSF.

- **Instrucción para 32 Bits.-** En la Figura 3.26, se indica como activar la instrucción DPLSF para un valor de 32 bits.

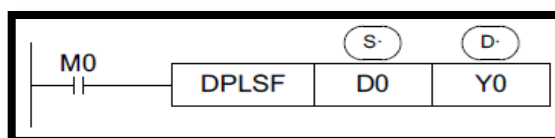


Figura 3.26: Instrucción DPLSF.

Esta instrucción está conformada por dos valores, los cuales son:

- ✓ **S (D0)** = Especifica el valor de la frecuencia (controla velocidad del servo motor); datos que soporta: D, FD, TD, CD, K y H.
- ✓ **D (Y0)** = Activa los pulsos del servo drive y pone en marcha el servo motor; dato que soporta: Y.

El valor máximo de la frecuencia que debe tomar el dato S es de 400KHz, ya que con esta frecuencia el servo motor va a girar a su velocidad máxima.

b.2 Control de pulsos en una posición relativa (PLSR).

Mediante esta instrucción se puede controlar velocidad, posición, aceleración/desaceleración del servo motor; a través de la variación de la frecuencia se manipula la velocidad y aceleración/desaceleración, mientras que la posición se la puede ejecutar por medio de la generación de pulsos.

- **Instrucción para 16 Bits.-** En la Figura 3.27, se indica como activar la instrucción PLSR para un valor de 16 bits.

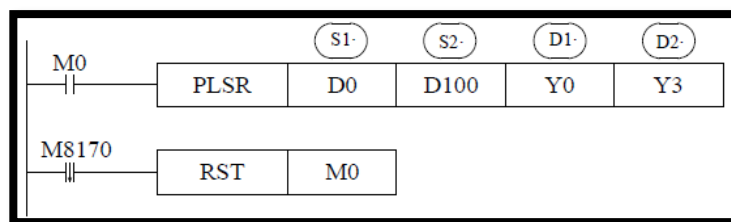


Figura 3.27: Instrucción PLSR.

- **Instrucción para 32 Bits.-** Para que la instrucción de 32 bits funcione, hay que colocar la letra D al inicio de esta, ejemplo: DPLSF.

Esta instrucción está conformada por cuatro valores, los cuales son:

- ✓ **S1 (D0)** = Especifica el valor de la frecuencia (controla velocidad); datos que soporta: D, FD, TD, CD, K y H.

- ✓ **S2 (D100)** = Especifica el número de pulsos (controla posición); datos que soporta: D, FD, TD, CD, K y H.
- ✓ **D1 (Y0)** = Permite controlar la aceleración/desaceleración a través de la frecuencia; datos que soporta: D, K y H.
- ✓ **D2 (Y3)** = Activa los pulsos del servo drive y pone en marcha el servo motor; dato que soporta: Y.

El valor máximo de la frecuencia que debe tomar el dato S1 es de 400KHz, ya que con esta frecuencia el servo motor va a girar a su velocidad máxima.

El valor máximo de los pulsos a generar es de 32 bits (2'147,483.647); en donde se necesita de 250,000 pulsos para producir 25 rpm en el servo motor, 1 rev/min en el reductor y un desplazamiento lineal de 190 mm en la banda transportadora; estos datos se justifican en la ecuación (Ec. 2.4).

El valor máximo para la aceleración/desaceleración es de 32,768.

3.2.4 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS T-BOX PARA LA RED ETHERNET.

El objetivo de realizar una red ethernet entre los PLC's de las bandas, es la de controlar, monitorear y obtener un registro de los diferentes parámetros que intervienen en el HMI de la celda de manufactura, a través de un módulo T-BOX maestro que actúa sobre un módulo T-BOX esclavo.

La Figura 3.28, indica el número de estación para cada PLC y cual módulo se asignará como maestro y esclavo.

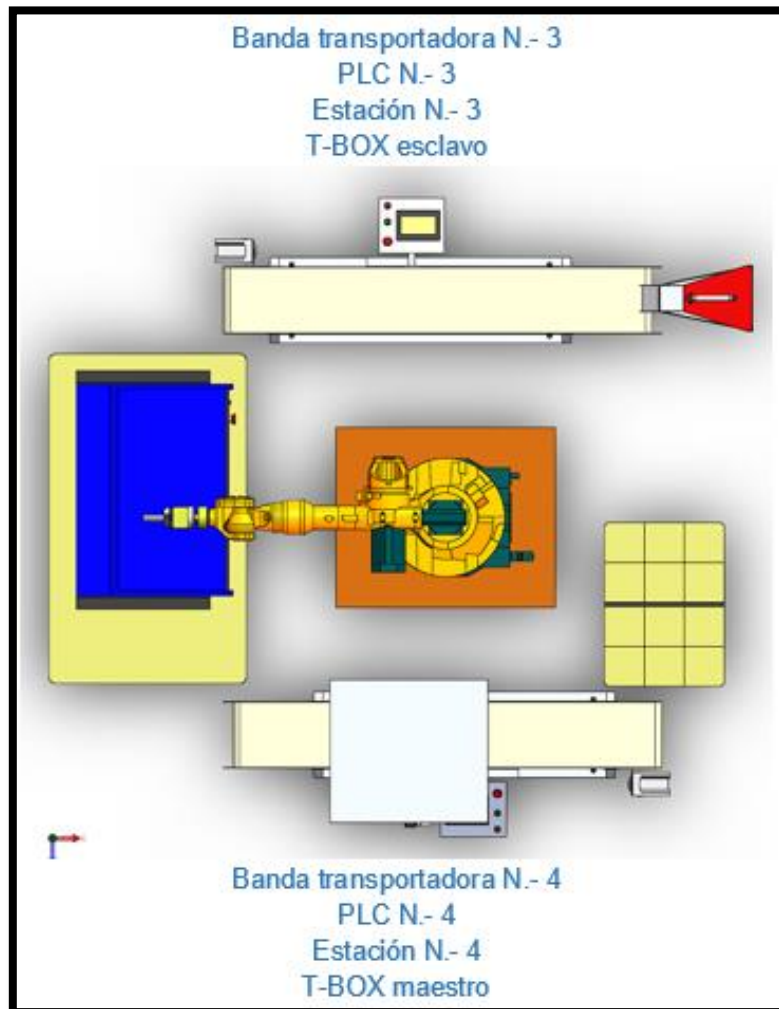


Figura 3.28: Número de estación y T_BOX maestro/esclavo.

Antes de configurar los PLC's y los módulos mediante software, hay que configurar físicamente el módulo T-BOX a través del dip switch, en la Tabla 3.12 se detalla las funciones.

Tabla 3.12: Funciones del dip switch.

<i>Interruptor</i>	<i>Estado</i>	<i>Función</i>
S1	ON	Modo ESCLAVO
	OFF	Modo MAESTRO
S2	ON	Cerrar el registro del servidor
	OFF	Abrir el registro del servidor

S3	ON	IP Variable por usuario
	OFF	IP Estática (Predefinida)
S4	ON	Indefinido
	OFF	Indefinido

Es preferible que en el módulo T-BOX maestro el estado de S1 esté en **OFF** y los demás interruptores en **ON**. Mientras que en el módulo T-BOX esclavo, el estado de todos los interruptores estén en **ON**.

a. Módulo T-BOX maestro.

Conectar físicamente los dispositivos como se indicó en la Figura 2.30, para la configuración del módulo y PLC, se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Se abre el software XC Series Program Tool V3.3 (Figura 3.29).



Figura 3.29: Software XC Series Program Tool.

- ✓ En la línea del menú principal, se elige **Configure > PLC Common > Port Settings** (Figura 3.30).

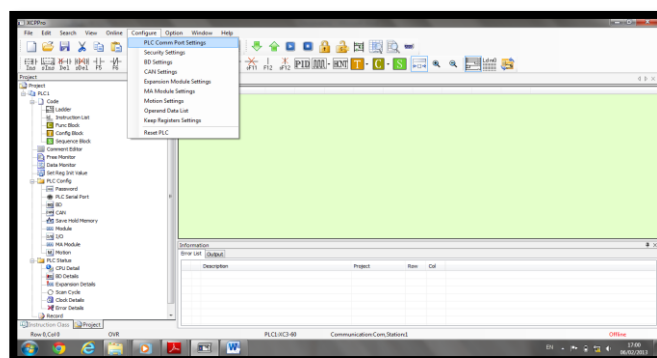


Figura 3.30: Configuración del puerto común del PLC.

- ✓ Se elige el **Serial Port 2**, que es utilizado para realizar la comunicación con el módulo T-BOX, para la red ethernet (Figura 3.31).

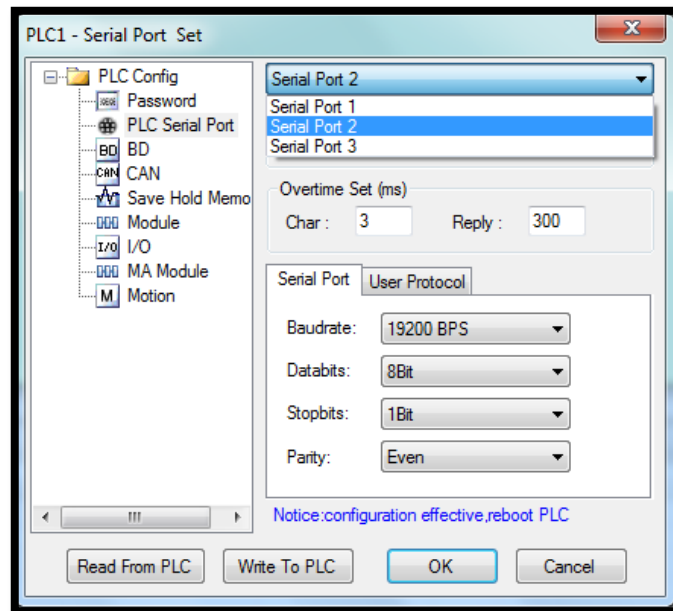


Figura 3.31: Selección del puerto de comunicación.

- ✓ En **Modbus Num**, se asigna el número de estación que identifica al PLC, en este caso se asignó Estación N.- 4 (Figura 3.32). Clic en **Write to PLC** > **OK**.

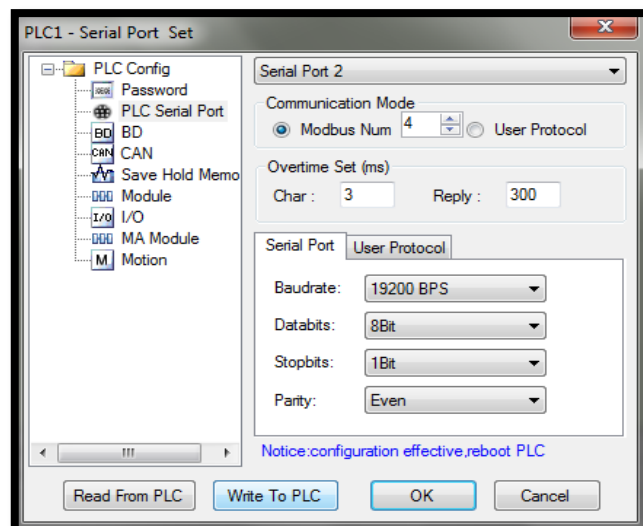


Figura 3.32: Asignación número de estación (maestro).

- ✓ En el menú principal se elige **Configure > BD Settings**. En la ventana que aparece se selecciona **BD Serial Port** (Figura 3.33), pulsar **OK**.

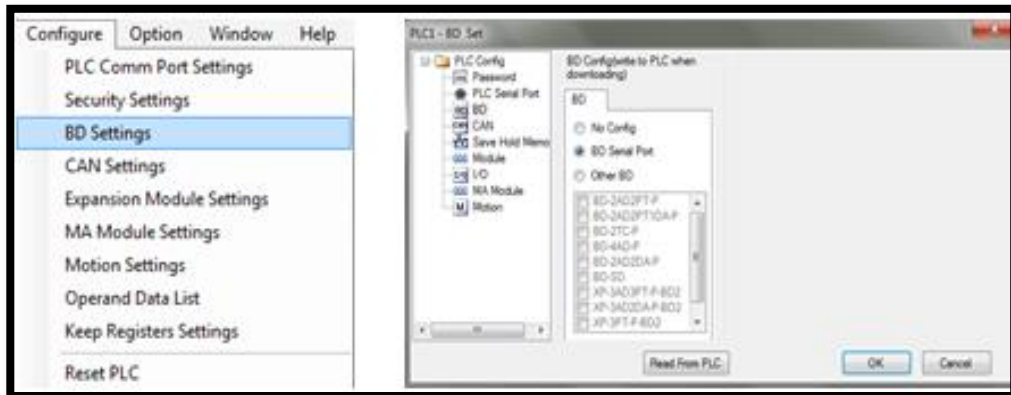


Figura 3.33: Asignación del puerto serial BD.

- ✓ En el menú principal se ingresa a **Option > Ethernet Module Settings**, y se abre la ventana (Figura 3.34).

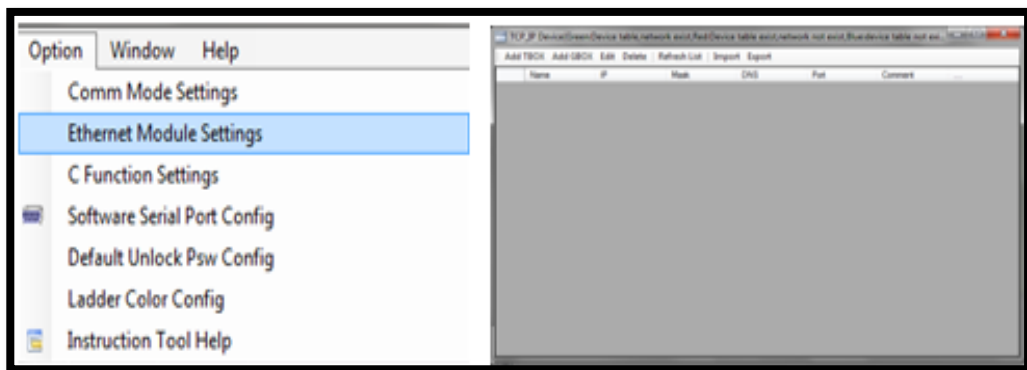


Figura 3.34: Verificación del módulo ethernet.

- ✓ Se elige **Refresh List**, para verificar la dirección IP del equipo y si el módulo T-BOX se encuentra conectado (Figura 3.35).

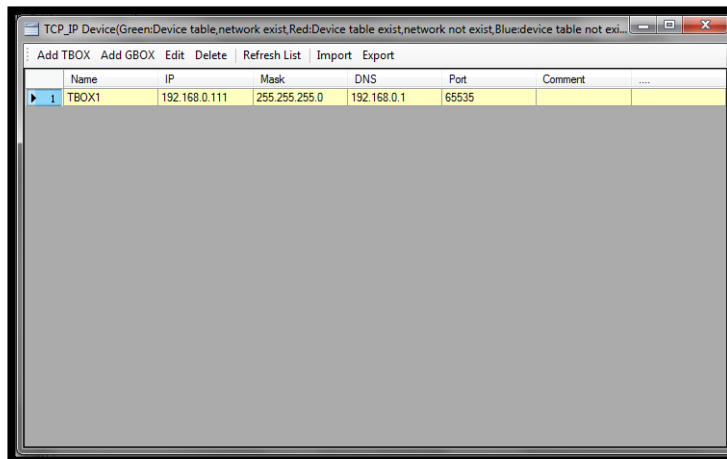


Figura 3.35: Comunicación del módulo T-BOX.

- ✓ Doble clic en la dirección que aparece; se abre la ventana y en la pestaña **Communication** en la opción **IP Address** se ingresa la dirección IP, en este caso es: **192.168.0.10** (Figura 3.36). Luego seleccionar **Write To TBOX** y en los mensajes que aparecen dar clic en **OK**.

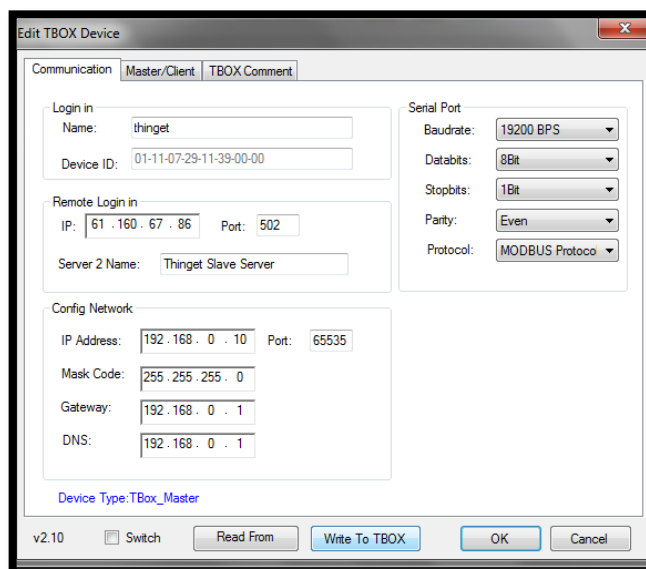


Figura 3.36: Cambio de IP del módulo T-BOX.

- ✓ En la ventana **Master Client**, en la opción **Station_IP Table** se ingresa el número de estación y la dirección IP correspondiente a cada PLC (Figura 3.37). Luego seleccionar **Write To TBOX > OK**.

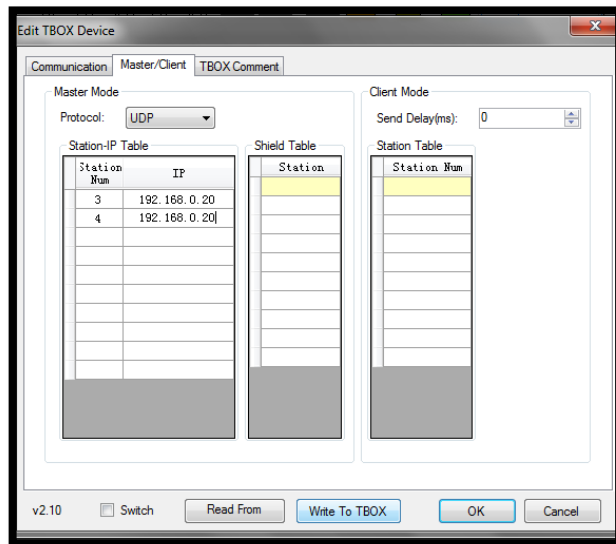


Figura 3.37: Ingreso de estaciones e IP.

b. Módulo T-BOX esclavo.

Para la configuración del módulo esclavo se sigue los siguientes pasos:

- ✓ Repetir los pasos 1-3 del módulo maestro.
- ✓ Se elige el **Serial Port 2** pero para la asignación del **Modbus Num** se cambia el número de estación, en este caso se asignó **Estación N.- 3** (Figura 3.38). Clic en **Write to PLC > OK**.

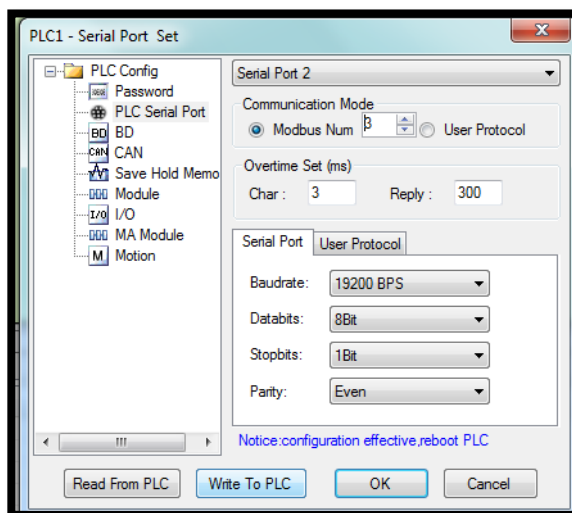


Figura 3.38: Asignación número de estación (esclavo).

- ✓ Repetir los pasos 5-8 de la configuración del módulo maestro. Considerando que la IP de este módulo es: **192.168.0.20**.
- ✓ En la ventana **Master Client**, en la opción **Station_IP Table**, verificar que no se encuentre ninguna estación ni dirección IP, ya que este módulo trabaja como esclavo (Figura 3.39).

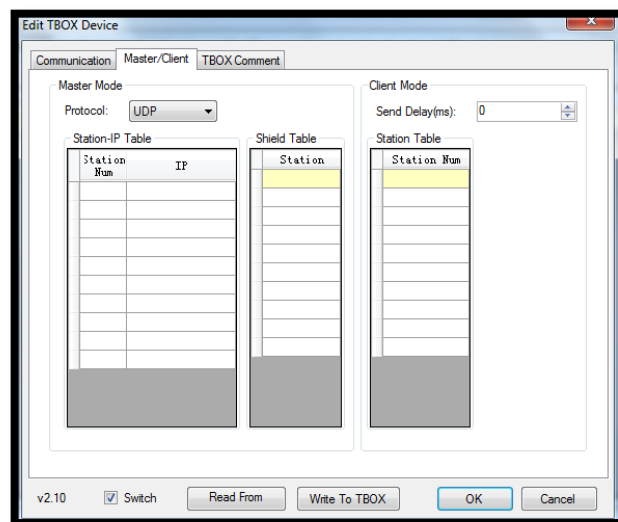


Figura 3.39: Verificación de IP.

Para comprobar que los PLC's están en red, verificar que las dos direcciones IP de los dos módulos T-BOX aparezcan en la lista, a través de **Option > Ethernet Module Settings**. Si las dos direcciones IP se visualizan en la pantalla, confirma que se obtuvo la red de los PLC's (Figura 3.40).

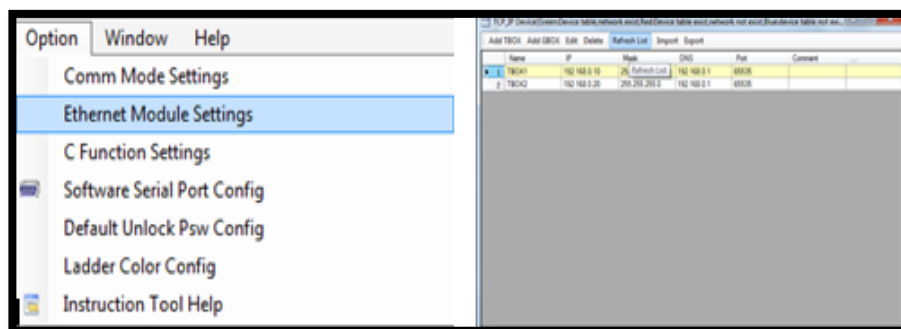


Figura 3.40: Comprobación de direcciones IP.

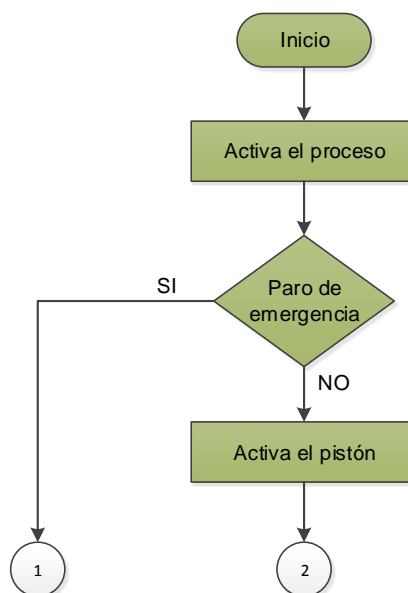
3.2.5 PROGRAMACIÓN DE LOS PLC'S.

Como ya se mencionó en el Capítulo II, el PLC XC3-48RT-E se encuentra implementado en cada una de las bandas transportadoras y deben ser programados de manera individual, pero conectados a través de las E/S para complementar el proceso de automatización de la celda de manufactura.

Nota importante: Antes de apagar los PLC's de forma física, se debe conectar el computador a través del puerto 1 y mandar al modo STOP para evitar que el PLC entre en un ciclo cerrado; evitando causar daños al equipo.

a. Algoritmo de programación para la banda transportadora N.- 3.

En la Figura 3.41 se indica el diagrama de flujo que se realizó para el algoritmo de programación de la banda N.-3. El inicio del proceso se realiza mediante la activación de una memoria interna, que activa al pulsador ON para que encienda el proceso.



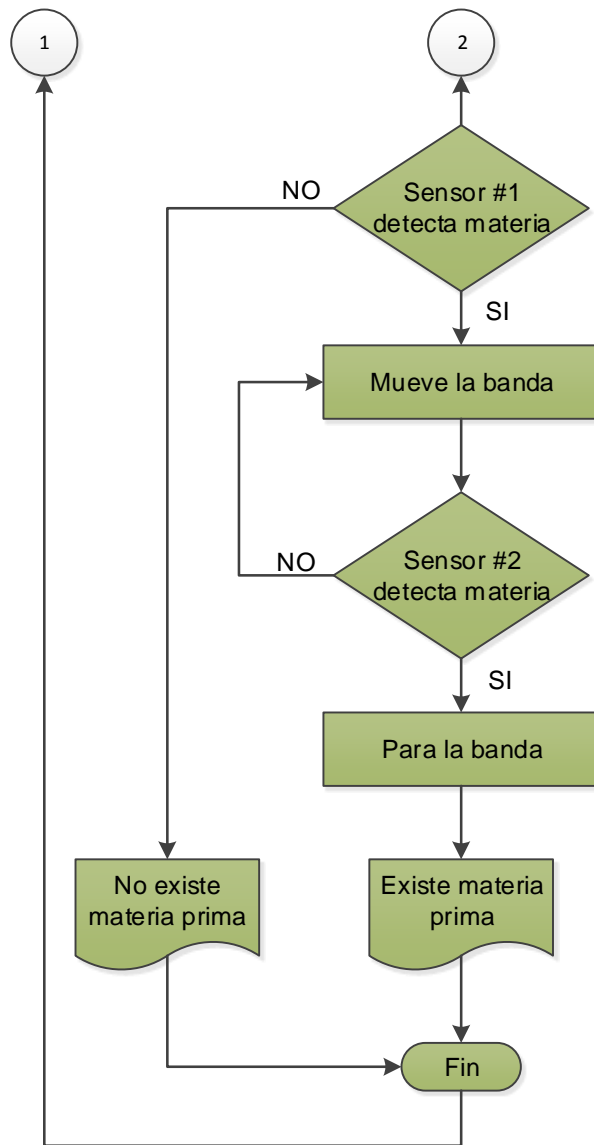


Figura 3.41: Diagrama de flujo de la banda N.- 3.

b. Algoritmo de programación para la banda transportadora N.- 4.

El diagrama de flujo que se diseñó para la programación de la banda N.- 4, se presenta en la Figura 3.42 y en el Anexo Q se encuentran los programas realizados para cada una de las bandas mediante el software XC Series Program Tool.

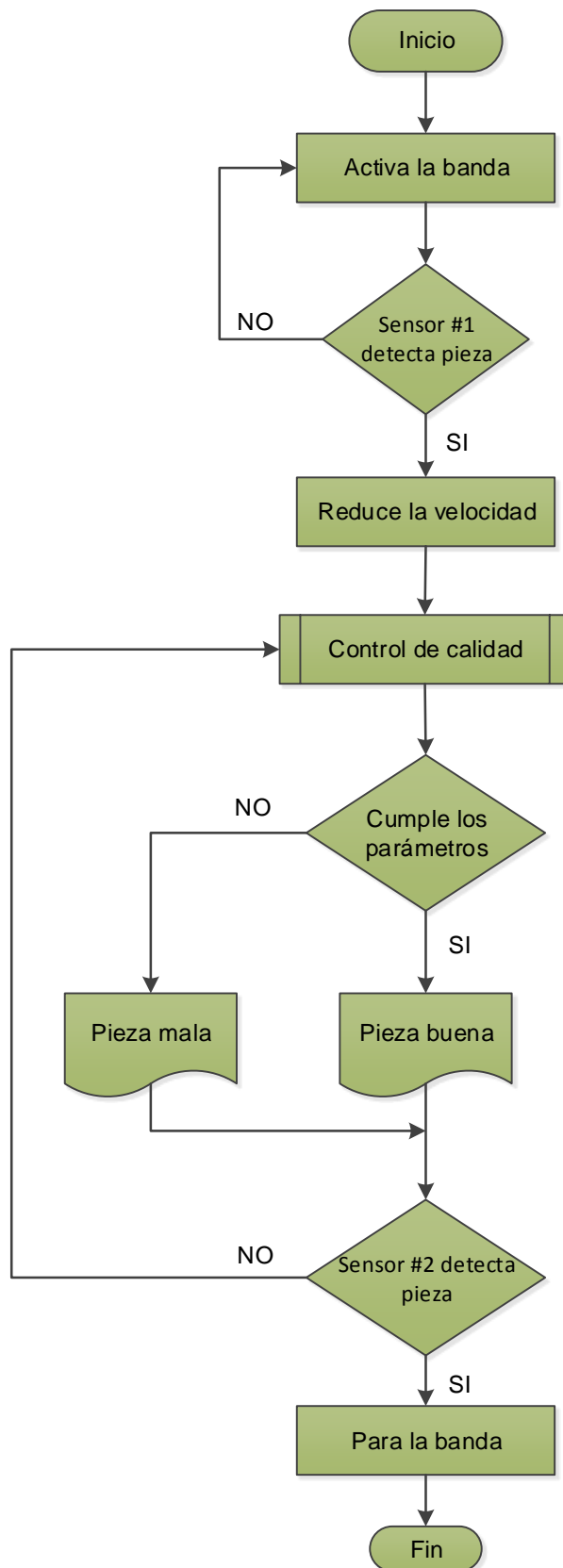


Figura 3.42: Diagrama de flujo de la banda N.-4.

La Figura 3.44, indica la simulación de mecanizado que va a realizar el mini centro de mecanizado, comprobando de esta manera que no exista colisión entre la herramienta y entre cada operación.

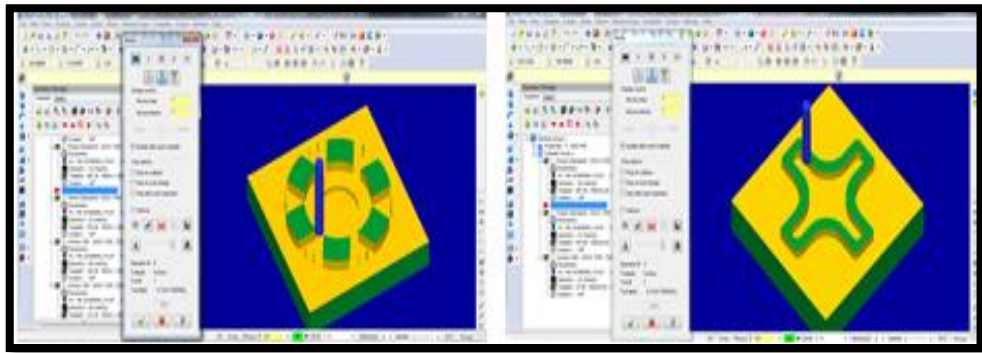


Figura 3.44: Software Mastercam X6.

- ✓ La generación del código G de las piezas mecanizadas, se realiza mediante un comando del software Mastercam X6. La generación del código es de forma sencilla y fácil y se lo obtiene una vez que se ha verificado que los parámetros de velocidades y herramientas sean las correctas. En la Figura 3.45, se muestra la ventana donde se localiza el comando para generar los códigos G.

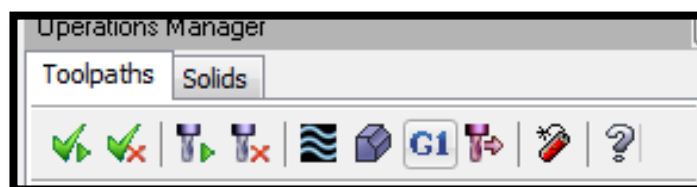


Figura 3.45: G1 comando para generar códigos G.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL HMI EN LA CELDA DE MANUFACTURA.

Se implementó un HMI a través de una touch panel, con el objetivo de facilitar el control de encendido/apagado del proceso, controlar la velocidad de las bandas transportadoras, monitorear el proceso en cada una de las

estaciones de la celda de manufactura y obtener un registro numérico de datos.

3.3.1 COMANDOS PRINCIPALES DEL SOFTWARE.

Se utilizó el software TouchWin Edit Tool (Figura 3.46) para programar la touch panel para el HMI del proceso.


















Figura 3.46: Software TouchWin Edit Tool.

En la Tabla 3.13, se describe las funciones de los comandos utilizados en la programación del HMI.

Tabla 3.13: Barra de herramientas.

Gráfico	Nombre	Función
	Texto	Entrada de texto estático.
	Texto Dinámico.	Muestra el texto de acuerdo con el valor del registro, apoya 16 textos, establece el valor del registro como 0 ~ 15.
	Texto Variacional.	Muestra el texto de acuerdo con el valor del registro, establece el valor del registro como el usuario necesite.
	Lámpara.	Muestra el estado ON / OFF del interruptor
	Botón.	ON / OFF del elemento de bit.

	Lámpara botón.	Combina la función de la lámpara y el botón.
	Salto de Pantalla.	Ir a la pantalla de objeto.
	Entrada Digital.	Introducir los datos en el registro.
	Entrada de texto.	Caracteres de entrada en el registro.
	Teclado Digital.	Teclado de entrada digital
	Llama a una ventana.	Llama a una ventana de acuerdo con el valor en la bobina o registro.
	Botón de ventana.	Controlar el cierre abierto, de la ventana
	Línea.	Dibuja líneas.
	Arco.	Dibuja arcos.
	Rectángulo.	Dibuja rectángulos.
	Mapa.	Añadir imágenes JPG o BMP.
	Borrar.	Borrar la imagen actual.
	Descargar.	Descargue el proyecto en el TH.
	Cargar	Cargar el proyecto de TH para PC.
	Depurar descarga	Depurar descarga.

3.3.2 PROGRAMACIÓN DEL HMI.

Los pasos que se siguieron para crear el HMI que permitirá controlar y visualizar el proceso de la celda de manufactura se describe a continuación:

- ✓ Abrir el software TouchWin y elegir el modelo de la touch panel, tipo de PLC y equipo (Figura 3.47).



Figura 3.47: Selección del touch y PLC.

- ✓ Ingresar el nombre con el que se guardara el archivo. Es opcional ingresar el nombre de los autores y una descripción para el proyecto (Figura 3.48).

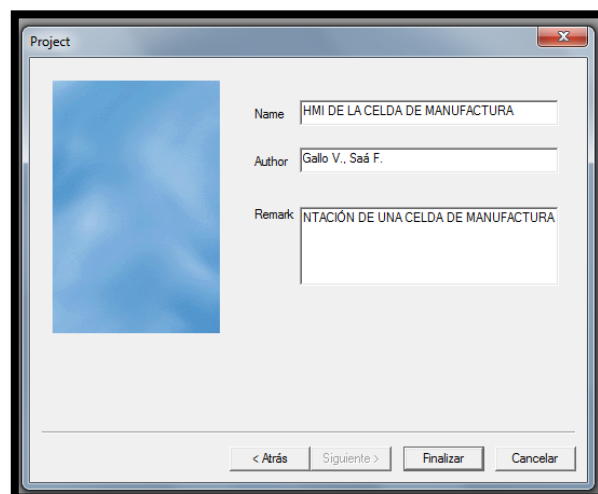


Figura 3.48: Datos del archivo.

- ✓ Crear las ventanas de **Introducción, HMI y Registro** (Figura 3.49).

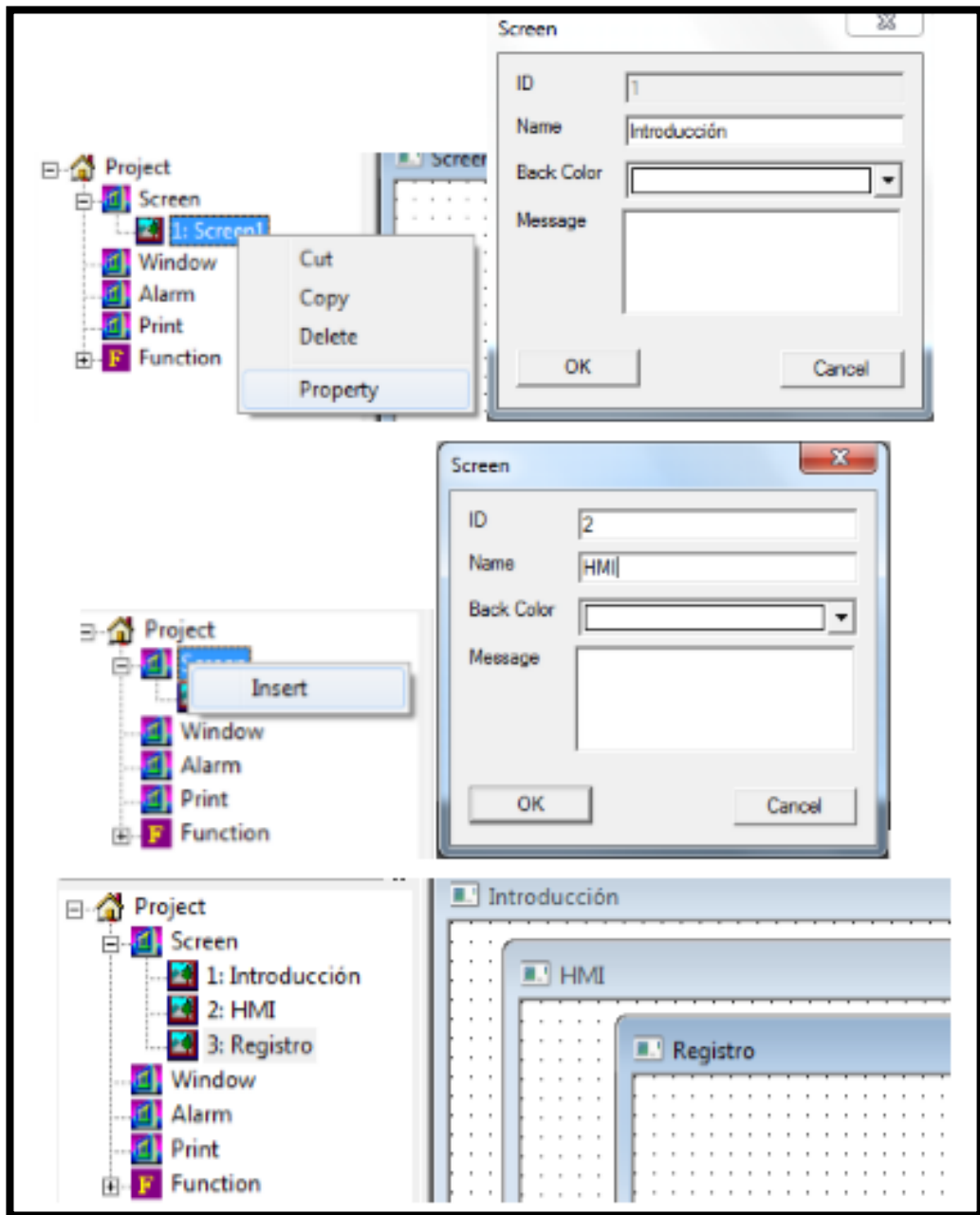


Figura 3.49: Ventanas principales.

- ✓ En la ventana de Introducción, insertar los gráficos deseados por medio del comando **Map** del software (Figura 3.50).

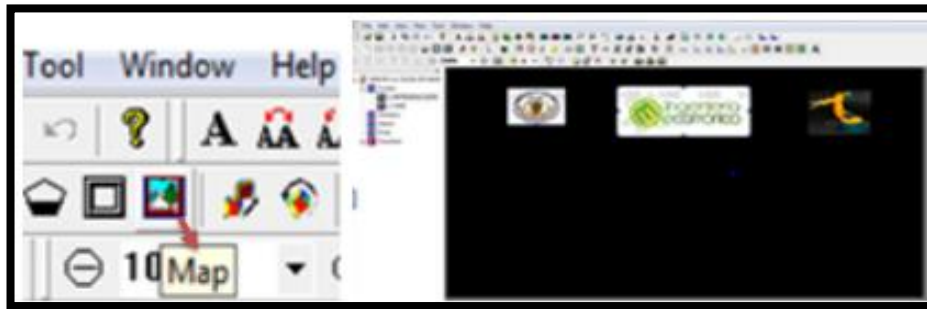


Figura 3.50: Comando Map para gráficos.

- ✓ Insertar el tema del proyecto y el nombre de los autores, a través del comando **Text** (Figura 3.51).



Figura 3.51: Comando Text para textos.

- ✓ Insertar un salto de página para el HMI, para seguridad se colocó una clave de 4 dígitos por medio de un **Screen Jump** (Figura 3.52).



Figura 3.52: Comando Screen Jump.

- ✓ En la ventana del HMI, se ingresó dos pulsadores para el encendido y apagado del proceso, a través del comando **Lamp Button** (Figura 3.53).

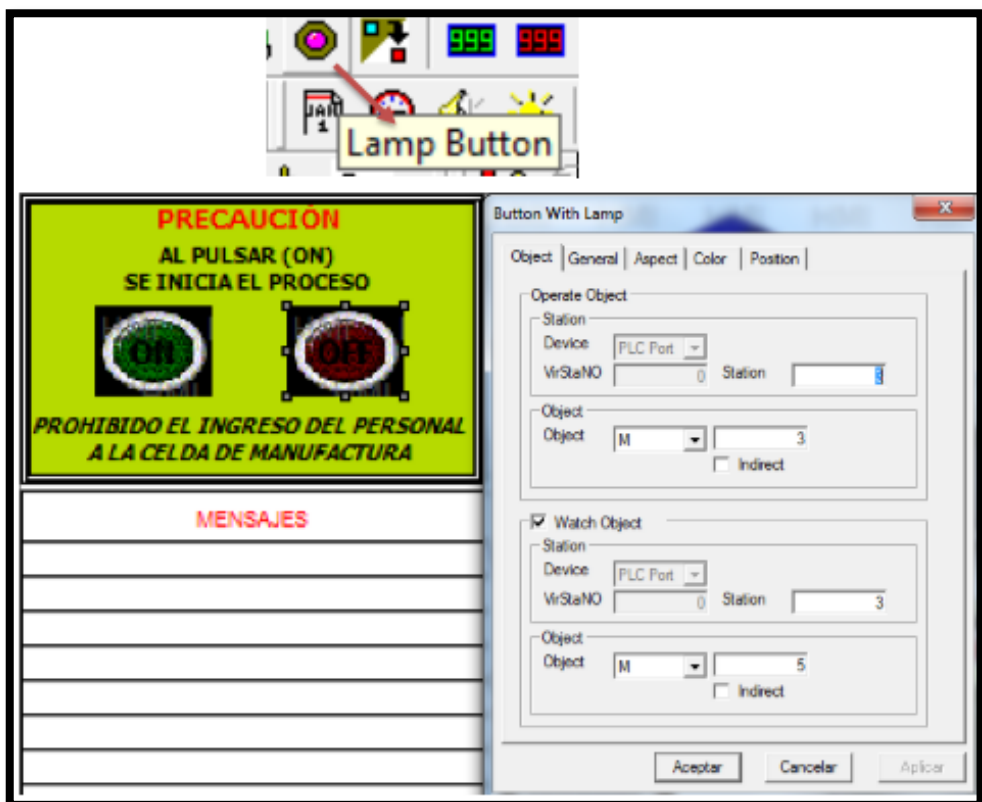


Figura 3.53: Comando Lamp Button.

- ✓ Para el monitoreo del proceso, se implementó luces indicadoras en cada una de las estaciones de la celda por medio del comando **Lamp** (Figura 3.54). Se debe considerar el número de estación y el objeto al que va a ser referencia la luz de indicación.

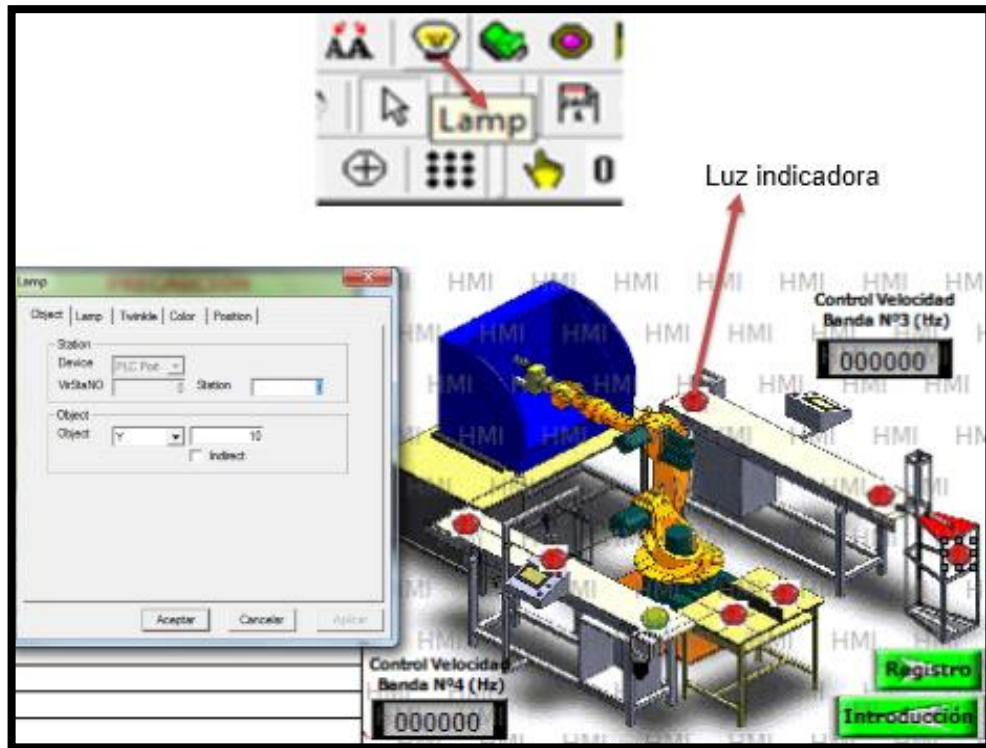


Figura 3.54: Comando Lamp.

- ✓ Otro aspecto que se determinó para el monitoreo, fue un cuadro de información que indicara por mensajes el avance del proceso o si existe algún problema en el mismo, esto se realizó a través del comando **Real Time Event** (Figura 3.55).

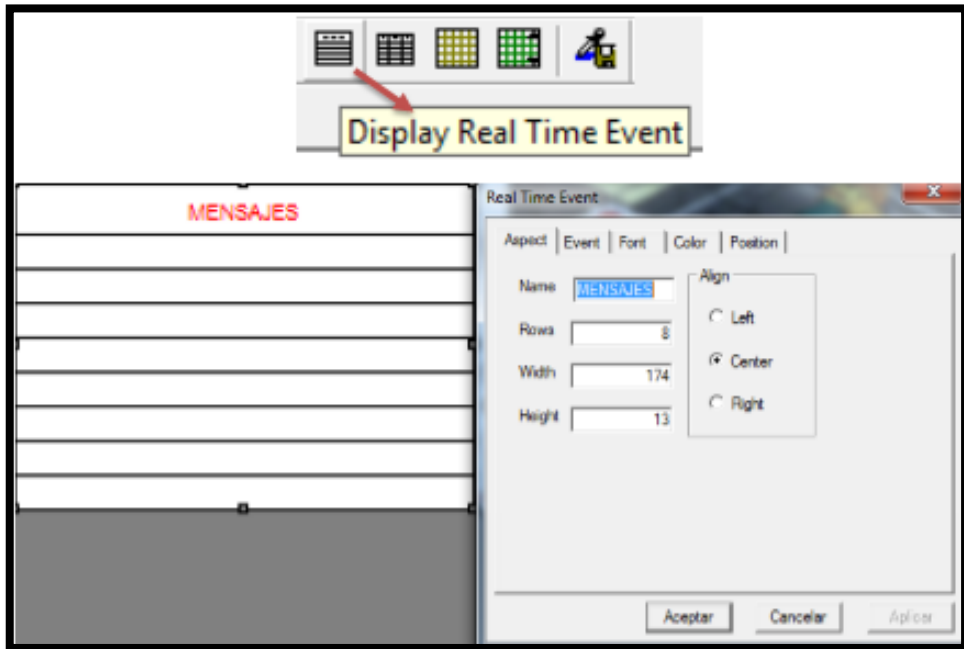


Figura 3.55: Comando Real Time Event.

- ✓ Para el control del HMI, se implementó dos entradas digitales desde donde se controlara la velocidad de las bandas, esto se realiza a través del comando **Digital Input** (Figura 3.56).

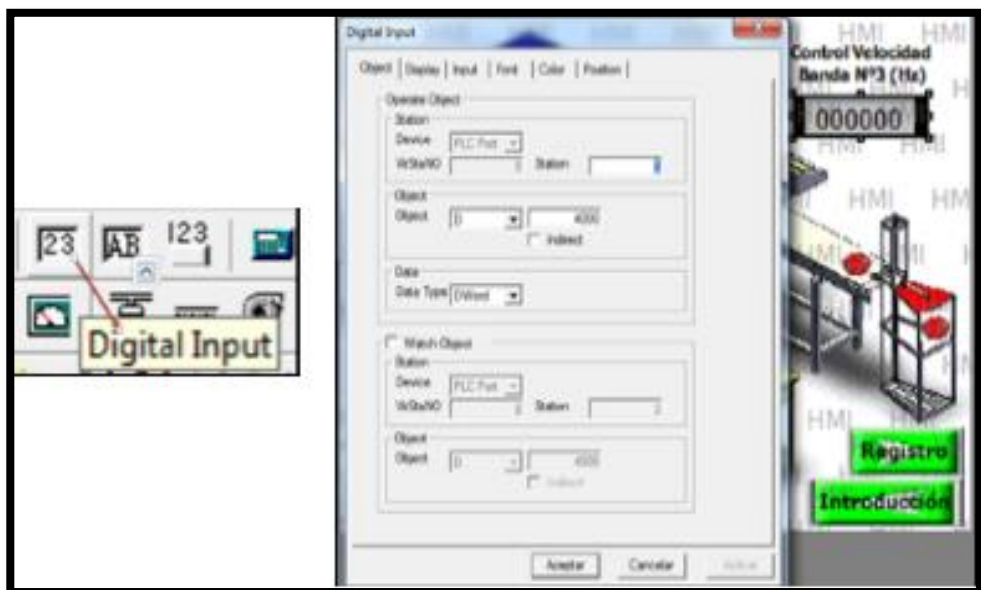


Figura 3.56: Comando Digital Input para el control de velocidad.

- ✓ En la ventana de registro, se colocó 4 contadores que determinaran la cantidad de pedazos de materia prima, piezas mecanizadas, piezas buenas y piezas malas, esto se realizó por medio del comando **Digital Display** (Figura 3.57).



Figura 3.57: Comando Digital Display para contadores.

- ✓ Por último, se descarga el programa a la touch panel (Figura 3.58), a través del cable serial y el cable de comunicación de la touch. El HMI está listo para ser utilizado.

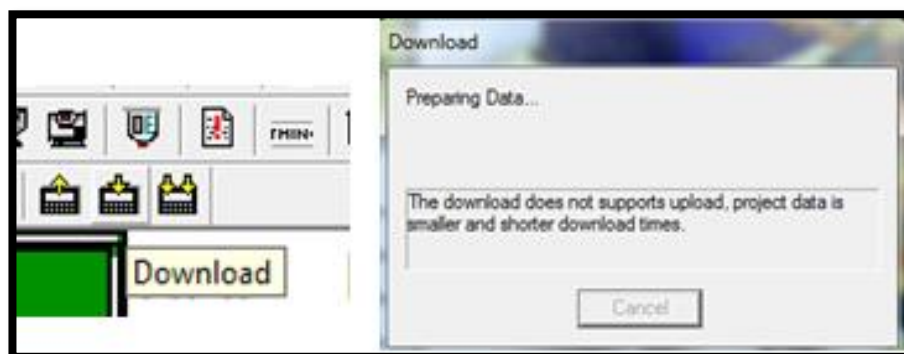


Figura 3.58: Programa descargado.

3.4 PROCESAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO.

Para realizar el control de calidad del producto, se debe desarrollar un procesamiento digital de la imagen que se obtiene a través de las cámaras que se encuentran instaladas en la banda.

Para el desarrollo del procesamiento digital de imagen se debe cumplir con algunas etapas que ayudan a obtener un resultado favorable al problema (Figura 3.59).

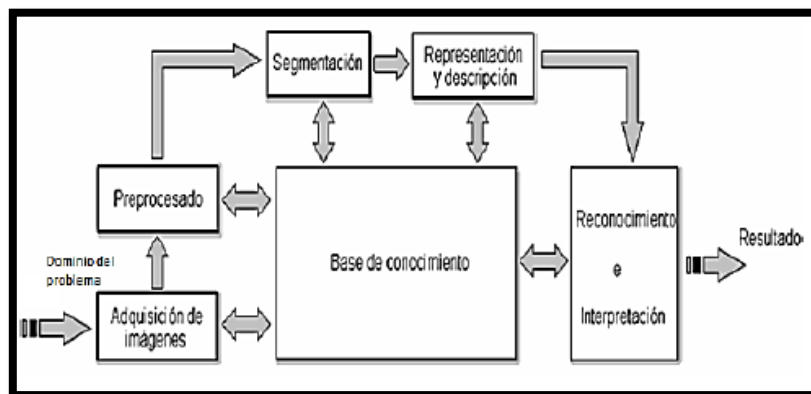


Figura 3.59: Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes.

La primera etapa es la adquisición de la imagen, para lo cual se empleó una cámara Gigabit, que adquiere una imagen para ser tratada.

La siguiente etapa es el pre procesamiento de la imagen con el fin de mejorarla, para que aumente las posibilidades de éxito en los procesos posteriores. Para esto se convirtió la imagen RGB (imagen original) en una de escala de grises.

Luego viene la etapa de la segmentación, la cual consiste en partir una imagen de entrada en sus partes constituyentes u objetos. Para esto se dividió la figura en zonas de interés donde se realizaran los diferentes análisis y reconocimientos de caracteres individuales de las dimensiones y formas de la pieza.

Dentro de la etapa de representación se debe decidir si los datos a analizar son dentro de un contorno o una región completa, mientras que la descripción consiste en extraer los rasgos de alguna información cuantitativa de interés.

La última etapa incluye el reconocimiento e interpretación de todo el proceso. Para lo cual se asignara si la pieza es buena o mala respectivamente, basándose en la información proporcionada por el proceso del control de calidad. La base de datos del conocimiento implica tener un dominio del conocimiento del problema, la cual puede ser simple si se detalla las regiones de una imagen donde se sabe que se ubica información de interés, limitando la búsqueda para hallar dicha información. Para el procesamiento digital de imágenes (PDI), se empleó el software NI Vision Builder.

3.4.1 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE.

El objetivo de usar el software NI Vision Builder AI, es el de aprovechar las funciones de procesamiento de imágenes para mejorar las mismas, control de presencia, ubicar características, identificar objetos, dimensionar objetos y tener control del bloque terminal de E/S, al activar o desactivar las entradas/salidas digitales en el momento que el usuario desee.

Uno de los principales pasos que se debe seguir para la programación en el EVS - 1464RT, es la de instalar y configurar el software NI Vision Builder AI. Hay que tener en cuenta que el EVS puede ser programado con el software LabVIEW, pero no se recomienda ya que es muy complejo al momento de establecer parámetros de control de calidad y poder controlar las entradas/salidas digitales del bloque terminal; además utiliza muchos más toolkits*¹⁶.

*¹⁶ Toolkit.- Herramientas del software LabVIEW, que dependiendo del hardware se debe instalar el toolkit necesario para que funcione dicho dispositivo; caso contrario no funcionará.

Los toolkits necesarios para trabajar con el EVS se detallan en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14: Toolkits para trabajar con el EVS.

 <p style="text-align: center;">Vision Builder Para Inspección Automatizada</p>	 <p style="text-align: center;">LabVIEW LabVIEW Real-Time Modulo NI Vision Development Modulo NI Vision Acquisition Software</p>
--	---

El instalador de LabVIEW 2011 facilitado por la ESPE-L consta de todos estos Toolkits, dependiendo del usuario cual instalar para el procesamiento de imágenes. Los pasos para instalar el software Vision Builder son:

- ✓ Conectar y configurar el EVS como se indicó en la Figura 2.37.
- ✓ Abrir el programa **NI Vision Builder AI** (Figura 3.60), y seleccionar **Refresh**; debe aparecer el nombre del EVS.

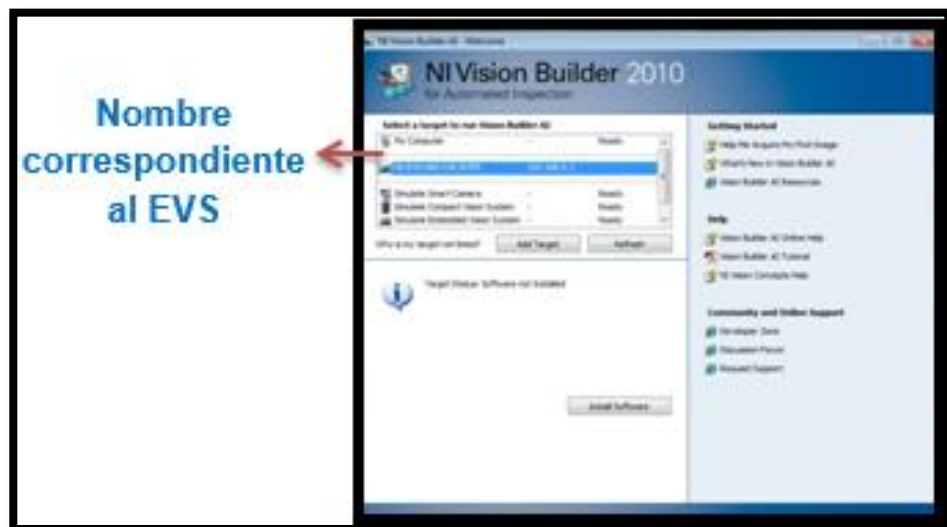


Figura 3.60: Ventana principal de NI Vision Builder AI.

- ✓ Escoger el **NI EVS-1460 > Install Software** (Figura 3.61).

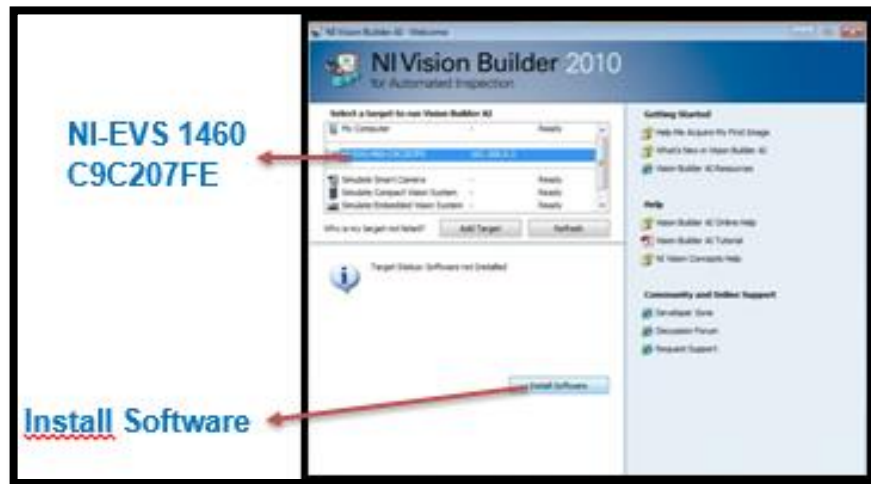


Figura 3.61: Instalación del software.

- ✓ Aparece la primera ventana Step 1, con los datos de identificación de la tarjeta del EVS. Seleccionar **Next** (Figura 3.62).

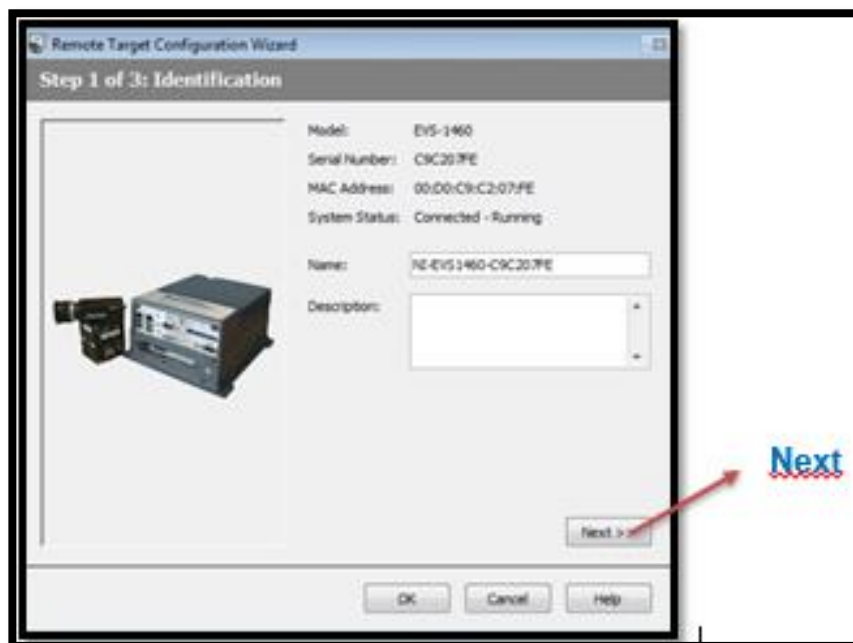


Figura 3.62: Datos de la tarjeta del EVS.

- ✓ En el Step 2, ingresar la dirección IP del EVS: **"192.168.0.30"** > **Next** (Figura 3.63). Los demás valores se dan por default.

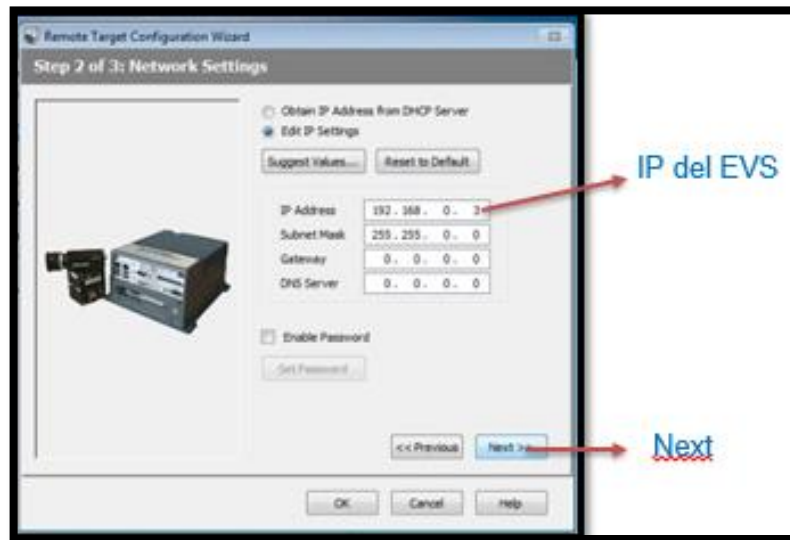


Figura 3.63: Dirección IP del EVS: 192.168.0.30.

- ✓ En el Step 3, seleccionar **Update Target Software** y dar clic en el ícono de la carpeta, esta acción nos manda a una dirección de una carpeta en el computador, elegir el software NI Vision Builder AI dentro de estos archivos y presionar **OK** (Figura 3.64).

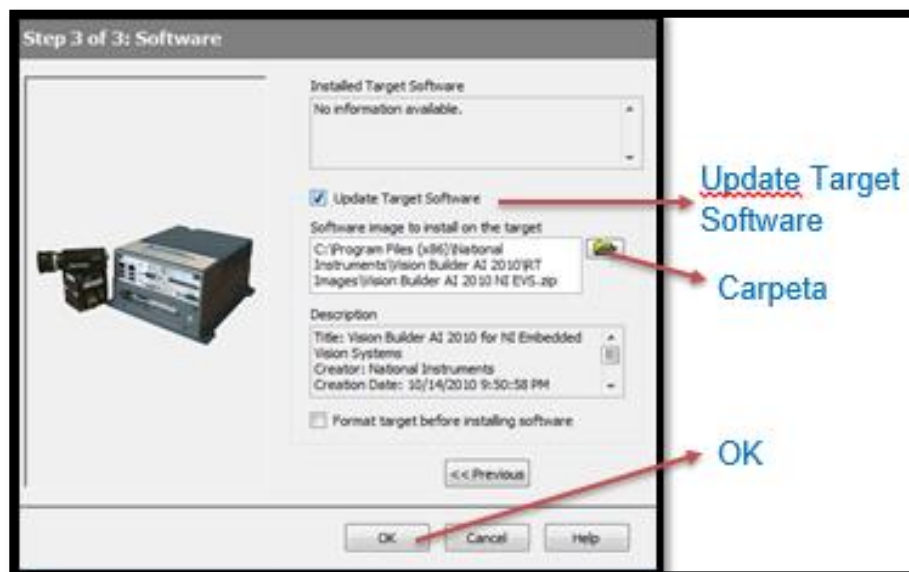


Figura 3.64: Selección de NI Vision Builder AI en el computador.

- ✓ Instalación en proceso (Figura 3.65).

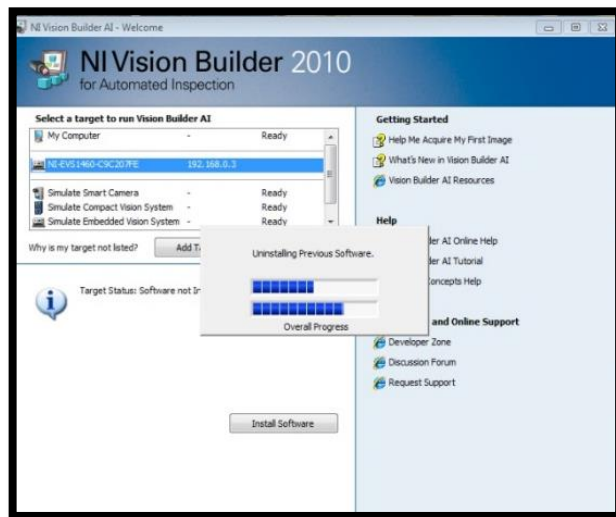


Figura 3.65: Proceso de instalación.

- ✓ Configuración terminada, dar clic en **Aceptar** (Figura 3.66).

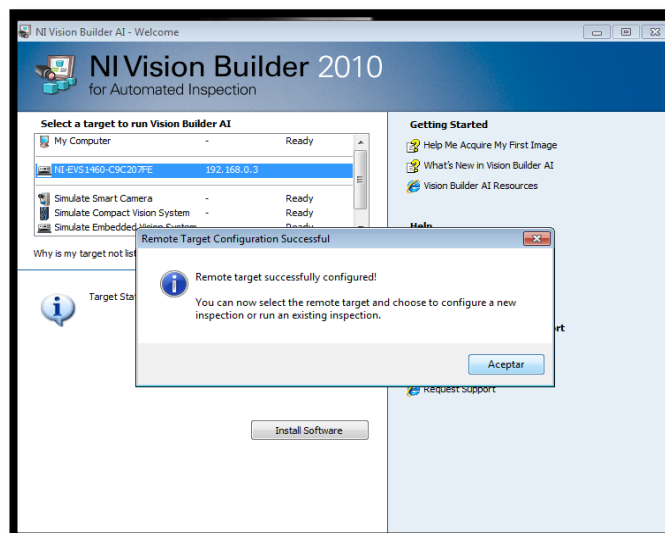


Figura 3.66: Configuración terminada.

- ✓ El EVS está listo para ser programado con el software NI Vision Builder (Figura 3.67).

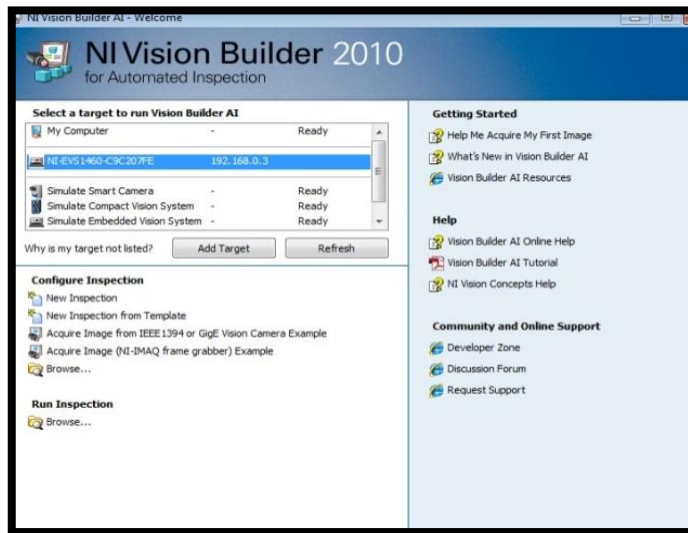
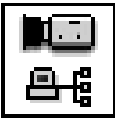

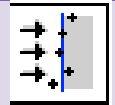
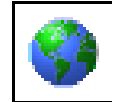



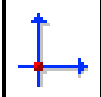

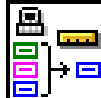
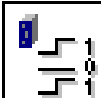


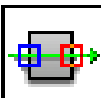


Figura 3.67: Ventana principal de NI Vision Builder AI.

3.4.2 HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN EL PROGRAMA.

Para la programación de adquisición y procesamiento de la imagen se utiliza los instrumentos virtuales del software NI Vision Builder AI. En la Tabla 3.15 se indican los comandos utilizados para la programación del control de calidad.

Tabla 3.15: Instrumentos virtuales de NI Vision Builder.

<i>Gráfico</i>	<i>Nombre</i>	<i>Función</i>
	Adquiere Imagen	Adquiere la imagen desde la cámara Gigabit Ethernet.
	Asistente de Vision.	Extrae los colores RGB de la imagen original.
	Localiza características.	Localiza un borde recto en un contraste bajo de la imagen.
	Contador.	Define los valores de la variable.

	Área de interés.	Localiza en escala de grises las características en toda la imagen o en una región de interés
	Sistema de coordenadas.	Construye un sistema de coordenadas basado en la localización y orientación de una característica de referencia.
	Filos circulares.	Localiza un filo de circunferencia en una región de interés.
	Calculadora.	Calcula resultados numéricos, booleanos y string de las mediciones existentes.
	Lee y escribe E/S.	Usa un NI - IMAQ I/O para E/S estáticas digitales.
	Detecta objetos.	Localiza objetos de intensidad homogénea.
	Temporizador.	Espera un tiempo específico de milisegundos o retraso de tiempo
	Encuentra bordes.	Localiza y cuenta transiciones de intensidad a lo largo de una línea en la imagen.
	Geometría.	Calcula las características geométricas basadas en un punto localizado en la imagen.
	Personalizar HMI.	Datos personalizados con la imagen actual.

3.4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD.

Los pasos que se siguieron para crear el control de calidad de la pieza perforada, se describe a continuación:

- ✓ Abrir el software NI Vision Builder, seleccionar el EVS que esté conectado al computador y escoger una nueva inspección (Figura 3.68).

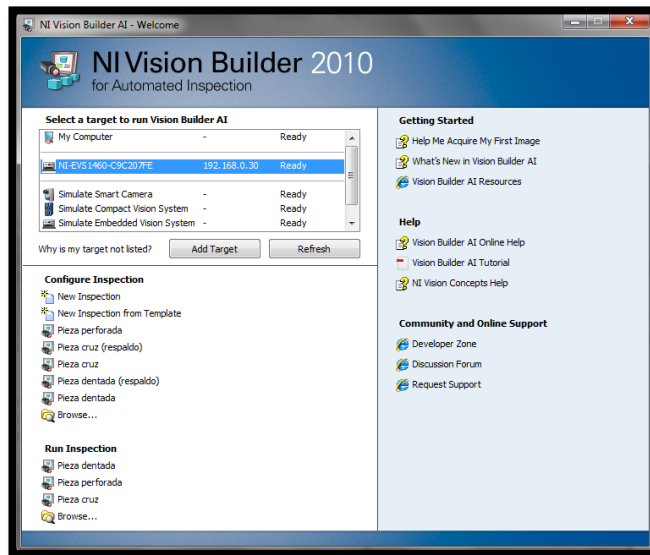


Figura 3.68: NI Vision Builder AI.

✓ En la Figura 3.69, se puede observar las siguientes ventanas.

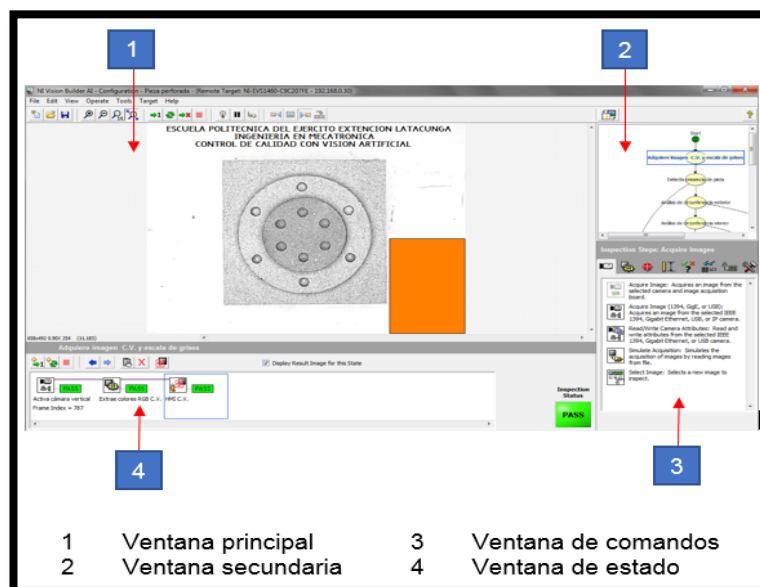


Figura 3.69: Ventanas de Vision Builder.

Ventana principal.- Muestra la imagen que se está procesando, las propiedades para algunas medidas de inspección o el diagrama de estados para la inspección. Se utiliza la ventana principal para definir regiones de interés en una imagen, configurar e intensificar los

parámetros de algunos pasos y crear o modificar el diagrama de estado para la inspección.

Ventana secundaria.- Se puede apreciar una vista en miniatura de la imagen a ser procesada o el diagrama de estados para la inspección.

Ventana de comandos.- Comandos que permiten realizar la inspección; al dar clic en cada uno de ellos se puede configurar los parámetros necesarios para el procesamiento de imágenes.

Ventana de estado.- Muestra la lista de pasos seleccionados e indica el estado de cada uno de ellos.

- ✓ En el diagrama de estados para la inspección (Figura 3.70), crear condiciones similares a un diagrama de flujo, de acuerdo a lo requerido para realizar el control de calidad. En este caso se realizó de la pieza perforada (Figura 3.71), en donde cada condición permite analizar cada uno de los aspectos de dicha pieza.

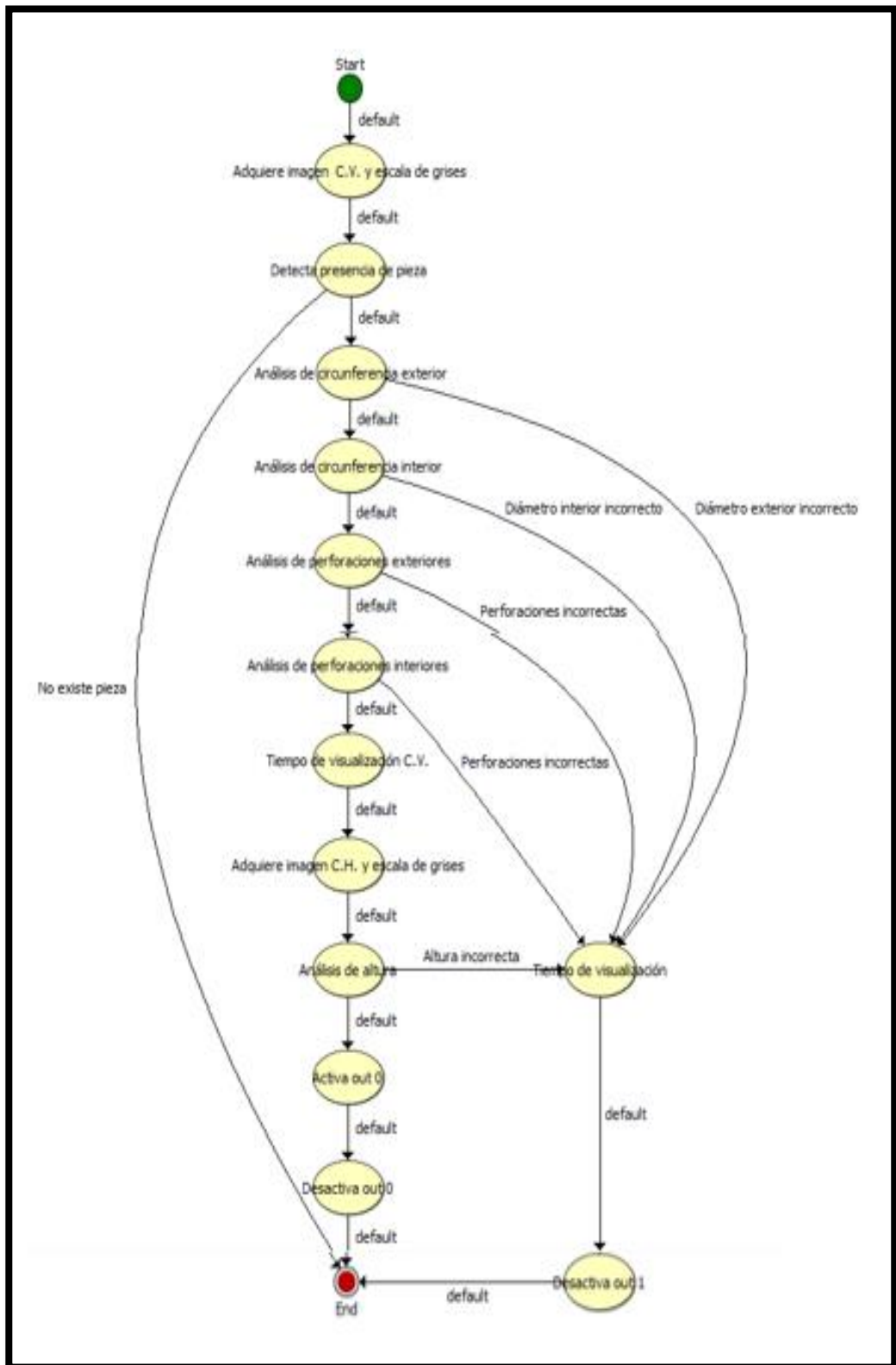


Figura 3.70: Diagrama de estado para la inspección.

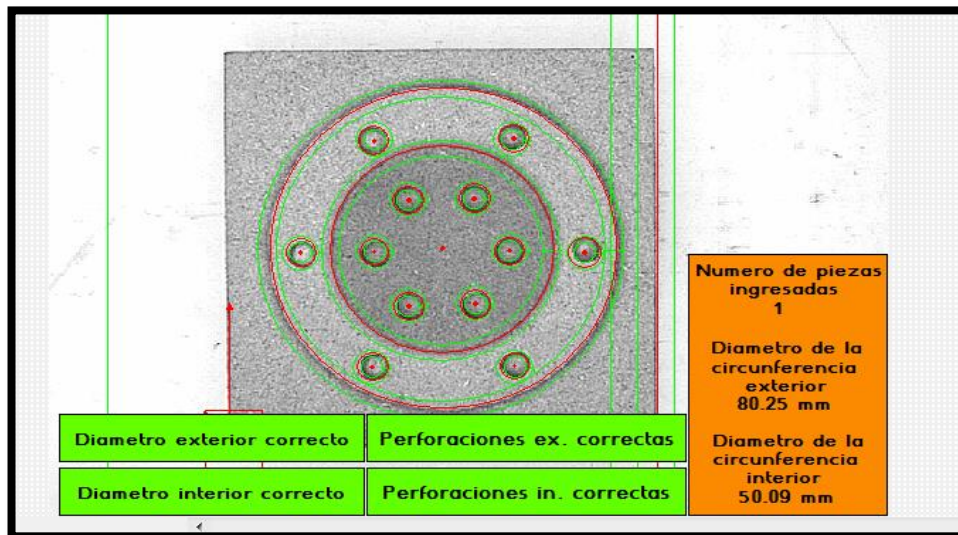


Figura 3.71: Análisis de pieza perforada.

Estos aspectos son los siguientes:

- ✓ Se inicia activando la cámara vertical que va a filmar la imagen superior, se extrae los colores RGB aplicando un filtro y se realiza el inicio del HMI (Figura 3.72).

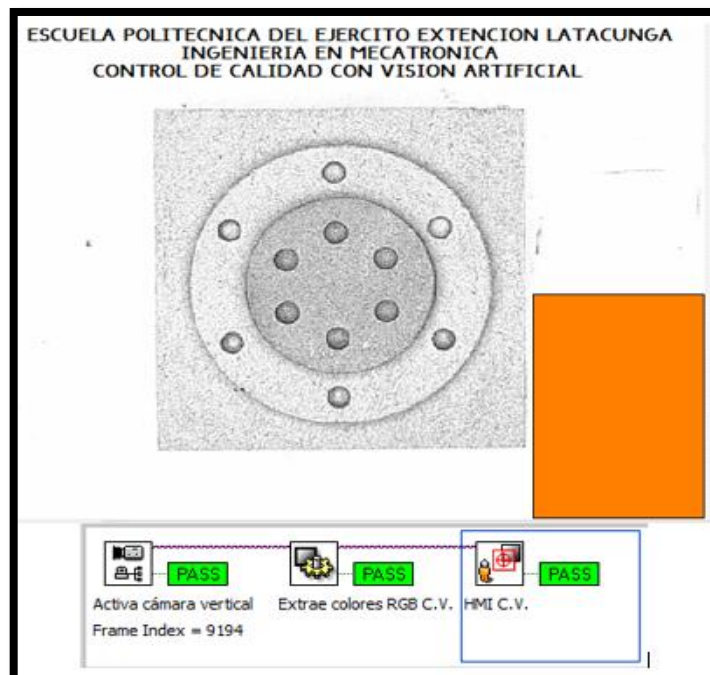


Figura 3.72: Primera condición (pieza perforada).

- ✓ Se establece la condición de que si detecta el borde derecho de la pieza perforada; empiece con la inspección, caso contrario finaliza el programa (Figura 3.73). Esto permite un control de calidad óptimo ya que si pasa cualquier otro objeto no va realizar nada, por lo tanto el brazo robótico no recibirá ninguna señal.

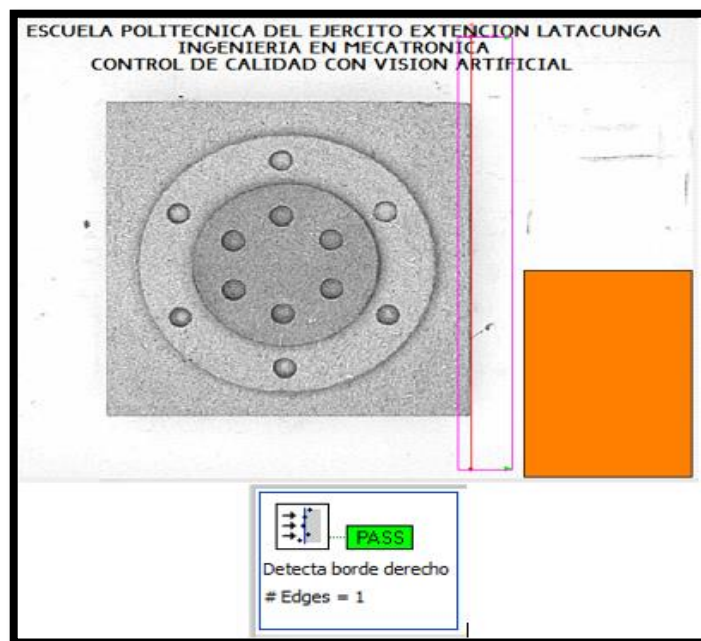


Figura 3.73: Segunda condición (pieza perforada).

- ✓ Se realiza el contador de piezas ingresadas y se analiza el diámetro de la circunferencia exterior; si ésta cumple con los parámetros pasa al siguiente paso de la inspección (Figura 3.74), caso contrario se activa la salida digital #1 del Bloque terminal de E/S y finaliza el programa, enviando una señal al PLC indicando que la pieza perforada es mala.

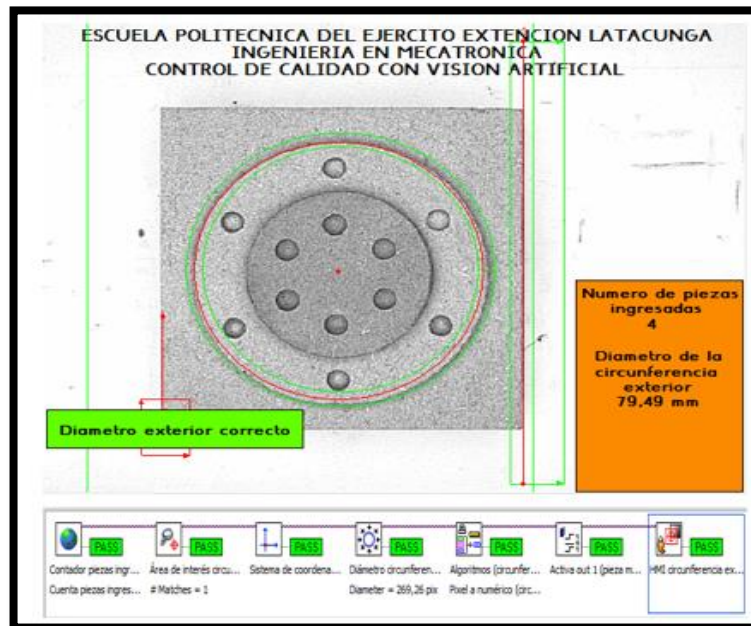


Figura 3.74: Tercera condición (pieza perforada).

- ✓ Se analiza la circunferencia interior (Figura 3.75), si no cumple los parámetros establecidos se activa la salida digital #1, designando a la pieza como mala.

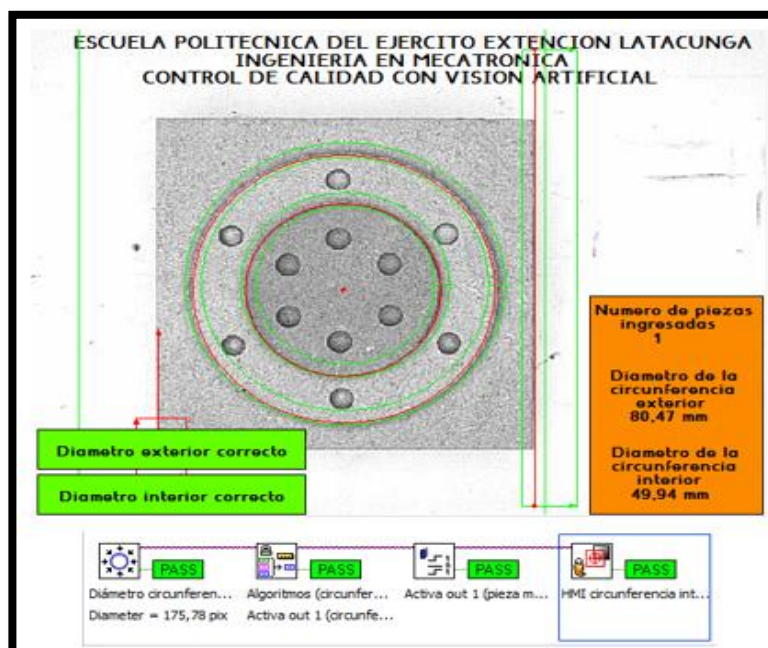


Figura 3.75: Cuarta condición (pieza perforada).

- ✓ El software analiza las perforaciones exteriores, la distancia entre ellas y los diámetros (Figura 3.76).

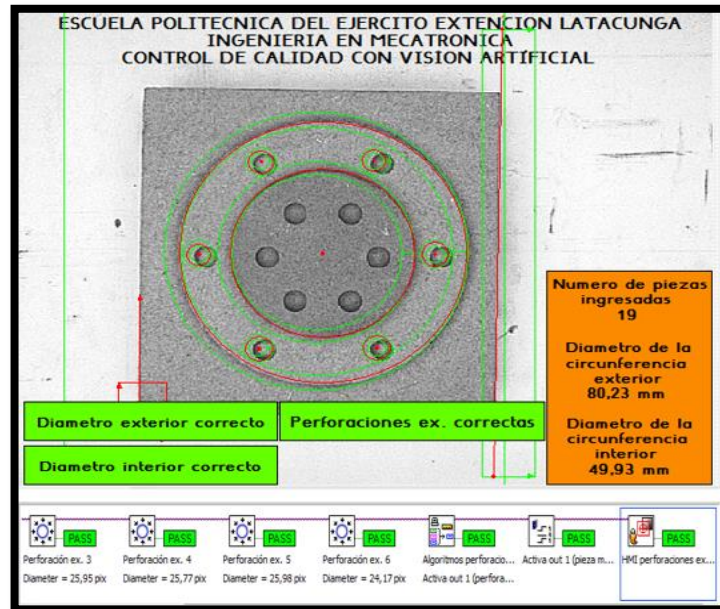


Figura 3.76: Quinta condición (pieza perforada).

- ✓ Además, analiza las perforaciones interiores, con las condiciones mencionadas en el paso anterior (Figura 3.77).

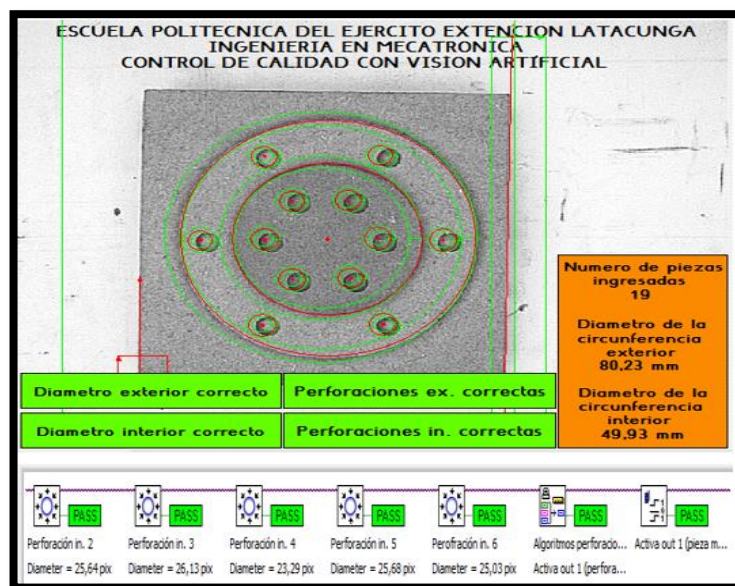


Figura 3.77: Sexta condición (pieza perforada).

- ✓ Se activa la cámara horizontal que va a filmar la imagen lateral, se extrae los colores RGB aplicando un filtro y se realiza el inicio del HMI (Figura 3.78).

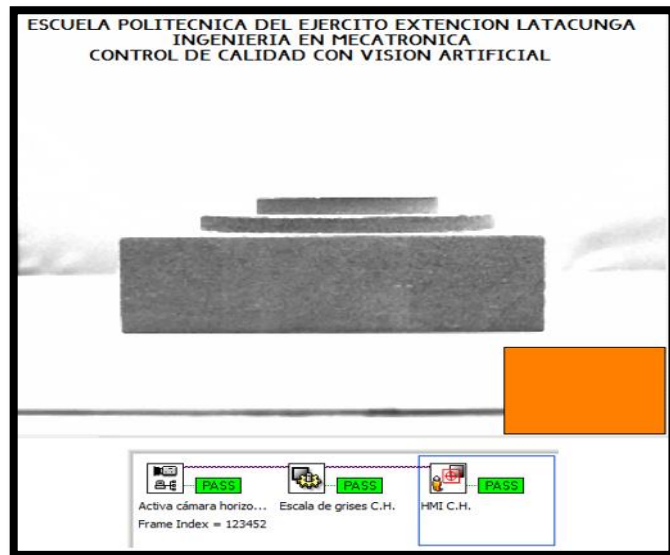


Figura 3.78: Séptima condición (pieza perforada).

- ✓ Finalmente analiza las alturas tanto superior como inferior de la pieza perforada (Figura 3.79).

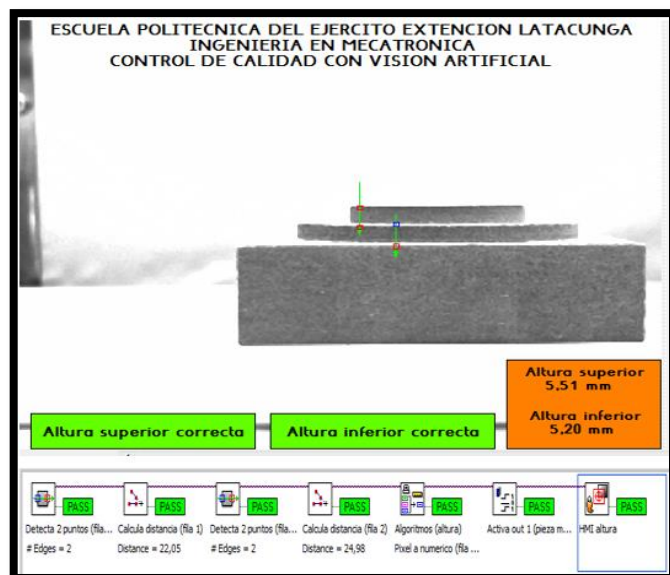
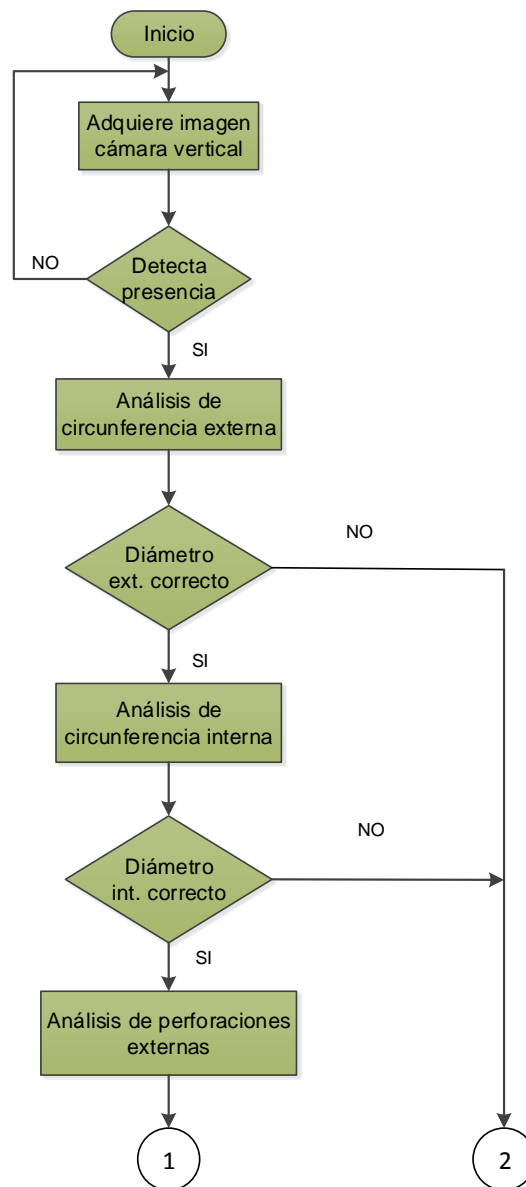


Figura 3.79: Octava condición (pieza perforada).

3.4.4 ALGORITMO PARA EL CONTROL DE CALIDAD.

El algoritmo que se implementó para el control de calidad, se muestra en la Figura 3.80, donde se inicializa el proceso con la captura de la imagen desde la cámara vertical y la detección de presencia de pieza. Una vez que cumple con el algoritmo determinado para la cámara vertical y verificada cada uno de los pasos del proceso, pasa a capturar la imagen de la cámara horizontal para seguir con el proceso y determinar el estado de la pieza.



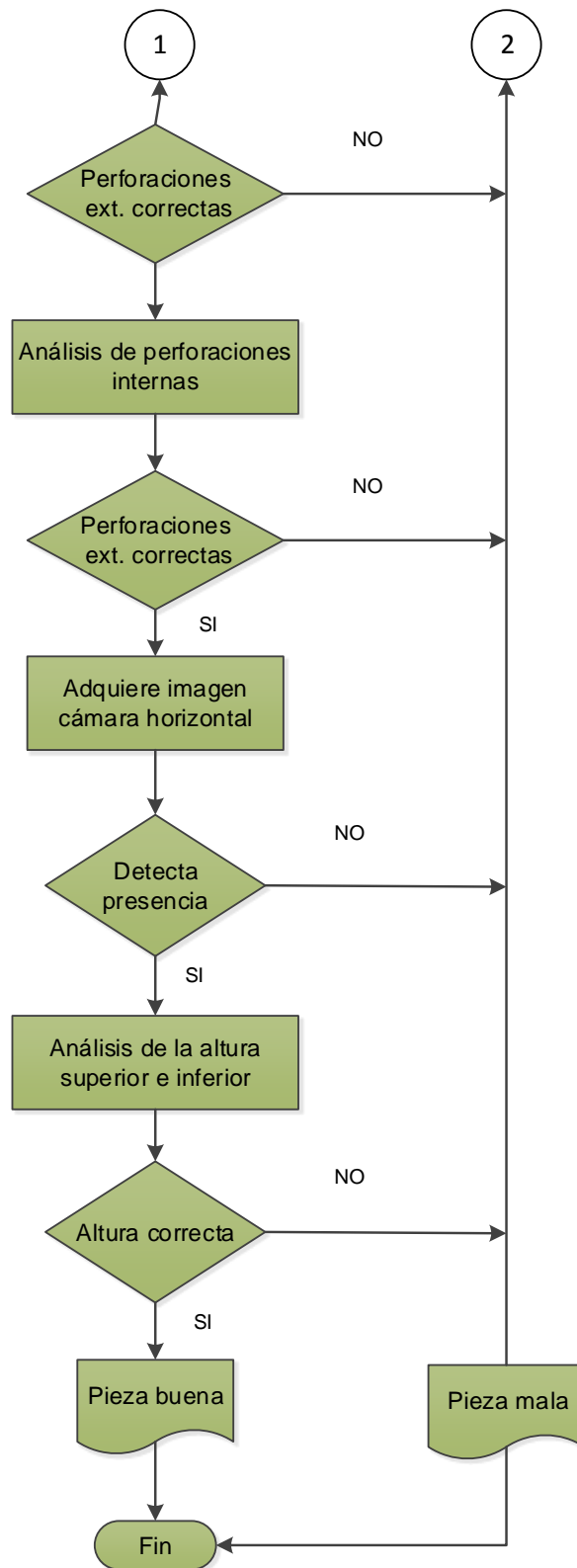


Figura 3.80: Diagrama de flujo del control de calidad.

3.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA DEL CONTROL DE CALIDAD.

Para la interfaz humano-máquina del control de calidad se dispuso de un computador (Figura 3.81) conectado al Sistema de Visión Embebido, en donde se podrá visualizar de forma real e instantánea lo que sucede con el sistema al momento de realizar el control de calidad de la pieza.

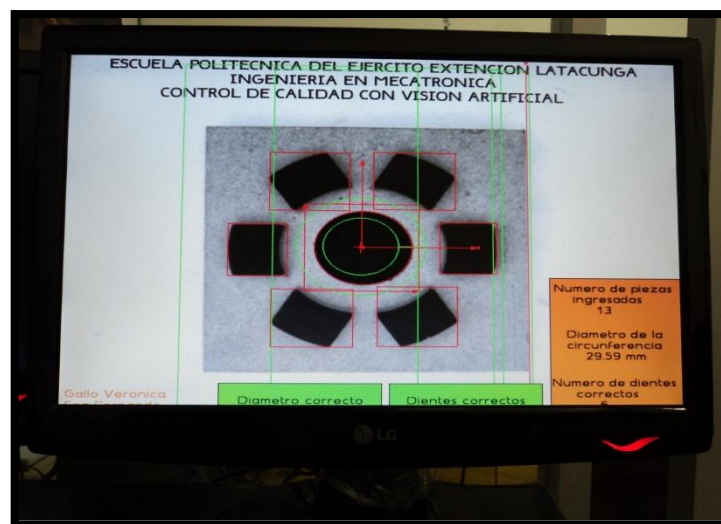


Figura 3.81: Computador para el HMI.

Las cámaras que se encuentran conectadas al EVS, proyectan la imagen de la pieza al computador y permiten visualizar el control de las dimensiones de la pieza; así como la forma que tendrá el producto final.

Para la configuración del HMI, se utilizó el comando “**Personalizar HMI**” del software de Vision Builder, el cual permite ingresar texto, programar variables que permitan contar piezas, determinar dimensiones, detectar objetos similares y visualizar mensajes de algoritmos correctos que cumplen las funciones de acuerdo a lo programación.

Para el HMI de este proyecto, se implementó un contador para determinar las piezas que ingresan al sistema de control de calidad. Además de verificar de forma visual los datos que arroja el algoritmo de programación para cada una de las piezas, se puede observar los mensajes de confirmación de que la pieza cumple con los parámetros requeridos en el control de calidad.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Este apartado, muestra los resultados obtenidos en las aplicaciones creadas en el diseño e implementación de la celda de manufactura, así como también los resultados del control de calidad de las diferentes piezas mecanizadas.

4.1 PRUEBAS DE LOS EQUIPOS.

En esta sección se realizó las pruebas para verificar el correcto funcionamiento de los equipos que forman parte de la celda de manufactura.

4.1.1 BRAZO ROBÓTICO KUKA KR 16.

Para esta prueba se realizó un programa para determinar el alcance de trabajo de los ejes del brazo robótico.

Tabla 4.1: Verificación de movimientos de ejes del Robot.

<i>Ejes del robot</i>	<i>Alcance de trabajo</i>
1	Si
2	Si
3	Si
4	Si
5	Si
6	Si

Como se puede observar el brazo robótico puede moverse correctamente dentro de su campo de trabajo con relación a sus seis ejes, esto facilitara la creación del programa principal de la celda, respetando los alcances de trabajo que posee cada eje.

Por otra parte, se comprobó las entradas y salidas digitales del módulo WAGO, forzándolas mediante software (Tabla 4.2).

Tabla 4.2: Verificación de entradas del módulo WAGO.

<i>Número de entrada</i>	<i>Número de salida</i>	<i>Indicador led en el KCP</i>
1	1	Si
2	2	Si
3	3	Si
4	4	Si
5	5	Si
6	6	Si
7	7	Si
8	8	Si
9	9	Si
10	10	Si
11	11	Si
12	12	Si
13	13	Si
14	14	Si
15	15	Si
16	16	Si

Como resultado se tiene que las 16 entradas y las 16 salidas del módulo WAGO, se encuentran trabajando correctamente, lo que permite utilizar las entradas y salidas necesarias para este proyecto.

4.1.2 BANDAS TRANSPORTADORAS.

Para esta prueba, se verificó el control de la velocidad, posición y aceleración de la banda transportadora mediante un programa (Figura 4.1), comprobando las señales adquiridas de cada sensor y activando cada una de las entradas y salidas.

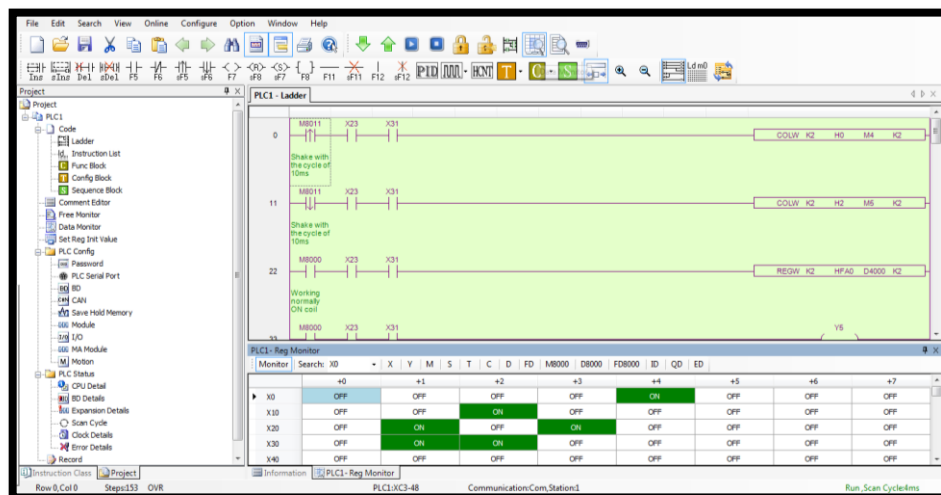


Figura 4.1: Comprobación de las señales de entradas y salidas.

Como se puede observar en la Figura 4.1 se indica un fragmento del programa que permite controlar la velocidad, posición y aceleración con la que trabajara la banda, por otra parte se observa las señales que se activan en la parte inferior de la pantalla, las señales activadas provienen de las entradas y salidas que se utilizan para el programa.

Una prueba similar se realizó para la otra banda, determinando su correcto funcionamiento.

4.1.3 MINI CENTRO DE MECANIZADO.

Para verificar el funcionamiento del mini centro de mecanizado se mandó a mecanizar tres piezas con diferentes operaciones de fresado y se tomó el tiempo que tarda en mecanizar cada una de las piezas.

Tabla 4.3: Verificación del proceso y tiempo de mecanizado.

<i>Número de pieza</i>	<i>Proceso de mecanizado</i>	<i>Tiempo de mecanizado (horas)</i>
1	Si	4
2	Si	4
3	Si	5

En la Figura 4.2 se observa el tiempo de mecanizado utilizado para cada una de las piezas.

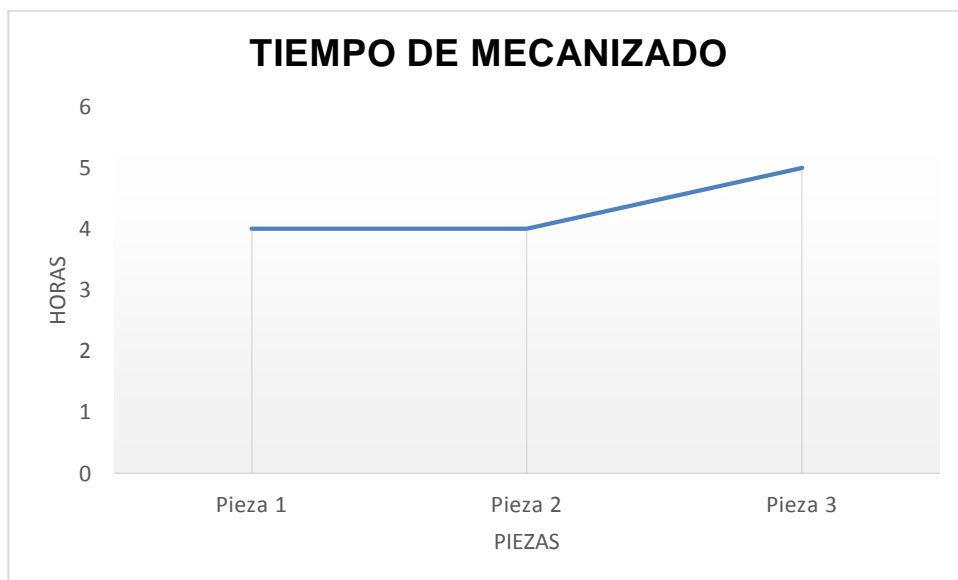


Figura 4.2: Tiempo de mecanizado.

Como se puede observar hay una variación del tiempo en la última pieza esto se debe al nivel de complejidad de la pieza y a las operaciones de fresado que se implementan para cada una de las piezas. Por otro lado se

pudo confirmar que el mini centro de mecanizado se encuentra en perfectas condiciones para realizar los procesos de mecanizado.

4.1.4 SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD.

Se procedió a conectar los equipos que forman parte del sistema de control, con el fin de probar la comunicación del EVS y las cámaras. Se verificó la activación de las salidas digitales del bloque terminal de E/S.

Para verificar si el EVS y las cámaras se encuentran conectadas, se realizó mediante el software Measurement & Automation (MAX) (Tabla 4.4).

Tabla 4.4: Comunicación de los equipos con el software.

<i>Equipo</i>	<i>Comunicación con el software</i>
<i>Sistema de Visión Embebido (EVS)</i>	Si
<i>Cámara vertical</i>	Si
<i>Cámara horizontal</i>	Si

Como resultado se puede observar la buena comunicación que existe entre los equipos y el software, lo que facilita la configuración de los parámetros de las cámaras tanto vertical como horizontal.

Para la activación de las salidas digitales se forzaron mediante el software Vision Builder (Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Verificación de las salidas del bloque terminal.

<i>Número de salida</i>	<i>Encendido de la luz indicadora en el bloque terminal de E/S.</i>
1	Si
2	Si

3	Si
4	Si

Se puede observar que las salidas digitales del bloque terminal funcionan correctamente, esto se comprobó una vez que al forzar la salida en el software se encendía la luz indicadora en el bloque terminal.

4.2 PRUEBAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS.

En este punto se comprueba el correcto funcionamiento de la dos fuentes que posee los PLC's (fuente de 24 V), verificando que el voltaje y la corriente de salida sea el indicado para alimentar a los relés que se encuentran ubicados en las bandas transportadoras, módulo de control de calidad y armario de control del brazo robótico. Estas pruebas se pueden observar en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Verificación de voltajes y corrientes enviadas por el PLC.

Elemento	Voltaje	Corriente
<i>Relé #1</i>	Si	Si
<i>Relé #2</i>	Si	Si
<i>Relé #3</i>	Si	Si
<i>Relé #4</i>	Si	Si
<i>Relé #5</i>	Si	Si
<i>Relé #6</i>	Si	Si
<i>Relé #7</i>	Si	Si
<i>Relé #8</i>	Si	Si
<i>Relé #9</i>	Si	Si
<i>Relé #10</i>	Si	Si
<i>Relé #11</i>	Si	Si
<i>Relé #12</i>	Si	Si
<i>Relé #13</i>	Si	Si
<i>Relé #14</i>	Si	Si

Relé #15	Si	Si
----------	----	----

En la Figura 4.3 se visualiza que los voltajes y corrientes enviadas cada vez que recibe una señal es la correcta.

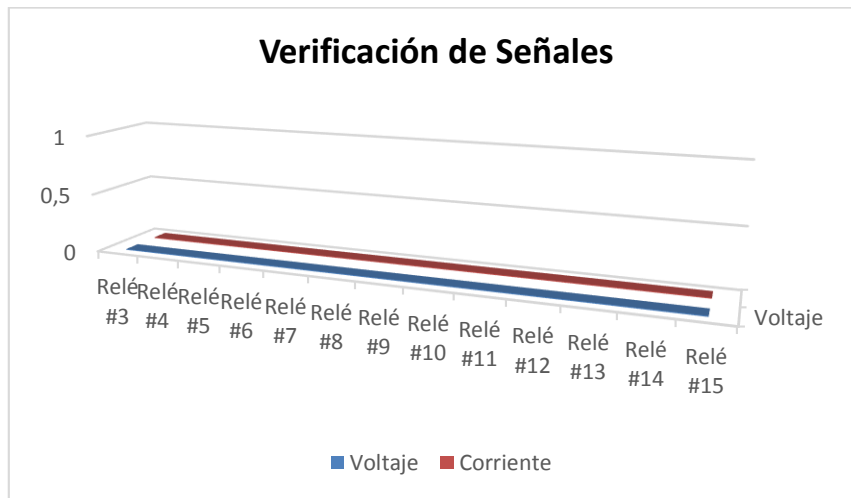


Figura 4.3: Verificación de señales de voltaje y corriente.

Se verificó que la fuente de 24 V que alimenta a la touch panel y la fuente de 24 V que alimenta al EVS, bloque terminal de E/S; provean el voltaje y corriente necesario para la alimentación de los equipos.

La Tabla 4.7, muestra las pruebas que se realizaron para la verificación de los voltajes y corrientes.

Tabla 4.7: Verificación de voltajes y corrientes para los equipos.

Fuente	EVS		Bloque de E/S	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
24v	SI	SI	SI	SI

Fuente	Touch panel	
	Voltaje	Corriente
24v	SI	SI

Fuente	Pistón del distribuidor de materia		Electroválvula del mini centro de mecanizado	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
12v	SI	SI	SI	SI

Como resultado de estas pruebas se comprobó que las 5 fuentes implementadas en el proyecto alimentan de manera satisfactoria a los relés y equipos que forman parte de la celda de manufactura para que cumplan con su función dentro del proceso.

4.3 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON LOS EQUIPOS.

Se examinaron las señales de entradas y salidas de cada uno de los equipos para comprobar que existe comunicación entre estos y determinar un correcto funcionamiento.

4.3.1 COMUNICACIÓN DEL DISTRIBUIDOR DE MATERIA PRIMA CON LA BANDA TRANSPORTADORA.

Se analizó la señal del distribuidor de materia prima, que es enviada por el pistón hacia el relé de comunicación del PLC de la banda transportadora N.- 3, esta señal da el punto de partida al proceso al expulsar la materia prima que se transporta por medio de la banda. Esta prueba se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Distribuidor de materia prima con banda transportadora.

Señal	Expulsión de materia prima	
	<i>SI</i>	<i>NO</i>
<i>Prueba 1</i>		x
<i>Prueba 2</i>	x	
<i>Prueba 3</i>	x	
<i>Prueba 4</i>	x	
<i>Prueba 5</i>	x	

Como resultado se obtuvo que existe una buena comunicación entre el distribuidor de materia prima y la banda transportadora, cumpliendo así con su función de expulsar la materia, la señal que no recibió el PLC de la banda transportadora en la prueba N.- 1 fue debido a que la fuente que alimenta al distribuidor se encontraba desconectada.

Se verificó la conexión del PLC (Figura 4.4), la señal emitida por el relé de salida dando valores de 0 cuando no existe señal y 1 cuando existe señal.

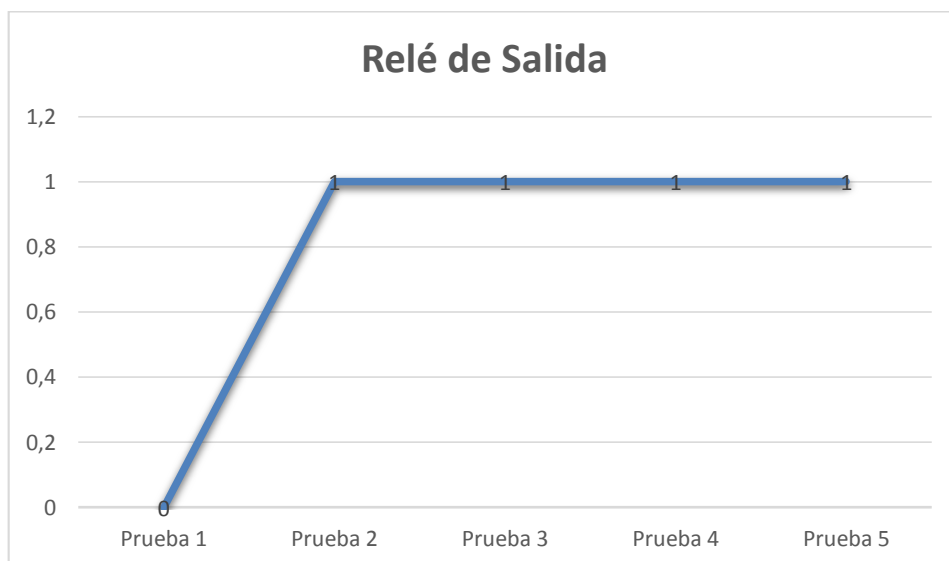


Figura 4.4: Relé de salida.

4.3.2 COMUNICACIÓN DE LAS BANDAS TRANSPORTADORAS CON EL BRAZO ROBOTICO KUKA KR 16.

Lo primero que se hizo fue comprobar la comunicación de la banda transportadora N.-3 con el brazo robótico para lo cual se examinó la señal de la banda transportadora, que es enviada por un relé de salida del PLC hacia la señal de entrada del módulo WAGO, esta señal indica al brazo que existe materia prima en la banda y está lista para ser transportada hacia la siguiente estación.

Tabla 4.9: Banda transportadora N.- 3 con brazo robótico.

Señal	Existe materia prima en la banda N.- 3	
	SI	NO
<i>Prueba 1</i>	x	
<i>Prueba 2</i>	x	
<i>Prueba 3</i>	x	
<i>Prueba 4</i>	x	
<i>Prueba 5</i>		x

Como resultado se tiene una buena comunicación entre la banda transportadora N.-3 y el brazo robótico, cumpliendo así con la función de comprobar que existe materia prima para ser llevada a la siguiente estación, la señal que no recibió el brazo robótico en la prueba N.- 5 fue debido al agotamiento de materia prima en el distribuidor por lo que se debe reiniciar el proceso.

Se analizó la conexión del PLC (Figura 4.5), la señal emitida por el relé de salida dando valores de 0 cuando no existe señal y 1 cuando existe señal y de forma idéntica se revisó la señal del módulo WAGO.

Tabla 4.10: Pruebas de señal de la banda N.- 3 y módulo WAGO.

<i>Pruebas</i>	<i>Relé de salida (PLC)</i>	<i>Módulo WAGO</i>
<i>Prueba 1</i>	1	1
<i>Prueba 2</i>	1	1
<i>Prueba 3</i>	1	1
<i>Prueba 4</i>	1	1
<i>Prueba 5</i>	0	0

En la Figura 4.5 se visualiza el comportamiento de las señales de la tabla anterior.

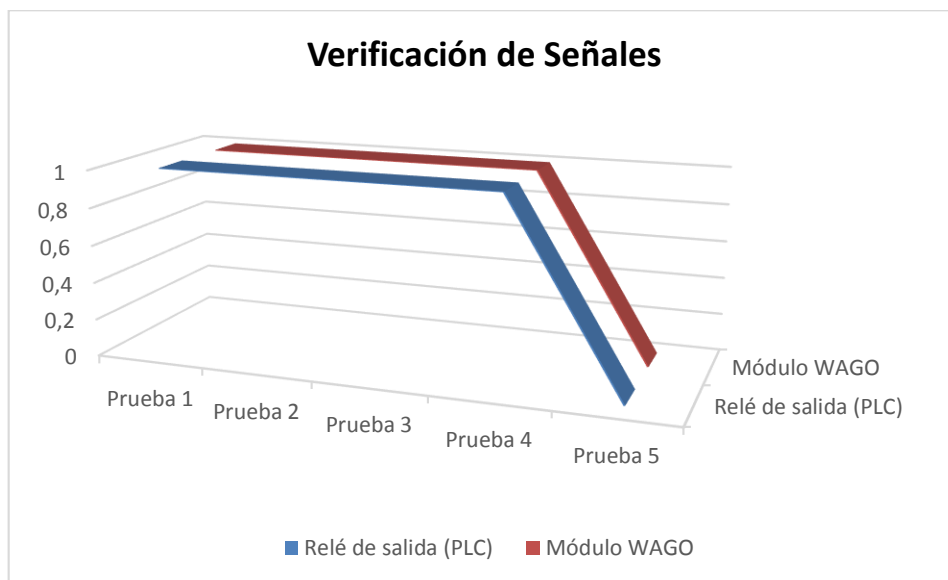


Figura 4.5: Señales del PLC y módulo WAGO.

Por otro lado se tiene la comunicación de la banda transportadora N.-4 con el brazo robótico, en donde se analizó la señal del brazo robótico, que es enviada por el módulo WAGO hacia un relé de entrada del PLC, esta señal indica a la banda que debe empezar a moverse.

Tabla 4.11: Banda transportadora N.- 4 con el brazo robótico.

Señal	Banda N.- 4 en movimiento	
	<i>SI</i>	<i>NO</i>
<i>Prueba 1</i>	x	
<i>Prueba 2</i>	x	
<i>Prueba 3</i>	x	
<i>Prueba 4</i>	x	
<i>Prueba 5</i>	x	

Como resultado se logró una correcta comunicación entre la banda transportadora N.-4 y el brazo robótico, cumpliendo así con el movimiento de la banda y transportando la pieza mecanizada.

Se verificó la conexión del PLC (Figura 4.6), la señal emitida por el módulo WAGO y de forma idéntica se revisó la señal del relé de entrada del PLC.

Tabla 4.12: Pruebas de señal de la banda N.- 4 y módulo WAGO.

Pruebas	Relé de salida (PLC)	Módulo WAGO
<i>Prueba 1</i>	1	1
<i>Prueba 2</i>	1	1
<i>Prueba 3</i>	1	1
<i>Prueba 4</i>	1	1
<i>Prueba 5</i>	1	1

En la Figura 4.6 se visualiza el comportamiento de las señales de la tabla 5.7.

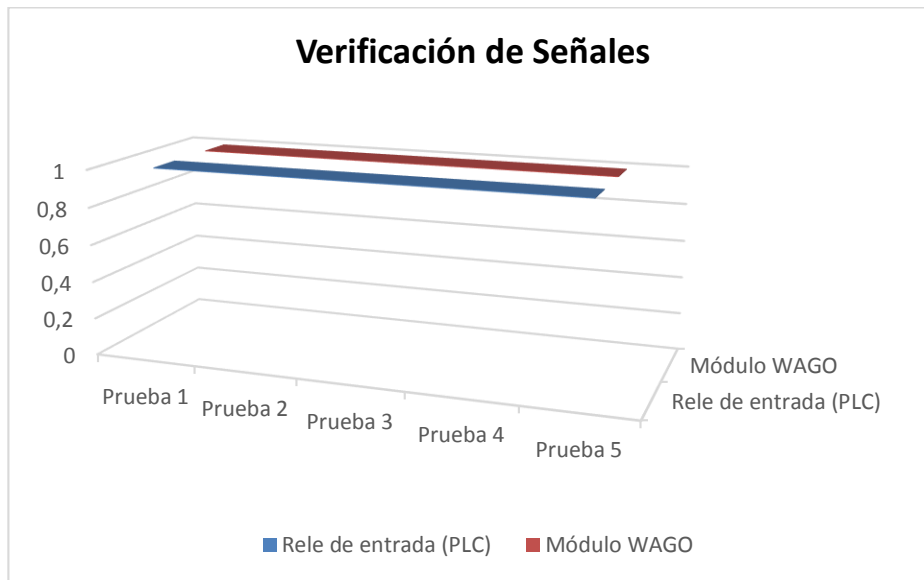


Figura 4.6 Verificación de señales.

4.3.3 COMUNICACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO CON EL MINI CENTRO DE MECANIZADO.

Se observó la señal del brazo robótico, que es enviada por el módulo WAGO hacia un relé de entrada del mini centro de mecanizado, esta señal da el punto de partida al proceso de mecanizado de la pieza y de forma idéntica se revisó la señal que es enviada desde el relé de salida del mini centro de mecanizado hacia el módulo WAGO esto se muestra en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Brazo robótico con mini centro de mecanizado.

Señal	Proceso de mecanizado	
	<i>SI</i>	<i>NO</i>
<i>Prueba 1</i>	x	
<i>Prueba 2</i>		x
<i>Prueba 3</i>	x	
<i>Prueba 4</i>	x	
<i>Prueba 5</i>	x	

Los resultados demuestran que existe una buena comunicación entre el brazo robótico y el mini centro de mecanizado, cumpliendo así con el proceso de mecanizado de la pieza, la señal que no recibió el mini centro de mecanizado fue debido a que en el programa de códigos G de la pieza no se asignó el parámetro que permite que el programa cumpla un ciclo repetitivo.

Se analizó la conexión del módulo WAGO (Figura 4.7), y de forma idéntica se revisó la señal de entrada del mini centro de mecanizado.

Tabla 4.14: Pruebas de señal del módulo WAGO y mini centro.

<i>Pruebas</i>	<i>Módulo WAGO</i>	<i>Entrada del mini centro de mecanizado</i>
<i>Prueba 1</i>	1	1
<i>Prueba 2</i>	1	0
<i>Prueba 3</i>	1	1
<i>Prueba 4</i>	1	1
<i>Prueba 5</i>	1	1

En la Figura 4.7 se visualiza el comportamiento de las señales de la Tabla 5.9.

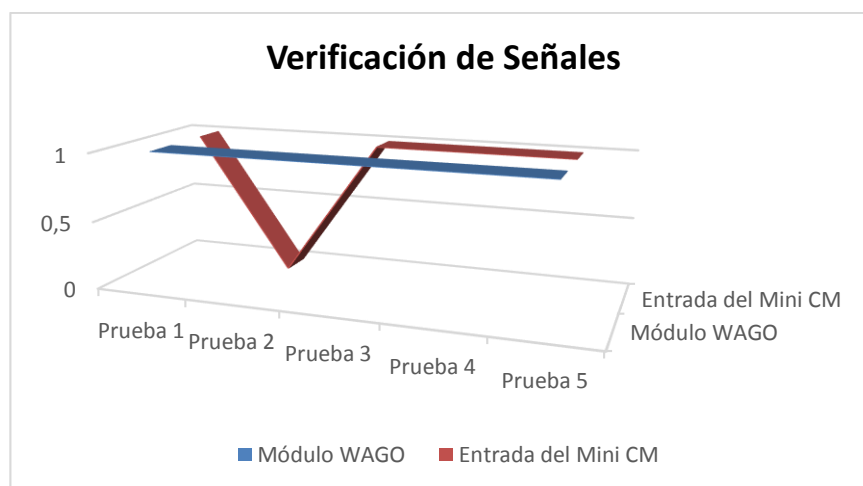


Figura 4.7 Señales del mini centro de mecanizado y módulo WAGO.

4.4 PRUEBAS EN LA CELDA DE MANUFACTURA.

En este punto se realizaran pruebas para comprobar la repetibilidad de los equipos; así como también se realizaran pruebas en el control de calidad de cada una de las piezas mecanizadas.

4.4.1 PRUEBAS DE REPETIBILIDAD.

Se inició haciendo pruebas con el brazo robótico, para realizar esta prueba de repetibilidad se hizo a través de un programa donde se incluyó 4 puntos principales en función de su alcance y desplazamiento radial y vertical (Figura 4.8) y se realizó el ciclo de funcionamiento correspondiente. En la Tabla 4.15 se muestra la separación que se obtuvo en cada punto al realizar el ciclo de funcionamiento 20 veces.



Figura 4.8: Movimientos programados del brazo robótico.

Tabla 4.15: Medición de separaciones.

Repeticiones	Primer punto (mm)	Segundo punto (mm)	Tercer punto (mm)	Cuarto punto (mm)	Promedio (mm)
20	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
40	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
60	0.3	0.3	0.3	0.5	0.35
80	0.5	0.3	0.6	0.6	0.5

Como resultado final se obtuvo el promedio que a continuación se detalla en la en la Figura 4.9.

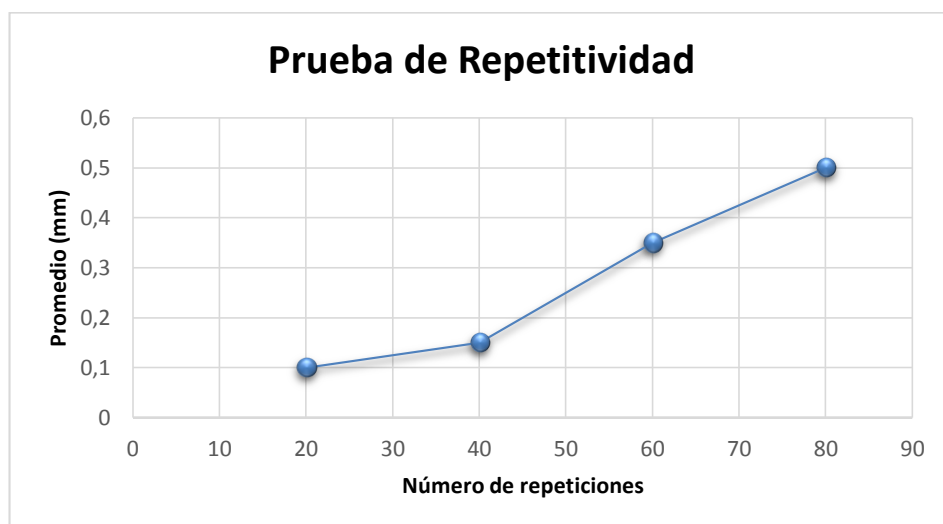


Figura 4.9: Resultados de la prueba de repetitividad del brazo robótico.

Por lo tanto con los resultados obtenidos se dice que en 80 repeticiones se tuvo una desviación de 0,5 mm, que es una separación muy pequeña, de esta manera se concluye que el brazo robótico se encuentra dentro de los rangos aceptables.

4.4.2 PRUEBAS DEL CONTROL DE CALIDAD.

Pieza dentada.

En la Figura 4.10 se puede observar la pieza dentada inspeccionada por el software Vision Builder, donde se analiza el diámetro de la circunferencia.

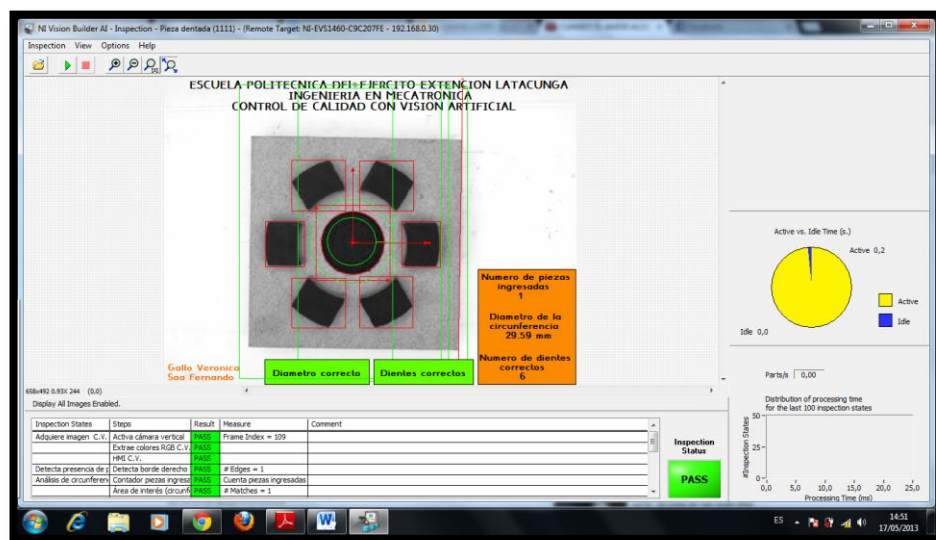


Figura 4.10: Inspección de la circunferencia.

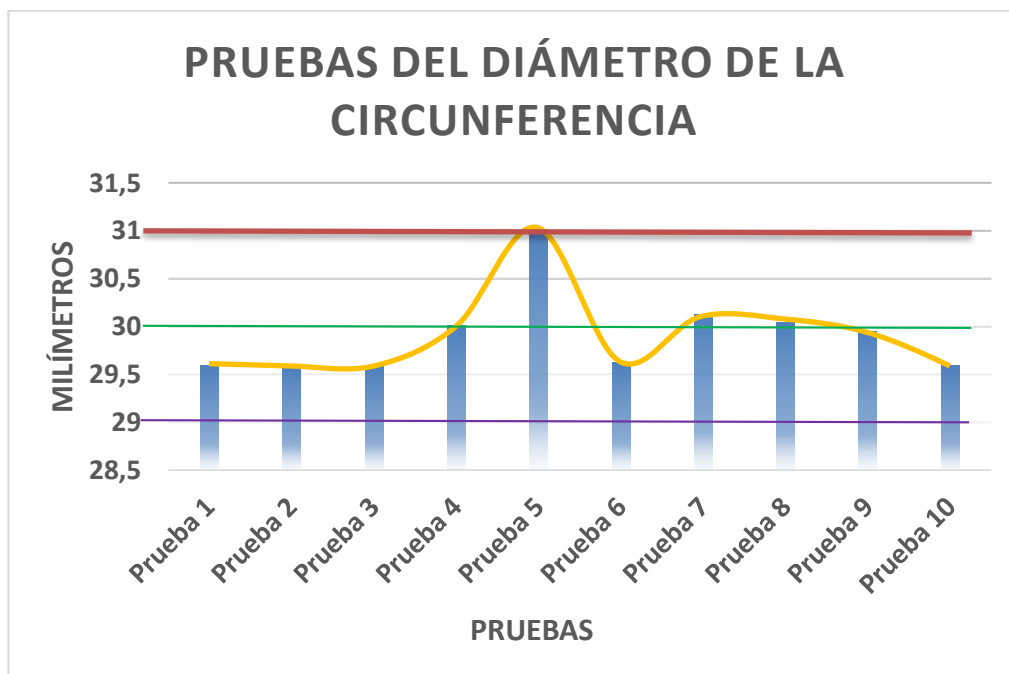
Para la realización de esta prueba se hizo un análisis del diámetro real con respecto al diámetro dado por el software de la pieza. Estos datos se encuentran en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16: Medición del diámetro.

<i>Pruebas</i>	<i>Diámetro real de la pieza (mm)</i>	<i>Diámetro de la pieza por software (mm)</i>
<i>Prueba 1</i>	30	29.59
<i>Prueba 2</i>	30	29.58
<i>Prueba 3</i>	30	29.59
<i>Prueba 4</i>	30	30.01
<i>Prueba 5</i>	30	31.02

Prueba 6	30	29.63
Prueba 7	30	30.13
Prueba 8	30	30.05
Prueba 9	30	29.95
Prueba 10	30	29.59

Como resultado se obtuvo una pequeña variación del diámetro dado por el software con respecto al diámetro real de la pieza, esto se debe a los cambios de intensidad que se producen en el ambiente de trabajo. El software admite el valor del diámetro como correcto debido a que se encuentra dentro del rango de tolerancia, lo que permite determinar a la pieza como buena. En la prueba 5, se observa que el valor del diámetro es incorrecto debido a que está fuera del rango (Figura 4.11).



Polígono de frecuencia

Valor real del diámetro de la circunferencia 30mm.

Valor máximo del diámetro (31mm) establecido por software.

Valor mínimo del diámetro (29 mm) establecido por software.

Figura 4.11: Pruebas del diámetro de la circunferencia.

Otro de los parámetros que se tomó en cuenta para el control de calidad de la pieza dentada fue el análisis de la altura del diente de la pieza (Figura 4.12).

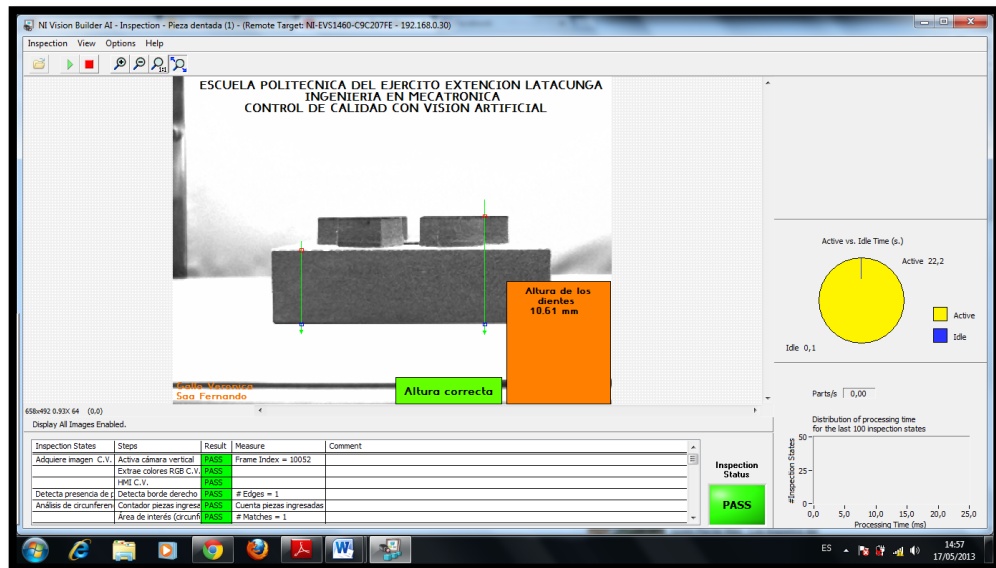


Figura 4.12: Inspección de la altura del diente.

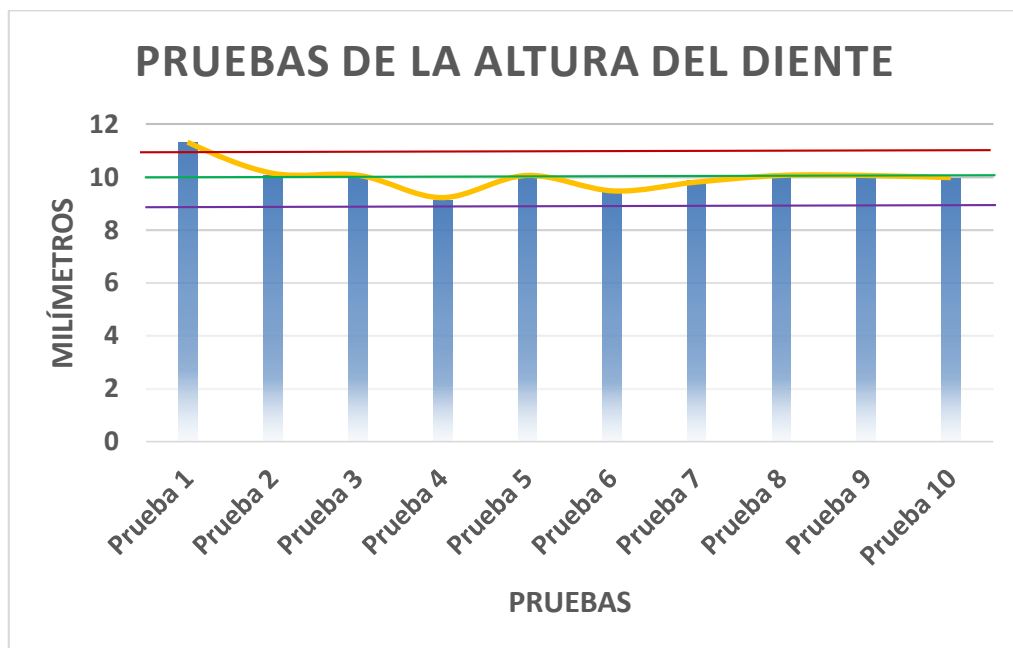
La Tabla 4.17, indica los valores de comparación de la altura del diente del diseño real de la pieza con respecto a los valores dados por el software.

Tabla 4.17: Medición de la altura del diente.

<i>Pruebas</i>	<i>Altura real del diente (mm)</i>	<i>Altura del diente por software (mm)</i>
<i>Prueba 1</i>	10	11.3
<i>Prueba 2</i>	10	10.05
<i>Prueba 3</i>	10	10.01
<i>Prueba 4</i>	10	9.13
<i>Prueba 5</i>	10	10.03
<i>Prueba 6</i>	10	9.42
<i>Prueba 7</i>	10	9.88
<i>Prueba 8</i>	10	10.02
<i>Prueba 9</i>	10	10.03

Prueba 10	10	9.95
-----------	----	------

Como resultado se obtuvo una pequeña variación en los datos dados por el software debido a los cambios de intensidad, pero al estar dentro del rango de tolerancia los datos se determinan como correctos lo que permite obtener piezas buenas. Por otro lado en la prueba 1, se observa que el valor está fuera del rango por lo que se tiene la presencia de una pieza mala. (Figura 4.13).



- Polígono de frecuencia —
- Valor real de la altura del diente 10mm. —
- Valor máximo de la altura (11mm) establecido por software. —
- Valor mínimo de la altura (9 mm) establecido por software. —

Figura 4.13: Pruebas en la altura del diente.

Pieza Cruz.

La Figura 4.14 muestra la pieza inspeccionada por el software Vision Builder, donde se analiza el área total de la cruz.

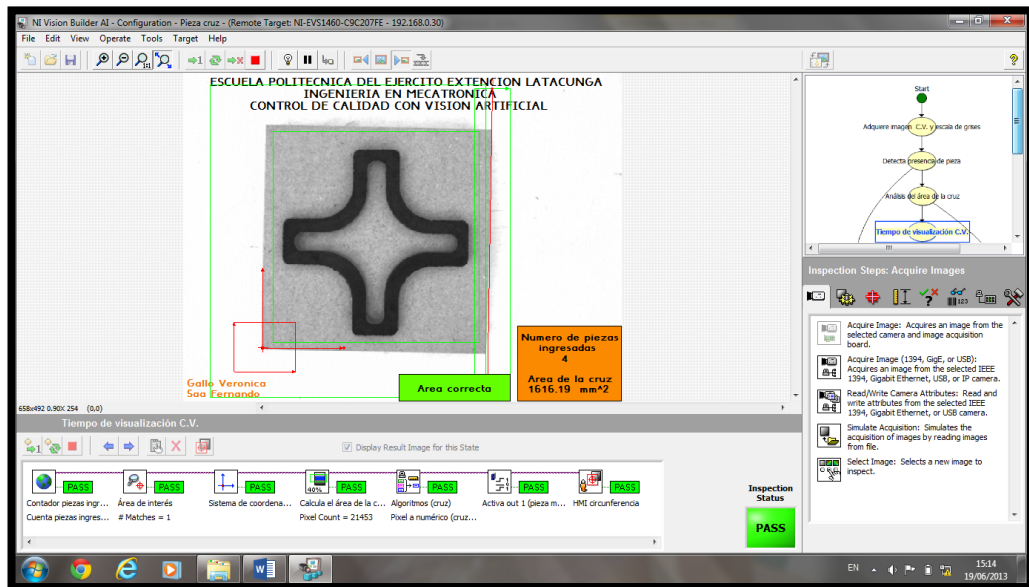


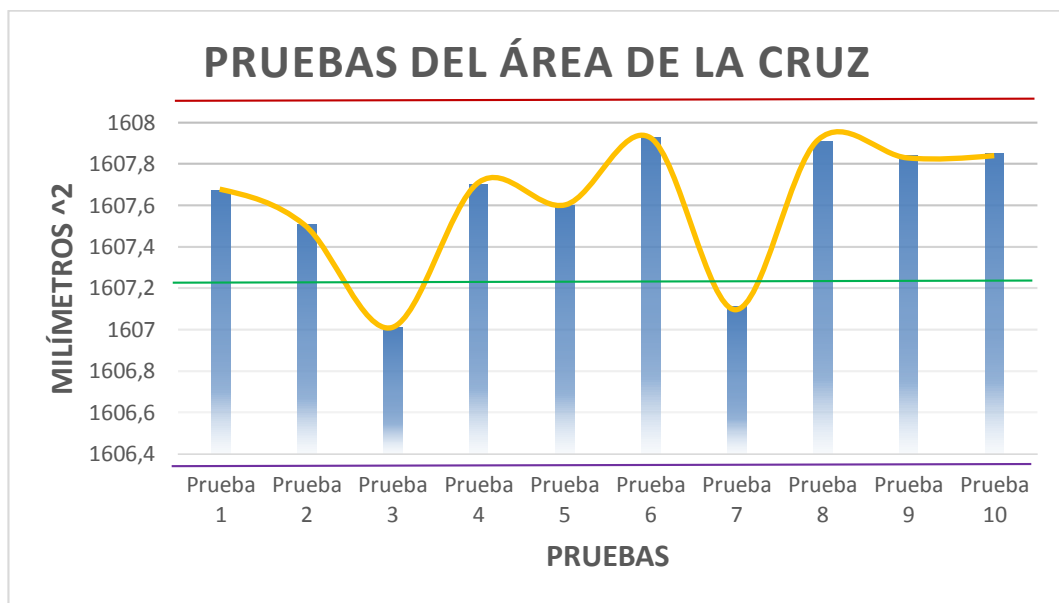
Figura 4.14: Inspección del área total de la cruz.

Para el análisis de las pruebas, se determinó el área real de la cruz con respecto a los valores que nos da el software. Para determinar el área real de la cruz se hizo mediante la ayuda de solidworks. En la Tabla 4.18 se muestra estos valores.

Tabla 4.18: Medición del área total de la cruz.

<i>Pruebas</i>	<i>Área real de la cruz (mm²)</i>	<i>Área de la cruz por software (mm²)</i>
<i>Prueba 1</i>	1,607.26	1,607.67
<i>Prueba 2</i>	1,607.26	1,607.51
<i>Prueba 3</i>	1,607.26	1,607.01
<i>Prueba 4</i>	1,607.26	1,607.70
<i>Prueba 5</i>	1,607.26	1,607.60
<i>Prueba 6</i>	1,607.26	1,607.93
<i>Prueba 7</i>	1,607.26	1,607.11
<i>Prueba 8</i>	1,607.26	1,607.91
<i>Prueba 9</i>	1,607.26	1,607.84
<i>Prueba 10</i>	1,607.26	1,607.85

Los resultados se observan en la Figura 4.15, donde se visualiza una pequeña variación de los datos dados por el software pero que se encuentran dentro del rango determinando que el área de la cruz es correcta y cumple con la condición para que la pieza sea determinada como buena.



- Polígono de frecuencia —
- Valor real del área de la cruz ($1607,26\text{mm}^2$). —
- Valor máximo del área ($1608,26\text{mm}^2$) establecido por software. —
- Valor mínimo del área ($1606,26\text{mm}^2$) establecido por software. —

Figura 4.15: Pruebas del área total de la cruz.

Otro de los parámetros analizados en la pieza cruz (Figura 4.16), tiene que ver con la altura real comparada con los valores del software, estos datos se indican en la Tabla 4.19.

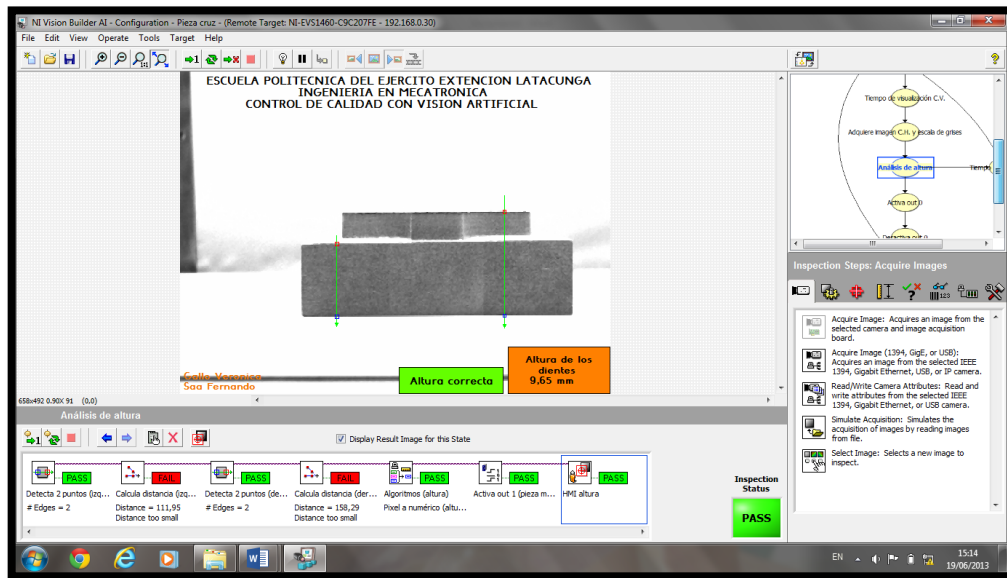
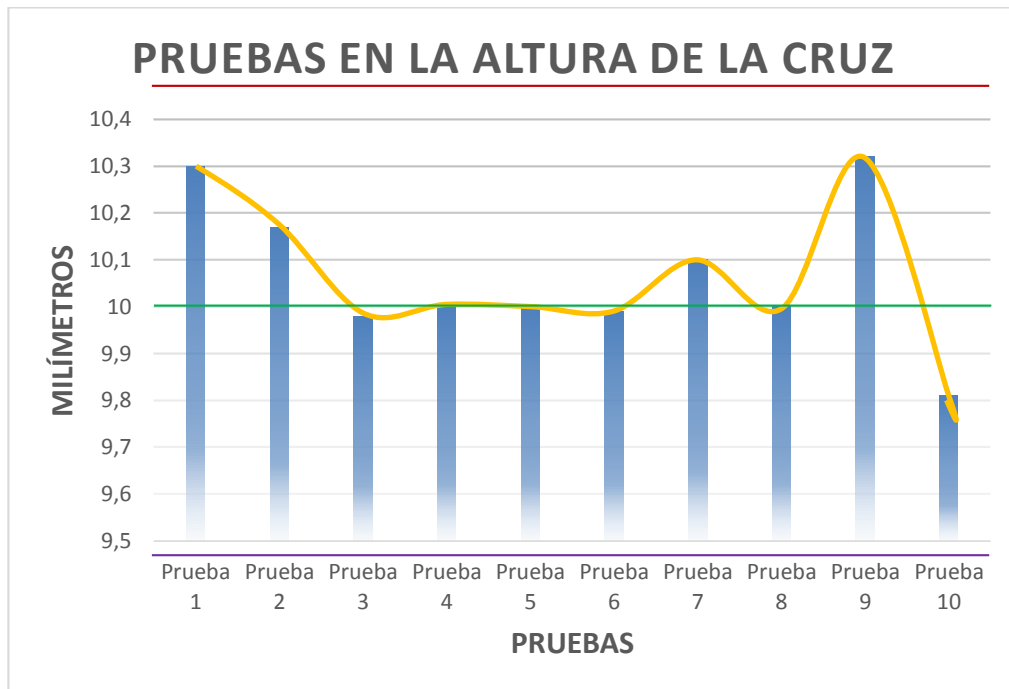


Figura 4.16: Inspección de la altura de la cruz.

Tabla 4.19: Medición de la altura.

<i>Pruebas</i>	<i>Altura real de la cruz (mm)</i>	<i>Altura de la cruz por software (mm)</i>
<i>Prueba 1</i>	10	10.3
<i>Prueba 2</i>	10	10.17
<i>Prueba 3</i>	10	9.98
<i>Prueba 4</i>	10	10
<i>Prueba 5</i>	10	10.00
<i>Prueba 6</i>	10	9.99
<i>Prueba 7</i>	10	10.1
<i>Prueba 8</i>	10	10.00
<i>Prueba 9</i>	10	10.32
<i>Prueba 10</i>	10	9.81

Los resultados se observan en la Figura 4.17, donde se visualiza los datos obtenidos en las pruebas con una pequeña variación determinada por el software. Los datos al estar dentro de rango de tolerancia se acuerdan definir como pieza buena.



- Polígono de frecuencia —
- Valor real de la altura de la cruz (10mm). —
- Valor máximo de la altura (11mm) establecido por software. —
- Valor mínimo de la altura (9mm) establecido por software. —

Figura 4.17: Pruebas en la altura de la cruz.

Pieza Perforada.

En la Figura 4.18 se observa la pieza con orificios, inspeccionada por el software Vision Builder, donde se analiza el número de orificios y los diámetros de la circunferencia.

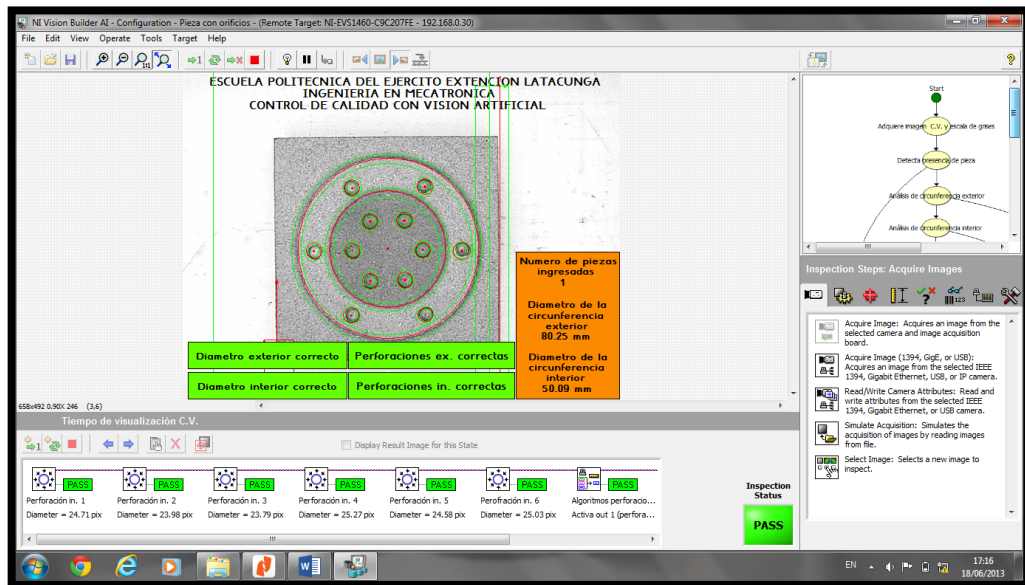


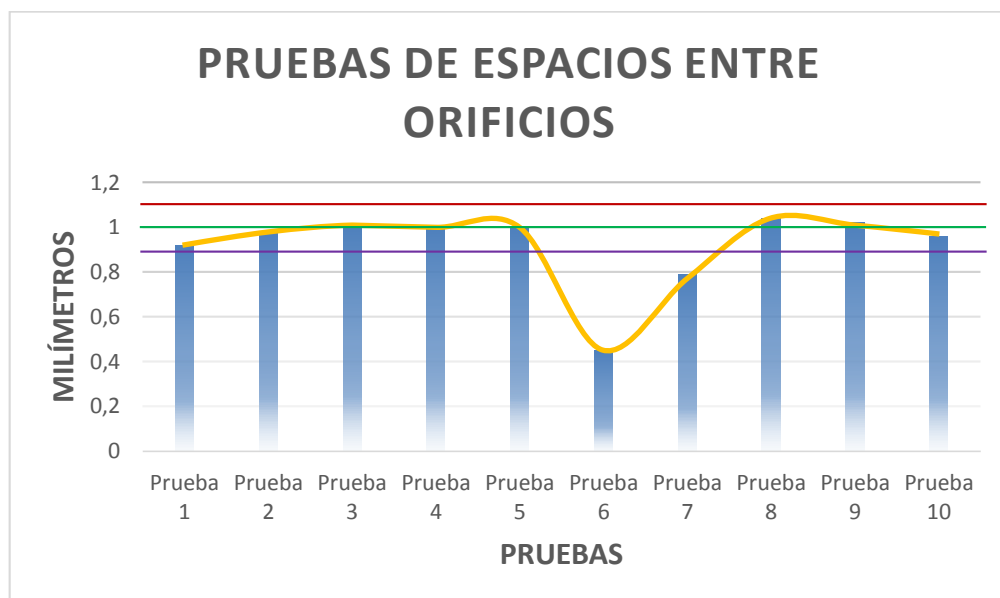
Figura 4.18: Inspección del número de orificios y diámetros.

El primer parámetro que se analizó con la pieza perforada, fue determinar el espacio mínimo que debe tener entre los orificios, esto se realizó mediante la comparación de la distancia real entre orificios con respecto a los valores dados por el software.

Tabla 4.20: Medición entre orificios.

<i>Pruebas</i>	<i>Distancia real entre orificios (mm)</i>	<i>Distancia entre orificios por software (mm)</i>
<i>Prueba 1</i>	1	0.92
<i>Prueba 2</i>	1	0.98
<i>Prueba 3</i>	1	1.01
<i>Prueba 4</i>	1	1.00
<i>Prueba 5</i>	1	1.00
<i>Prueba 6</i>	1	0.45
<i>Prueba 7</i>	1	0.79
<i>Prueba 8</i>	1	1.04
<i>Prueba 9</i>	1	1.02
<i>Prueba 10</i>	1	0.96

Como resultado se obtuvo una pequeña variación en los datos dados por el software, pero al estar dentro del rango de tolerancia los datos se determinan como correctos. En las pruebas 6 y 7, se observa que los valores están fuera del rango debido a que existe una variación de luz en el área de inspección, lo que determina que el espacio entre los orificios es demasiado pequeña (Figura 4.19).



- Polígono de frecuencia —
- Valor real de la distancia entre orificios (1mm). —
- Valor máximo de la distancia (1.1mm) establecido por software. —
- Valor mínimo de la distancia (0.9mm) establecido por software. —

Figura 4.19: Pruebas de espacio entre orificios.

El segundo aspecto que se tomó en cuenta para el control de calidad de la pieza perforada fue la determinación de las dimensiones de los diámetros reales tanto externo como interno con respecto a los valores que nos da el software. En la Tabla 4.21.y Tabla 4.22 se indican estos datos.

Tabla 4.21: Medición del diámetro externo de la circunferencia.

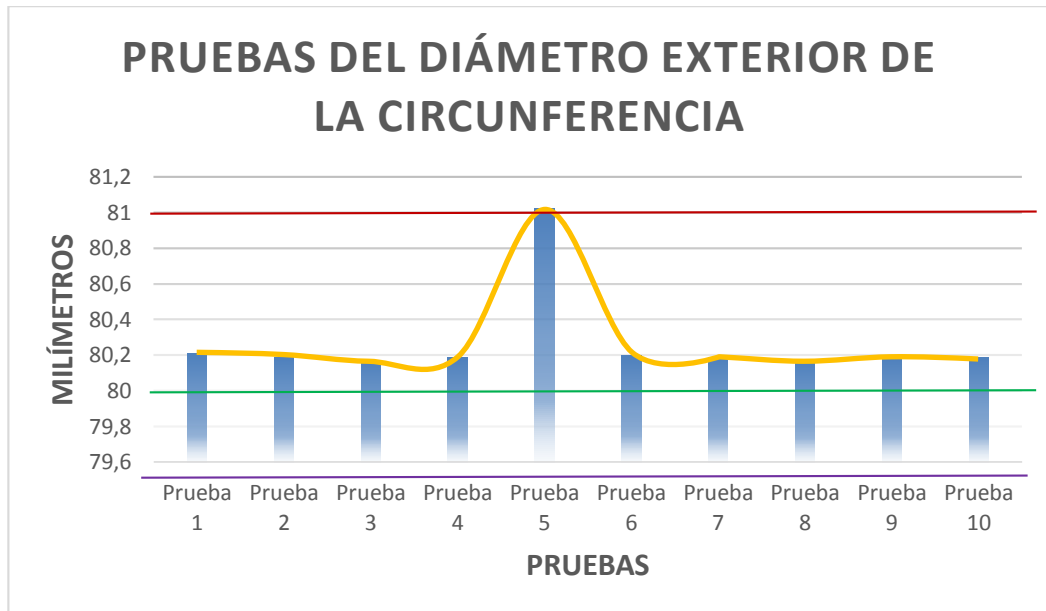
<i>Pruebas</i>	<i>Diámetro real de la circunferencia externa (mm)</i>	<i>Diámetro por software de la circunferencia externa (mm)</i>
<i>Prueba 1</i>	80	80.21
<i>Prueba 2</i>	80	80.19
<i>Prueba 3</i>	80	80.17
<i>Prueba 4</i>	80	80.19
<i>Prueba 5</i>	80	81.02
<i>Prueba 6</i>	80	80.20
<i>Prueba 7</i>	80	80.19
<i>Prueba 8</i>	80	80.17
<i>Prueba 9</i>	80	80.19
<i>Prueba 10</i>	80	80.19

Tabla 4.22: Medición del diámetro interno de la circunferencia.

<i>Pruebas</i>	<i>Diámetro real de la circunferencia interna (mm)</i>	<i>Diámetro por software de la circunferencia interna (mm)</i>
<i>Prueba 1</i>	50	50.11
<i>Prueba 2</i>	50	50.02
<i>Prueba 3</i>	50	50.15
<i>Prueba 4</i>	50	50.07
<i>Prueba 5</i>	50	50.11
<i>Prueba 6</i>	50	50.20
<i>Prueba 7</i>	50	50.13
<i>Prueba 8</i>	50	50.08
<i>Prueba 9</i>	50	50.21
<i>Prueba 10</i>	50	50.09

Como resultado se obtuvo una pequeña variación en milésimas de los datos dados por el software, tanto del diámetro exterior como interior de la circunferencia que son determinados como correctos por estar dentro del rango de tolerancia. En la prueba 5 la medición del diámetro exterior tiene

un valor fuera del rango, lo que determina que el diámetro es incorrecto determinando una pieza mala (Figura 4.20). Mientras que en las pruebas del diámetro interior vemos que todas las pruebas pasan el rango, determinando que los diámetros son correctos (Figura 4.21).



Polígono de frecuencia



Valor real del diámetro de la circunferencia (80mm).



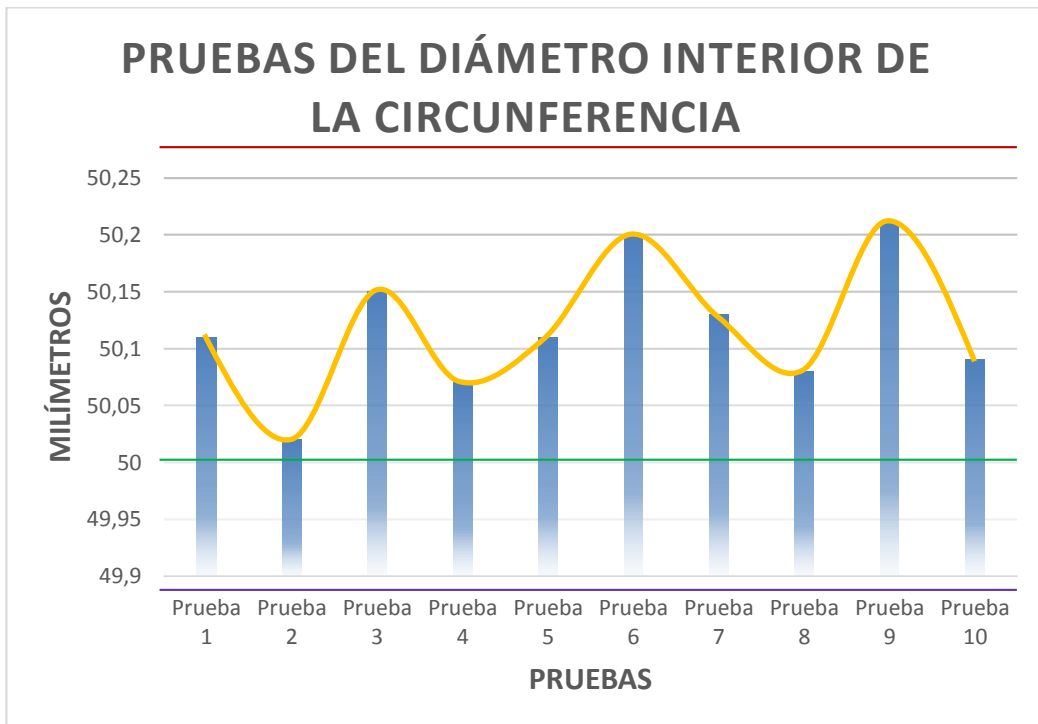
Valor máximo del diámetro (81mm) establecido por software.



Valor mínimo del diámetro (79mm) establecido por software.



Figura 4.20: Pruebas del diámetro exterior de la circunferencia.



Polígono de frecuencia



Valor real del diámetro interior de la circunferencia (50mm).



Valor máximo del diámetro interior (51mm) establecido por software.



Valor mínimo del diámetro interior (49mm) establecido por software.



Figura 4.21: Pruebas del diámetro interior de la circunferencia.

Por último se realizó las pruebas de la altura superior e inferior de la pieza con orificios (Figura 4.22) y se comparó los valores reales con los que determina el software. La Tabla 4.23, indica los valores de la altura superior de la pieza tanto real como la dada por software y la Tabla 4.24, muestra los valores de la altura inferior.



Figura 4.22: Inspección del número de orificios y diámetros.

Tabla 4.23: Medición de la altura superior.

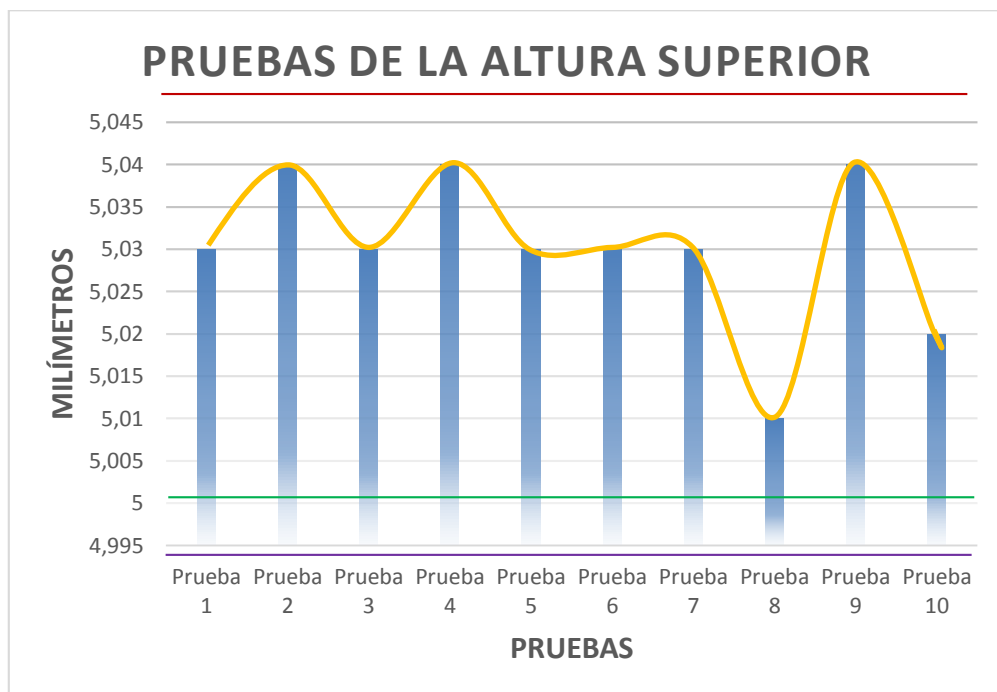
Pruebas	Altura superior real (mm)	Altura superior por software (mm)
Prueba 1	5	5.03
Prueba 2	5	5.04
Prueba 3	5	5.03
Prueba 4	5	5.04
Prueba 5	5	5.03
Prueba 6	5	5.03
Prueba 7	5	5.03
Prueba 8	5	5.01
Prueba 9	5	5.04
Prueba 10	5	5.02

Tabla 4.24: Medición de la altura inferior.

Pruebas	Altura inferior real (mm)	Altura inferior por software (mm)
Prueba 1	5	5.42
Prueba 2	5	5.42

<i>Prueba 3</i>	5	5.40
<i>Prueba 4</i>	5	5.42
<i>Prueba 5</i>	5	5.44
<i>Prueba 6</i>	5	5.41
<i>Prueba 7</i>	5	5.42
<i>Prueba 8</i>	5	5.44
<i>Prueba 9</i>	5	5.43
<i>Prueba 10</i>	5	5.44

Los resultados dados por el software están dentro del rango, por lo tanto la altura superior e inferior determinan que existe la presencia de una pieza buena (Figura 4.23 y Figura 4.24).



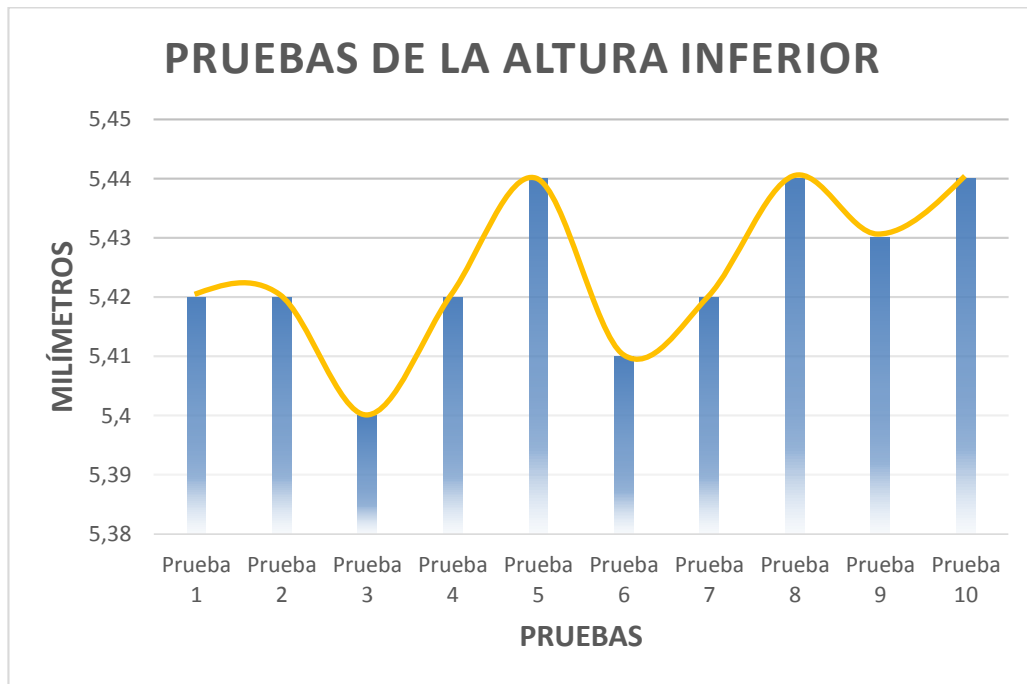
Polígono de frecuencia

Valor real de la altura superior (5mm).

Valor máximo de la altura superior (6mm) establecido por software.

Valor mínimo de la altura superior (4mm) establecido por software.

Figura 4.23: Pruebas de la altura superior.



Polígono de frecuencia

Valor real de la altura inferior (5mm).

Valor máximo de la altura inferior (6mm) establecido por software.

Valor mínimo de la altura inferior (4mm) establecido por software.

Figura 4.24: Pruebas de la altura inferior.

4.5 RESULTADOS DE LA CELDA DE MANUFACTURA.

Para entrar al análisis de resultados se ha basado en tres pruebas, donde se pondrá en funcionamiento a la celda de manufactura para que realice el control de calidad de las piezas mecanizadas en este proyecto.

4.5.1 RESULTADOS DE LAS PIEZAS MECANIZADAS.

Se procede a ubicar el pedazo de materia prima en la estación de distribución para que empiece el proceso de la celda de manufactura, este pedazo de materia prima deberá pasar por las distintas estaciones hasta obtener el producto terminado que determinara si es un producto de buena

calidad y cumple con los parámetros previamente establecidos o por el contrario tenemos la presencia de un producto defectuoso.

Al realizar el proceso de mecanizado y el control de calidad de forma manual, el operario gastara mucho tiempo en la elaboración de una sola pieza y correrá el riesgo de no cumplir con las dimensiones establecidas en el diseño debido a la falta de precisión. El control de calidad que deberá hacer en la pieza solo se lo podrá realizar a través de un instrumento de medida como un flexómetro o un calibrador, lo cual permitirá determinar si las medidas son las adecuadas. Mientras que si todo este proceso se lo realiza de forma automatizada se gana en tiempo de producción del producto y el control de calidad se lo realiza de una forma más efectiva y con una gran precisión en los parámetros de diseño (Figura 4.25). Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 4.25 y Figura 4.26.



Figura 4.25: Mecanizado manual vs mecanizado automático.

Tabla 4.25: Prueba de tiempo y control de calidad.

Piezas mecanizadas	Proceso de forma manual		Proceso de forma automatizada	
	<i>Tiempo producción (minutos)</i>	<i>Control de calidad</i>	<i>Tiempo de producción (minutos)</i>	<i>Control de calidad</i>

<i>Pieza dentada</i>	300	Bueno	50	Muy bueno
<i>Pieza cruz</i>	360	Regular	70	Muy bueno
<i>Pieza con orificios</i>	180	Bueno	30	Muy bueno

Dependiendo de la complejidad de la pieza los tiempos de producción de forma manual y automatizada pueden ser mayores, pero al realizar el proceso de forma automática siempre se ganara en tiempo de producción.

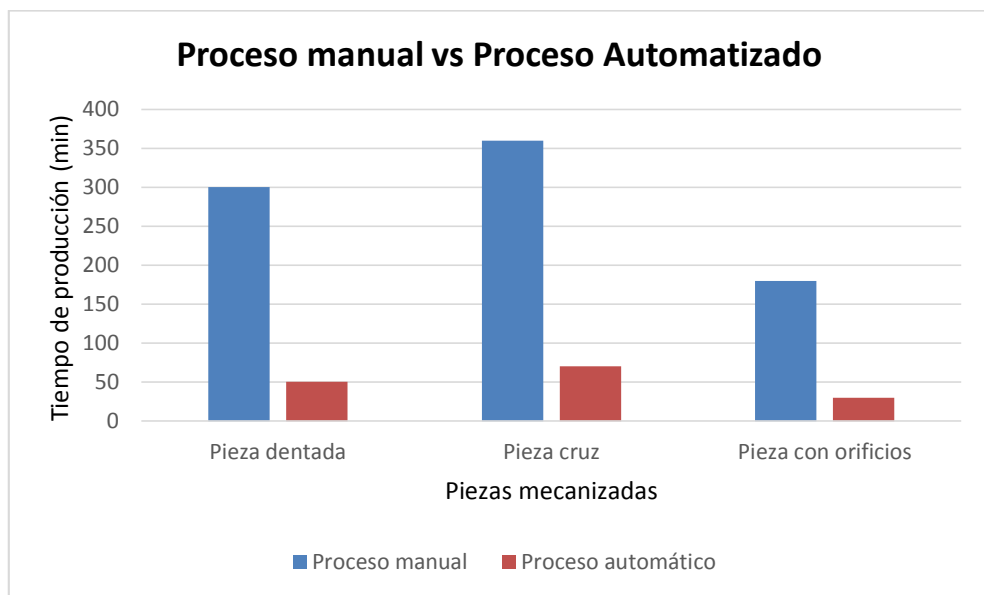


Figura 4.26: Tiempo de producción en piezas mecanizadas.

4.5.2 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada para el proyecto es:

¿El diseño e implementación de una celda de manufactura totalmente automatizada, permitirá realizar el control de calidad de un producto a través de visión artificial, en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L?

De dicha hipótesis se obtienen las siguientes variables:

Variable independiente:

- ✓ Diseño e Implementación de una Celda de Manufactura totalmente automatizada.

Variable dependiente:

- ✓ Control de calidad.

Se desea analizar si los resultados de las pruebas realizadas en el control de calidad son concluyentes o no, para lo cual se aplica una prueba de hipótesis para las proporciones (Ordoñez et al., 2009).

En base a los resultados de la sección 4.3.2, con el siguiente enunciado: si los resultados indican que de 90 piezas mecanizadas, el control de calidad reconoció como pieza buena a 84; entonces se puede afirmar que al menos el 93% de las piezas pueden ser reconocidas como pieza buena.

Resumiendo:

$$n = 90 \quad \text{(Ec. 2.11)}$$

$$x = 84$$

$$p = \frac{84}{90}$$

$$p_0 = 0.93 = 93\%$$

Si se asume una confiabilidad del 95 por ciento, el valor correspondiente a Z en la distribución normal es -1.64.

$$\alpha = 0.05 \Rightarrow z = -1.645$$

Hipótesis: $H_0 = p > p_0$

$H_1 = p < p_0$

$$z_0 = \frac{\frac{x}{n} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}} \quad (\text{Ec. 2.12})$$
$$z_0 = \frac{\frac{84}{90} - 0.93}{\sqrt{\frac{0.93(1 - 0.93)}{90}}}$$
$$z_0 = -0.9395172425$$

=> “No hay razón para rechazar la hipótesis H_0 ”

Por consiguiente, con una confiabilidad del 95 por ciento se concluye que al menos el 93% de las piezas mecanizadas pueden ser detectadas como buenas a través del control de calidad.

4.5.3 ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS.

a. Factibilidad del proyecto.

La factibilidad del proyecto dependerá del estudio y análisis de los siguientes parámetros expuestos a continuación.

a.1 Inversión inicial del proyecto.

Para el análisis de la inversión necesaria de la implementación del proyecto será necesario realizar un análisis de los insumos utilizados en el diseño e implementación de la celda de manufactura con control de calidad.

En la Tabla 4.26 se indica el equipo y material proporcionado por el laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L.

Tabla 4.26: Equipo del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga.

<i>Ítem</i>	<i>Especificación</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>	<i>Valor</i>
1	CNC ExpertMill Fresadora	1	\$ 24,000.00	\$ 24,000.00
2	Brazo Robótico KUKA KR16	1	\$ 45,000.00	\$ 45,000.00
3	Banda transportadora Techdesign	2	\$ 8,095.00	\$ 16,190.00
4	Equipo de procesamiento de imágenes National Instruments	1	\$ 8,948.00	\$ 10,125.00
5	Pantalla Touchwin	1	\$ 725.00	\$ 725.00
6	PC de escritorio	1	\$ 1,134.00	\$ 1,134.00
7	Monitor	1	\$ 120.00	\$ 120.00
			Total:	\$ 97,294.00

En la Tabla 4.27 se indica el equipo y material proporcionado por los estudiantes encargados del proyecto.

Tabla 4.27: Equipo y material proporcionado por los estudiantes.

<i>Ítem</i>	<i>Especificación</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>	<i>Valor</i>
1	Fabricación del módulo de control de calidad	1	\$ 200.00	\$ 200.00
2	Estructura de cámaras	1	\$ 250.00	\$ 250.00
3	Construcción del distribuidor de materia prima	1	\$ 180.00	\$ 180.00
4	Relés de 24dc con base.	15	\$ 10.00	\$ 150.00
5	Canaleta y riel DIN.	1	\$ 15.00	\$ 15.00
6	Rollo de cable N.-16 (100 m)	3	\$ 30.00	\$ 90.00

7	Fuente variable de voltaje	1	\$ 35.00	\$ 35.00
8	Swich Gigabit	1	\$ 80.00	\$ 80.00
9	Adaptadores neumáticos con manguera	3	\$ 14.00	\$ 42.00
10	Cable UTP con RJ-45 (1 m)	40	\$ 1.00	\$ 40.00
11	Terminales y marquillas	15	\$ 1.00	\$ 15.00
12	Tornillos y pernos	100	\$ 0.145	\$ 14.50
13	Selector ON/OFF, fusible y breaker	1	\$ 14.18	\$ 14.18
14	Borneras, contactos y tapas	1	\$ 30.00	\$ 30.00
15	Cables de potencia para cámaras	2	\$ 3.00	\$ 6.00
16	Espiral grande	2	\$ 8.00	\$ 16.00
17	Materia prima para el mecanizado	1	\$ 150.00	\$ 150.00
18	Lámparas fluorescentes	4	\$ 4.00	\$ 16.00
			Total:	\$ 1,343.68

a.2 Análisis Técnico-Económico.

La celda de manufactura ha cumplido un pleno funcionamiento desde su implementación, haciendo rentable su incorporación dentro de la línea de producción de procesos de manufactura, por lo cual se hace necesario cuantificar su valor económico para identificar la inversión realizada por la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga y los estudiantes encargados del proyecto.

Con todos los costos mencionados anteriormente, se tiene que para el proyecto se realizó una inversión total de **98,637.68 USD**.

En la Figura 4.27, se indica una celda de manufactura que se encuentra en el mercado con características similares a la implementada en el

laboratorio, cotizada en **448,987.00 USD**. Si se realiza una comparación de estos valores y se determina el valor de la celda de manufactura que se encuentra en el mercado como el valor del 100%, se obtiene como resultado que el proyecto realizado por los estudiantes encargados del mismo, permite un ahorro de **350,349.32 USD**, de este valor se saca el porcentaje de ahorro del 78.03% que se logró al implementar la celda de manufactura dentro del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L.



SUBTOTAL DOLARES AMERICANOS	400.881,25
MAS 12 % IVA	48.105,75
TOTAL DOLARES AMERICANOS	448.987,00

* MONEDA DE TRANSACCION DÓLAR AMERICANO
 * FORMA DE PAGO: 60 % DE ANTICIPO SALDO CONTRA ENTREGA
 * VALIDEZ DE LA OFERTA 30 DIAS CALENDARIO
 * GARANTIA DE DOS AÑOS CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION
 * GARANTIA DE PROVISION DE REPUESTOS: GARANTIZADO AL MENOS POR 5 AÑOS
 * ENTREGA DE LOS BIENES: 12 SEMANAS A PARTIR DE LA ENTREGA DEL ANTICIPO

Atentamente

Ing. Tito Ortiz
 GERENTE GENERAL

Figura 4.27: Precio de una celda de manufactura.

Por lo tanto, la implementación de la celda de manufactura con control de calidad puede ser realizada a nivel industrial.

4.6 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CELDA DE MANUFACTURA.

El manual de operación para la celda de manufactura se presenta en el Anexo R.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.7 CONCLUSIONES.

- Se diseñó e implementó una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L de forma eficiente, cumpliendo con los requerimientos básicos de Flexibilidad, Reconfigurabilidad y Tolerancia a Fallas.
- Se desarrolló el programa para los movimientos del brazo robótico KUKA KR 16 en modo experto, permitiendo introducir sentencias de control y manejo de entradas y salidas del módulo WAGO, las cuales se encuentran conectadas con las E/S de los PLC's de las bandas transportadoras, ejecutándose el control de movimientos sincrónicos de las bandas transportadoras con el brazo robótico industrial.
- Se creó la supervisión del proceso de la celda de manufactura a través de un HMI (Interfaz Humano Máquina) con la ayuda de una pantalla touch, en donde se puede controlar las velocidades de las bandas, monitoreo del proceso a través de luces indicadoras y llevar un registro de las piezas que han sido mecanizadas y que han pasado el control de calidad a través de contadores.
- Se diseñó el programa para el control de calidad del producto, a través de las herramientas proporcionadas por el software Vision Builder y se configuró los parámetros de intensidad y zoom de la cámara vertical y horizontal por medio del software Measurement & Automation (MAX).

- Se desarrolló un sistema HMI para el control de calidad del producto, a través de una PC que indica el funcionamiento interno del EVS, los pasos y secuencias que se sigue para generar un control de calidad de la pieza satisfactorio para el operario.
- Se realizó el control de calidad de la pieza tanto de la parte superior como lateral, estableciendo los parámetros definidos de forma y tamaño, a través de comandos propios del software que trabajan comparando los patrones que se establecen para determinar si la pieza cumple con las especificaciones determinadas por el fabricante.
- Se realizó el control de calidad en tiempo real, de piezas que no necesitan de un alto grado de precisión, sino que pueden tener un margen de error de 1 mm, a través del Sistema Embebido de Visión (EVS), logrando una eficiencia del 93%.
- Se determinó que la repetibilidad de 0.0127mm del centro de mecanizado ExperMill VM 600 se encuentra dentro del rango de tolerancia de 1 mm establecido para el control de calidad de las piezas, lo que ocasiona que si una pieza tiene un error de este valor será determinada como correcta por estar dentro de los parámetros del control, por lo tanto si se necesita que las dimensiones del producto tenga un margen de error mínimo, el control de calidad que se realizó no podrá satisfacer las necesidades del operario.
- Se concluyó que el control de calidad realizado por medio de las cámaras y procesado por el EVS, no puede ser aplicado en piezas donde su margen de error sea de ± 1 mm; según el documento de la empresa VMT

PEPPERL FUCHS¹⁷, indica que para reducir el margen de error del control de calidad se debe utilizar la técnica de medición por láser, puesto que ésta ayuda a reducir el error a un $\pm 0.3\text{mm}$.

- Se configuró cinco estaciones de trabajo, las cuales son: distribución, mecanizado, transporte, control de calidad y la de clasificación y almacenamiento, las mismas que cumplen con su función específica para lograr el correcto funcionamiento de la celda de manufactura.
- Se logró crear un alto grado de automatización al incorporar el brazo robótico industrial, las bandas transportadoras, el mini centro de mecanizado (CNC), el sistema de control de calidad y el distribuidor de materia prima, a través de la realización de una red de comunicación para disponer información de todos los equipos que forman parte de la celda de manufactura.
- Se determinó que al realizar el proceso de mecanizado y control de calidad del producto de manera automática, se gana en tiempo de producción y el control de calidad se lo realiza de forma más efectiva.
- Se diseñó e implemento la celda de manufactura con control de calidad de una manera entendible y fácil, con el fin de que sirva como base de diseño para la selección e implementación de celdas semejantes.
- La celda de manufactura con control de calidad construida por una inversión de **98,637.68 USD**, representa un ahorro considerable con respecto a las celdas de manufactura que se pueden encontrar en el mercado de características similares que oscilan sobre los 448,987.00 USD.

¹⁷ Pepperl-Fuchs España, (2013). *Sistemas de visión artificial y medición por láser*. Extraído el 8 de agosto del 2013 desde <http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/index.htm>

- El principal beneficiario del proyecto es la industria manufacturera, donde es habitual la repetición de tareas, la fabricación en serie de piezas y maquinaria; lo que obliga a realizar todas exactamente iguales.
- La inversión económica que conlleva crear una celda de manufactura de este tipo es muy costosa, pero a corto tiempo es reembolsable.

4.8 RECOMENDACIONES.

- Es necesario fijar los equipos al piso, para que los movimientos del brazo robótico coincidan con los programados; especialmente en el mini centro de mecanizado ya que al colocar la materia prima puede ocasionar colisiones.
- El control de calidad de las piezas debe realizarse en materiales donde no exista niveles de brillo en las superficies, que dificulten el procesamiento digital de imágenes. Se realizaron pruebas con el aluminio y se determinó que existe un nivel de brillo intenso que impide un control de calidad de la pieza.
- Se recomienda usar una computadora con similares características o versiones superiores a las siguientes: procesador Intel ® Core (TM) i3 CPU, memoria RAM de 4 GB, capacidad del disco duro 287 GB y tarjeta de red Ethernet de 1000 Mbps, con el fin de visualizar en el computador lo que ocurre con el procesamiento de imágenes dentro del EVS en tiempo real.
- Para el mecanizado de las piezas en el mini centro de mecanizado ExperMill VM-600, se recomienda mejorar el sistema de sujeción debido a que el actual no permite sujetar bien la pieza y al momento de

mecanizar tiende a moverse provocando que la pieza salga defectuosa en cuestión de 1 a 2 mm.

- Para un control de calidad eficiente en donde no exista problemas de iluminación de luz por el ambiente de trabajo, se recomienda cubrir el espacio destinado para el proceso en su totalidad así se evitará cambios de intensidad que afecten el control de calidad de las piezas.
- Para realizar el control de calidad de piezas que necesitan de un alto rango de precisión, se recomienda usar la técnica de medición por láser, ya que esta permite un análisis profundo de la superficie a ser inspeccionada y elimina los porcentajes de error a un $\pm 0.3\text{mm}$.
- Para disminuir los posibles errores que puede presentar una pieza mecanizada en sus dimensiones, se recomienda la posibilidad de bajar el rango de tolerancia determinado para el control de calidad, de acuerdo al valor de repetibilidad que posea el centro de mecanizado, se puede lograr una mejor precisión en el análisis de sus parámetros.
- Se puede mejorar el tiempo de trabajo en la celda, incrementando la velocidad con la que el brazo robótico se desplaza y manipula los objetos, para que este punto sea posible de alcanzar se deben estudiar las partes del proceso donde la manipulación del material no es crítica y en el desarrollo de la programación se recomienda asegurar que el robot ejecute la siguiente instrucción al haber finalizado totalmente la instrucción anterior.
- Para que la celda de manufactura pueda funcionar sin ninguna avería, es necesario que se realice mantenimientos continuos de los equipos utilizando los repuestos necesarios de acuerdo a las especificaciones

técnicas y así se pueda prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.

- Para cumplir con todo el proceso de la celda de manufactura se recomienda plantear como tema de tesis la automatización de la estación de clasificación y almacenamiento, ya que en este proyecto solo se designó un espacio para este fin.
- Es importante la capacitación a los usuarios de la celda de manufactura para que no existan problemas al momento de su funcionamiento, para ello el presente proyecto proporciona la debida documentación por medio de un manual de usuario con esto se asegura que el estudiante tenga las herramientas necesarias para poder trabajar con la celda.
- Se debe considerar todas las medidas de seguridad dentro de la celda de manufactura como las normas de seguridad industrial para toda actividad que se realice dentro de la celda, así evitaríamos daños con el personal y con los equipos.
- Como el presente proyecto servirá como técnica de enseñanza para los alumnos de la ESPE-L se recomienda que se cambie el mini centro de mecanizado ExperMILL VM 600, por otro centro de mecanizado con mayores prestaciones, es decir mayor número de entradas y salidas para poder controlar procesos más grandes si fuera el caso y con un mejor rango de exactitud y repetibilidad para poder mecanizar piezas más grandes y complejas.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo J., López S., Pérez E., (2005). *Autómatas Programables. Entorno y Aplicaciones*. (Ed. International Thomson Editores Spain Paraninfo S.A). (pp. 36-55). Madrid, España.

Almeida N., Naranjo J., (2008). *Diseño e Implementación de una Celda de Manufactura para el Sistema Robótico CRS A255 del Laboratorio de Robótica de la Escuela Politécnica del Ejército*. Tesis de grado publicada del Departamento de Eléctrica y Electrónica. ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control. Sangolquí. Ecuador.

Basler AG, (2012). *Cámaras Industriales scA640 – 70gc*. Extraído el 15 de junio del 2012 desde <http://www.baslerweb.com/products/scouthtml?model=105>

Chacón M., (2007). *Procesamiento Digital de Imágenes*. (Ed. Trillas S.A. de C.V.). (pp. 8-35). México, D.F.

Computar, (2013). *Computar M0814-MP2*. Extraído el 16 de mayo del 2013 desde http://computarganz.com/product_view.cfm?product_id=552

De la Cruz J., (2002). *Visión por Computador. Imágenes digitales y aplicaciones*. (Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.). (pp. 65-587). México.

De la Fuente R., (2005, enero 19). *Miniproyecto Automatización Industrial (AUTI)*. Extraído el 28 de noviembre del 2012 desde <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012628/4060434.pdf>

- Disensa Electrocables CA., (2012). *CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS*. Extraído el 13 de octubre del 2012 desde http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf
- Domingo A., (1994). *Tratamiento digital de imágenes*. (Ed. Anaya multimedia). (pp. 25-27). Zaragoza, España.
- Faires V., (1982). *Diseño de Elementos de Máquinas*. (Ed. Montaner y Simón S.A.) (p. 438). México, D.F.
- Fundación Wikimedia, (2012, junio 12). *Actuador*. Extraído el 10 de agosto del 2012 desde <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- Fundación Wikimedia, (2013, marzo 19). *Cable de categoría 6*. Extraído el 9 de abril del 2012 desde http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_categoria_6
- García I., (2008). *Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab*. (Ed. Almeida). (pp. 35-40). Ibarra, Ecuador.
- GSK, (2009). *User Manual GSK DA98B AC Servo Drive unit*.
- Hernández M., (2004, febrero 20). *Robótica Industrial*. Extraído el 21 de julio del 2012 desde <http://isa.umh.es/asignaturas/rvc/tema1.pdf>
- Intelitek, (2008). *eXpertMill VMC - 600*. Extraído el 05 de diciembre del 2012 desde http://www.intelitek.com/ProductDetails.asp?Product_ID=5&CategoryID=2&Industrial=&Education=yes&category_str_id=
- Jarren M., Mantilla M., (2011, febrero 4). *Tema5a Fig OK*. Extraído el 10 de agosto del 2012 desde <http://ocw.usal.es/eduCommons>

[/enseñanzastecnicas/instrumentacion/contenido/Instrumentacion_Tema5a.pdf](#)

KUKA Robotics., (2012). *KUKA*. Extraído el 21 de julio del 2012 desde http://www.kukarobotics.com/spain/es/products/industrial_robots/lw/kr162/

Lajara J., Pelegrí J., (2007). *LabVIEW. Entorno grafico de programación*. (Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.). (pp. 37-63). Barcelona, España.

Lorenzo G., (2009, abril 15). *Celdas de Manufactura*. Extraído el 21 de julio del 2012 desde <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r69354.PDF>

Montanero A., (1990). *Autómatas Programables. Fundamento, manejo, instalación y prácticas*. (Ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.). (pp. 10-28). Madrid, España.

National Instruments, (2010, julio 10). *¿Cuál es el tiempo real de NI Embedded Vision System?*. Extraído el 25 de junio del 2012 desde <http://www.ni.com/white-paper/8188/en>

Ordoñez M., (2003). *AC servo motors*. Extraído el 22 de julio del 2012 desde http://www.electricmotors.machinedesign.com/guiEdits/Content/bdeee4a/bdeee4a_3.aspx

Ospina J., (2002, marzo 15). *El Control Numérico Computarizado en el Desarrollo Industrial*. Extraído el 22 de mayo del 2012 desde <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/>

[FFlexible/EL_CONTROL_NUMERICO_COMPUTARIZADO_EN_EL_DESARROLLO_INDUSTRIAL.pdf](#)

Padilla K., Reyes R., (2006, abril). *Automatización e implementación de un sistema HMI/ SCADA para el enclavamiento y seguridades del molino de papel 5 de la planta de productos Familia Sancela del Ecuador S.A.* Tesis de grado publicada del Departamento de Eléctrica y Electrónica. ESPEL. Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación. Latacunga. Ecuador.

Pepperl-Fuchs España, (2013). *Sistemas de visión artificial y medición por láser*. Extraído el 8 de agosto del 2013 desde <http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/index.htm>

Robótica España, (2000, febrero 22). *Robótica Industrial-Criterios de Implementación*. Extraído el 28 de noviembre del 2012 desde <http://isa.umh.es/asignaturas/crssi/capitulo9.pdf>

Sinchiguano F., (2003). *Diseño e implementación de un sistema HMI/SCADA para la adquisición, monitoreo y almacenamiento de las señales de la máquina papelera MP2 de la Empresa Productos Familia Sancela del Ecuador*. Tesis de grado publicada del Departamento de Eléctrica y Electrónica. ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control. Sangolquí. Ecuador.

Spotts M., (1998, abril 14). *Cinta Transportadora*. Extraído el 22 de junio del 2012 desde http://es.wikipedia.org/wiki/Cinta_transportadora

Storey N., (1995). *Electrónica de los sistemas a los componentes*. (Ed. Addison-Wesley Iberoamérica, S.A.). (pp. 21-43). Estados Unidos.

Trashorras J., (2009). *EL FUSIBLE ELÉCTRICO: MANIOBRA Y PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS III*. (Ed. Creaciones COPYRIGHT) (pp. 25-40). Madrid, España.

Urrego N., (2004, junio 26). *Máquinas CNC (Computer Numerical Control)*. Extraído el 14 de julio del 2012 desde <http://www.slideshare.net/nurrego/mquinas-cnc>

Valdemar E., Zaldivar D., (2004, agosto 15). *Visión por Computador utilizando MatLAB y el Toolbox de Procesamiento Digital de Imágenes*. Extraído el 11 de agosto del 2012 desde <http://es.scribd.com/doc/23371/Procesamiento-de-imagenes-con-Matlab>

Xinje, (2011). *Manual de Programación*. Extraído el 20 de febrero del 2012 desde <http://www.xinje.com/en/index.asp>

GLOSARIO

A

Algoritmo: Es un conjunto ordenado de operaciones que permite hallar la solución a un problema. Método y notación en las distintas fórmulas de cálculo.

Automatizar: Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

C

Celda de Manufactura Flexible: Es un sistema de manufactura flexible que resulta de un nuevo enfoque de la producción y que con la aplicación de la tecnología ha creado sistemas altamente automatizados. Es una filosofía de la producción que se basa en el control efectivo del flujo de materiales a través de una red de estaciones de trabajo muy versátiles y es compatible con diferentes grados de automatización, está integrado por maquinas herramientas enlazadas mediante un sistema de manejo de materiales automatizado operado automáticamente con tecnología convencional o al menos por un CNC (Control Numérico por Computador).

Colisión: Es una situación que se produce cuando dos entradas distintas a una función de hash producen la misma salida.

D

Discretizada: Es un proceso en el que se distinguen claramente varios subprocesos, que normalmente se analizan por separado, aunque en su ejecución están estrechamente relacionados.

E

Estación: Es un conjunto de instalaciones en los que se realiza una actividad determinada.

F

Filtración: El proceso de filtrado consiste en la aplicación a cada uno de los pixels de la imagen de una matriz de filtrado de tamaño $N \times N$ (generalmente de 3×3 aunque puede ser mayor) compuesta por números enteros y que genera un nuevo valor mediante una función del valor original y los de los pixeles circundantes.

I

Interfaz: Se utiliza para nombrar a la conexión física y funcional entre dos sistemas o dispositivos de cualquier tipo dando una comunicación entre distintos niveles.

Imagen Digital: Es una representación bidimensional de una imagen a partir de una matriz numérica, frecuentemente en binario (unos y ceros).

M

Materia Prima: Es cada una de la materia que se emplea en la industria para su convección en productos elaborados.

Mecanizado: Es una técnica de implantar el uso de máquinas en cualquier actividad.

Monitoreo: Permite visualizar algo en una pantalla. Ayuda a controlar o supervisar una situación.

P

Paletizado: Es la acción y efecto de disponer mercancía sobre un palé para su almacenaje y transporte.

Pixel: Abreviación de picture element o elemento de imagen.

Precisión: Se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud.

Protocolo: Se denomina protocolo a un conjunto de normas y/o procedimientos para la transmisión de datos que ha de ser observado por los dos extremos de un proceso comunicacional (emisor y receptor). Estos protocolos “gobiernan” formatos, modos de acceso, secuencias temporales, etc.

Protocolo TCP/IP: La familia de protocolos de internet es un conjunto de protocolos de red que implementa la pila de protocolos en la que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras. En ocasiones se la denomina conjunto de protocolos TCP/IP, en referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP), que fueron los dos primeros en definirse y que son los más utilizados de la familia.

R

Red Ethernet: Es una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. El nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y refiere a las redes de área local.

S

Sistema Embebido: Es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real.

Sincronizar: Se habla de sincronización cuando determinados fenómenos que ocurren en un orden predefinido o a la vez.

ANEXOS

- Anexo A: Características técnicas del brazo robótico KUKA KR 16.**
- Anexo B: Características técnicas del mini centro de mecanizado ExpertMill VMC – 600.**
- Anexo C: Tabla de velocidades de corte de materiales.**
- Anexo D: Piezas acotadas para el control de calidad.**
- Anexo E: Características técnicas del sistema embebido de visión en tiempo real (NI EVS – 1464RT).**
- Anexo F: Especificaciones de la cámara basler scout gigabit ethernet scA640 - 70gc.**
- Anexo G: Características técnicas del lente computar FA mega pixel M0814-MP2.**
- Anexo H: Estructura metálica de las cámaras.**
- Anexo I: Módulo de sistema de visión.**
- Anexo J: Distribución del módulo de sistema de visión.**
- Anexo K: Plano de conexiones eléctricas de los componentes del módulo de sistema de visión.**
- Anexo L: Características técnicas de la touch panel TP760-T.**
- Anexo M: Led indicadores, dip switch y conectores del EVS – 1464RT.**
- Anexo N: Plano de control de la celda de manufactura.**

Anexo O: Especificaciones físicas del conductor flexible de cobre tipo TFF.

Anexo P: Líneas de programación del brazo robótico.

Anexo Q: Líneas de programación de las bandas transportadoras.

Anexo R: Manual de operación.

Anexo A	Características técnicas del brazo robótico KUKA KR 16		Hoja 1 de 2
Datos principales			
<i>Tipo de Robot</i>	KR 16		
<i>Muñeca central</i>	MC 16 (KG)		
<i>Carga útil nominal</i>	16 (kg)		
<i>Carga total máxima</i>	46 (kg)		
<i>Masa total del robot</i>	235 (kg)		
<i>Repetibilidad</i>	± 0,10mm		
<i>Posición de montaje</i>	Piso, pared o techo		
<i>Volumen de campo de trabajo</i>	KR16: 14.5 m3		
<i>Centro de gravedad de carga p</i>	La distancia horizontal del centro de gravedad de la carga p a la superficie de la brida es de 150mm, la distancia vertical del eje de giro 6 es de 120mm.		
<i>Peso</i>	KR 16: Aprox. 235 Kg.		
Características eléctricas			
<i>Sistema de accionamiento</i>	Electromecánico, con servomotores de AC con accionamiento de mando transistorizado.		
<i>Potencia de motor instalada</i>	Aprox. 8.8 Kw.		
<i>Temperatura ambiente</i>	Durante servicio: +5 °C hasta +55 °C. Rangos de temperatura: +5 °C y +10 °C, es necesario ejecutar un programa de movimiento para calentamiento.		

Anexo A	Características técnicas del brazo robótico KUKA KR 16	Hoja 2 de 2
---------	---	--------------------

Grados de libertad.

<i>Datos de los ejes KR 16</i>		
<i>Muñeca central, carga útil nominal 16 kg</i>		
<i>Eje</i>	<i>Rango de desplazamiento limitado por software</i>	<i>Velocidad con carga nominal 16 (kg)</i>
1	±185°	156 °/s
2	+35° hasta -155°	156 °/s
3	+154° hasta -130°	156 °/s
4	±350°	330 °/s
5	±130°	330 °/s
6	±350°	615 °/s

Anexo B	Características técnicas del mini centro de mecanizado ExpertMill VMC – 600.	Hoja 1 de 1
----------------	---	--------------------

Datos principales		
Capacidad	Dimensiones	
Recorrido en el eje X	304 mm	12''
Recorrido en el eje Y	152 mm	6''
Recorrido en el eje Z	241 mm	9.5''
Altura abierta	279 mm	11''
Área de trabajo	Dimensiones	
Dimensiones de la mesa	(436*127) mm	(17*5)''
Estilo VMC	3/8-16 Matrix (1'')	
Exactitud	Dimensiones	
Repetibilidad	0.0127 mm	(0.0005'')
Resolución	0.0032 mm	(0.00013'')
Estructura	Dimensiones	
Anchura	889 mm	(35'')
Profundidad	685 mm	(27'')
Altura	850 mm	(33.5'')
Peso	Dimensiones	
Centro de mecanizado	115 kg	(250 lbs)
Envió	149 kg	(325 lbs)
Fuente de poder	Dimensiones	
Int'l	220VAC(+5%-10%), 50-60 Hz, 8 ^a	
USA	110VAC(+5%-10%), 50-60 Hz, 15 ^a	
Interface		
Conexiones de PCI a PC y control del robot		
Interface robótico de 8 entradas y 8 salidas		



INFORMACIÓN TÉCNICA

Velocidades de corte (V)

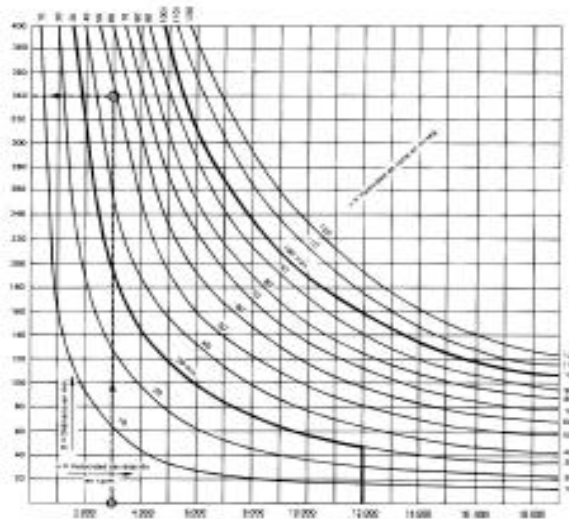
La velocidad de corte está relacionada con el diámetro de la herramienta y la velocidad de giro (r.p.m.) de la máquina. A continuación ofrecemos un gráfico que relaciona estos tres conceptos. Debemos observar las siguientes recomendaciones:

- En herramientas con avance manual, la velocidad de corte debe estar comprendida entre 40 y 70 m/s. A menor velocidad de 40 m/s aumenta mucho el retroceso con el consiguiente peligro.
- No se debe confundir la velocidad de giro máxima que viene marcada en la herramienta con la velocidad de trabajo, ya que esta señala el límite máximo por razones de seguridad.

Velocidades de corte recomendadas (m/s):

	Fresas y Cabezales		Sierras
	HSS	HM	HM
Maderas blandas	50 - 80	60 - 90	70 - 100
Maderas duras	40 - 60	50 - 80	70 - 90
Tablero aglomerado	—	60 - 80	60 - 80
M D F	—	60 - 80	60 - 80
Tablero estratificado, melaminas	—	40 - 60	60 - 80
Paneles duroplásticos	—	20 - 40	40 - 60
Aluminio puro	—	40 - 60	60 - 80
Aleaciones de Al, Mg, Cu	—	40 - 60	60 - 70

Gráfico de velocidades de corte.



Ejemplo

Determinar el diámetro de una fresa para trabajar sobre una madera dura tropical (velocidad de corte escogida 50 m/seg.). Se trabaja en una tupi a 6.000 r.p.m. Solución: 160 mm.

Anexo D

Piezas para el control de calidad

Anexo E	Características técnicas del sistema embebido de visión en tiempo real (NI EVS – 1464RT)	Hoja 1 de 2
General		
Producto	EVS-1464RT	
Familia de Productos	Vision Systems	
Formato Físico	Visión Embebida	
Número de Parte	780913-01	
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , FPGA	
Software de Visión Incluido	NI Vision Run-Time , Vision Builder AI Runtime , Visión Artificial	
Certificaciones de Productos	FCC Part 15 , ICES , UL - Product Safety , WEEE , CE , IEC , RoHS , C-Tick	
Soporte de Protocolo Industrial	TCP/IP , Modbus/TCP , RS-232 , Ethernet/IP , EtherCAT , Modbus	
Sistema de Visión		
Procesador	Intel Core Duo 1.66 GHz	
Memoria RAM del Sistema	2 GB	
Memoria de Almacenamiento No Volátil	1 GB	
Número de Puertos para Ethernet	2	
Ethernet Speed	100BaseT , 1000BaseT , 10BaseT	
Interfaz de la Cámara	GigE Vision , IEEE 1394	
Número de IEEE 1394 a/b	2	
Estándar IEEE 1394	IEEE 1394a , IEEE 1394b	
Salida de Video	DVI	

Anexo E	Características técnicas del sistema embebido de visión en tiempo real (NI EVS – 1464RT)	Hoja 2 de 2
Puerto Serial	Sí	
Tipo de Almacenamiento	USB mass storage devices (not included) , Solid-State Drive , FireWire external drives (not included) , Removable CompactFlash (not included)	
Conectividad con Cámara		
Número de Puertos GigE Vision	2	
Número de Puertos USB	4	
E/S Digital		
Número de Canales TTL Bidireccionales	13	
Número de Canales de Entrada TTL	4	
Número de Canales de Entrada Aislada	2	
Número de Canales de Salida TTL	10	
Especificaciones Físicas		
Longitud	110 mm	
Ancho	200 mm	
Altura	220 mm	
Temperatura de Operación	0 °C	
Temperatura de Operación	45 °C	

Anexo F	Especificaciones de la cámara basler scout gigabit ethernet scA640 - 70gc	Hoja 1 de 1
Resolución Horizontal / Vertical	658 píxeles x 492 píxeles	
Tamaño del píxel horizontal / vertical	7,4 micrómetros x 7,4 micrómetros	
Frecuencia de actualización	70 fps	
Mono / color	Color	
Interfaz	Gigabit Ethernet	
Formato de salida de vídeo	Mono 8 de 8 BG Bayer, Bayer BG 16, BG 12 Lleno Bayer, 4:2:2 YUV para llevar, YUV 4:2:2 (YUYV) Embalado	
Profundidad de bits píxeles	12 bits	
Sincronización	<ul style="list-style-type: none"> ▪ disparador externo ▪ Software 	
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> ▪ programable a través de la API de cámara 	
Tamaño (L x W x H) mm	73,7 x 44 x 29	
Rango de temperatura	0 ° C - 50 ° C.	
Vivienda opción	90 ° cabeza inclinada	
Montura del objetivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ C-mount ▪ CS-mount 	
Entrada Digital	2	
Salida Digital	4	
Fuente de alimentación	12-24 VDC	
Peso	160 g	
Conformidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CE ▪ RoHS ▪ GenICam ▪ GigE Vision ▪ IP30 ▪ FCC 	
Sensor Vendor	Sony	
Sensor nombre	ICX424	
Sensor Technology	CCD de exploración progresiva con obturador global	
El tamaño del sensor (óptico)	1/3 pulgadas	
Tipo de Sensor	CCD	
Sensor Dimensiones (mm)	4,88 mm x 3,66 mm	

Anexo G	Características técnicas del lente computar FA mega pixel M0814-MP2.	Hoja 1 de 1
----------------	---	--------------------

f=8mm F1.4
for 2/3 type Megapixel Cameras
C-Mount

Model No.		M0814-MP2		Effective	Front	φ 21.5mm	
Focal Length		8mm		Lens Aperture	Rear	φ 12.0mm	
Max. Aperture Ratio		1:1.4		Distortion	2/3type	-0.1%(y=5.5)	
Max. Image Format		8.8mm x 6.6mm(φ 11mm)			1/2type	-1.1%(y=4.0)	
Operation Range	Iris	F1.4 - F16C		Back Focal Length		13.1mm	
	Focus	0.1m - Inf.		Flange Back Length		17.526mm	
Control	Iris	Manual		Mount		C-Mount	
	Focus	Manual		Filter Size		M30.5 P=0.5mm	
Object Dimension at M.O.D	2/3 type	12.1cm x 9.0cm		Dimensions		φ 33.5mm x 28.2mm	
	1/2 type	8.7cm x 6.5cm		Weight		62.6g	
Angle of View	D	2/3 type	67.1°	1/2 type	51.9°		
	H		56.3°		42.5°		
	V		43.7°		32.4°		
Operating Temperature		-10°C - +50°C					

M.O.D : Minimum Object Distance

Anexo H

Estructura metálica de las cámaras

Anexo I

Módulo de sistema de visión

Anexo J

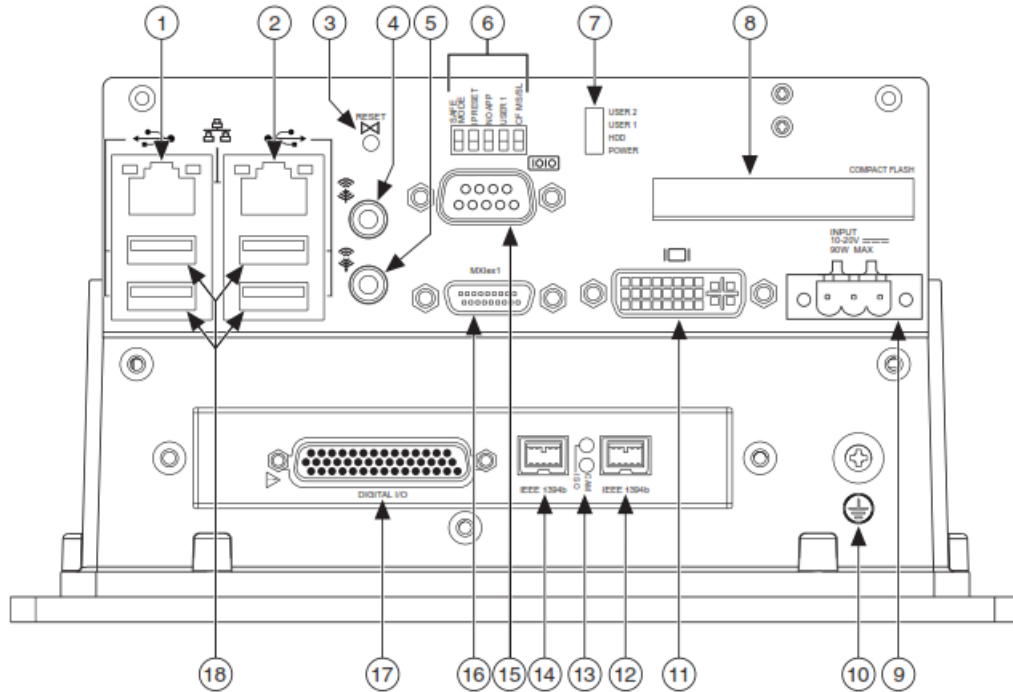
Distribución del módulo de sistema de visión

Anexo K

Plano de conexiones eléctricas de los componentes del módulo de sistema de visión

Anexo L	Características técnicas de la touch panel TP760-T	Hoja 1 de 1
----------------	---	--------------------

Electrical Features	Input Voltage	DC22-DC26V
	Current Consumption	<150mA
	Allowable Momentary Power-cut	Less than 20ms
	Voltage Endurance	AC1000V-10mA for 1 minute (between signal and time)
	Insulated Resistance	DC500V-about 10MΩ (between signal and time)
Interfaces	Communication Port	RS-232/RS-422/RS-485
	Download Port	RS-232
Environment	Operation Temperature	0-50°C
	Storage Temperature	-20-60°C
	Ambient Humidity	20-85% (non-condensing, try bulb)
	Vibration Resistance	10-25HZ (X, Y, Z directions for 30 minutes 2G)
	Interference Rejection	Noise voltage: 1000Vp-p, Pulse cycle:1us, Duration: 1minute
	Atmosphere	Free of corrosive gas
	Protect Configuration	IP65
Screen properties	Type	256 color TFT
	Screen Size	5.7 inch
	Lifetime	Above 50000 hours, Environmental temperature 25°C, 24 hours operating
	Display area	480*234
	Brightness	Can not be adjusted
	Languages	Chinese: Simplified/Traditional, English, Japanese, Korean, etc.
	Font & Size	Optional font, Optional size
Memory	Touch Panel	Digital matrix
	Screen	4MB
Structure	Data	4KB
	Cooling method	Natural air cooling
	External Dimensions	200.0*148.0*44.4(mm)
	Cutout Dimensions	182.4*134.4(mm)



- | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Primary Network Connector | 7 User 2/User 1/HDD/Power LEDs | 14 IEEE 1394b Bilingual Connector |
| 2 Secondary Network Connector | 8 CompactFlash Slot | 15 RS-232 Serial Connector (COM1) |
| 3 Reset Switch | 9 Power Supply Connector | 16 MXI Express x1 Connector |
| 4 Audio In Connector | 10 Grounding Lug | 17 Digital I/O Connector |
| 5 Audio Out Connector | 11 DVI-I Connector | 18 USB Connectors |
| 6 Safe Mode/IP Reset/No App/
User 1/CF Master/Slave Switches | 12 IEEE 1394b Bilingual Connector | |
| | 13 ISO/CAM Power Status LEDs | |

Anexo N

Plano de control de la celda de manufactura

Anexo O	Especificaciones físicas del conductor flexible de cobre tipo TFF	Hoja 1 de 1
----------------	--	--------------------

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION	ESPESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Cap. de Corriente	TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.				Para 1 conductor Al aire libre Amp .		
24	0.205	7 x 0,20	0.51	1.63	5.14	---	FXT	A,E
22	0.324	11 x 0,20	0.51	1.78	7.62	---	FXT	A,E
20	0.519	17 x 0,20	0.76	2.47	9.98	5	FXT	A,E
18	0.823	12 x 0,30	0.76	2.72	13.43	7	TFF	A,E
16	1.310	19 x 0,30	0.76	3.02	18.93	10	TFF	A,B
14	2.08	30 x 0,30	1.14	4.17	32.30	25	TW-F	A,B
12	3.31	27 x 0,40	1.14	4.67	46.50	30	TW-F	A,C
10	5.26	42 x 0,40	1.14	5.26	67.90	40	TW-F	A,D
8	8.37	7 x (17x0,30)	1.52	7.31	119.70	60	TW-F	A,B,E
6	13.30	7 x (15x0,40)	1.52	8.38	174.50	80	TW-F	A,E
4	21.15	7 x (24x0,40)	1.52	9.80	269.90	105	TW-F	A,E
2	33.62	7 x (38x0,40)	1.52	11.55	402.90	140	TW-F	A,E
1	42.36	7 x (48x0,40)	2.03	13.62	521.30	165	TW-F	A,D,E
1/0	53.49	19 x (23x0,40)	2.03	15.09	648.90	195	TW-F	D,E,Z
2/0	67.43	19 x (28x0,40)	2.03	16.23	830.20	225	TW-F	D,E,Z
3/0	85.01	19 x (36x0,40)	2.03	17.86	1003.40	260	TW-F	D,E,Z
4/0	107.20	19 x (45x0,40)	2.03	19.49	1251.20	300	TW-F	D,E,Z
250	127.00	37 x (13x0,60)	2.41	22.23	1498.00	350	TW-F	Z
300	152.00	37 x (15x0,60)	2.41	23.53	1826.00	375	TW-F	Z
350	177.00	37 x (17x0,60)	2.41	24.73	2031.00	420	TW-F	Z
400	203.00	37 x (20x0,60)	2.41	26.42	2325.00	455	TW-F	Z
500	253.00	37 x (25x0,60)	2.41	28.97	2746.00	515	TW-F	Z
600	304.00	37 x (30x0,60)	2.79	32.03	3287.00	575	TW-F	Z
700	355.00	37 x (34x0,60)	2.79	33.74	3804.00	630	TW-F	Z
750	380.00	37 x (37x0,60)	2.79	34.96	4110.00	655	TW-F	Z
800	405.00	37 x (39x0,60)	2.79	35.74	4326.00	680	TW-F	Z
900	456.00	37 x (44x0,60)	2.79	37.62	4812.00	730	TW-F	Z
1000	507.00	37 x (49x0,60)	2.79	39.39	5298.00	780	TW-F	Z

Anexo P	Líneas de programación del brazo robótico	Hoja 1 de 5
<p>Programa principal.</p> <pre> DEF Principal_tesis() INT x INT y x=1 y=1 BAS (#initmov,0) PTP \$pos_act loop interrupt decl 1 when sensor_choque==false do stop_ops() interrupt on PTP P1 Vel=100 % PDAT1 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [2]=true ;Abre el gripper wait sec 1 \$out [2]=false wait for \$in[10] ;La banda 3 indica al robot que hay material. PTP P6 Vel=100 % PDAT4 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P7 Vel=100 % PDAT5 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P8 Vel=1 m/s CPDAT5 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [1]=true ;Cierra el gripper \$out [14]=true ;Kuka manipulando HMI wait sec 1 \$out [1]=false LIN P9 Vel=0.5 m/s CPDAT6 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P10 Vel=0.5 m/s CPDAT7 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P11 Vel=0.5 m/s CPDAT8 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P12 Vel=0.5 m/s CPDAT9 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [13]=true ;Cierra la antena wait sec 1 \$out [2]=true ;Abre el gripper \$out [14]=false wait sec 1 \$out [2]=false </pre>		

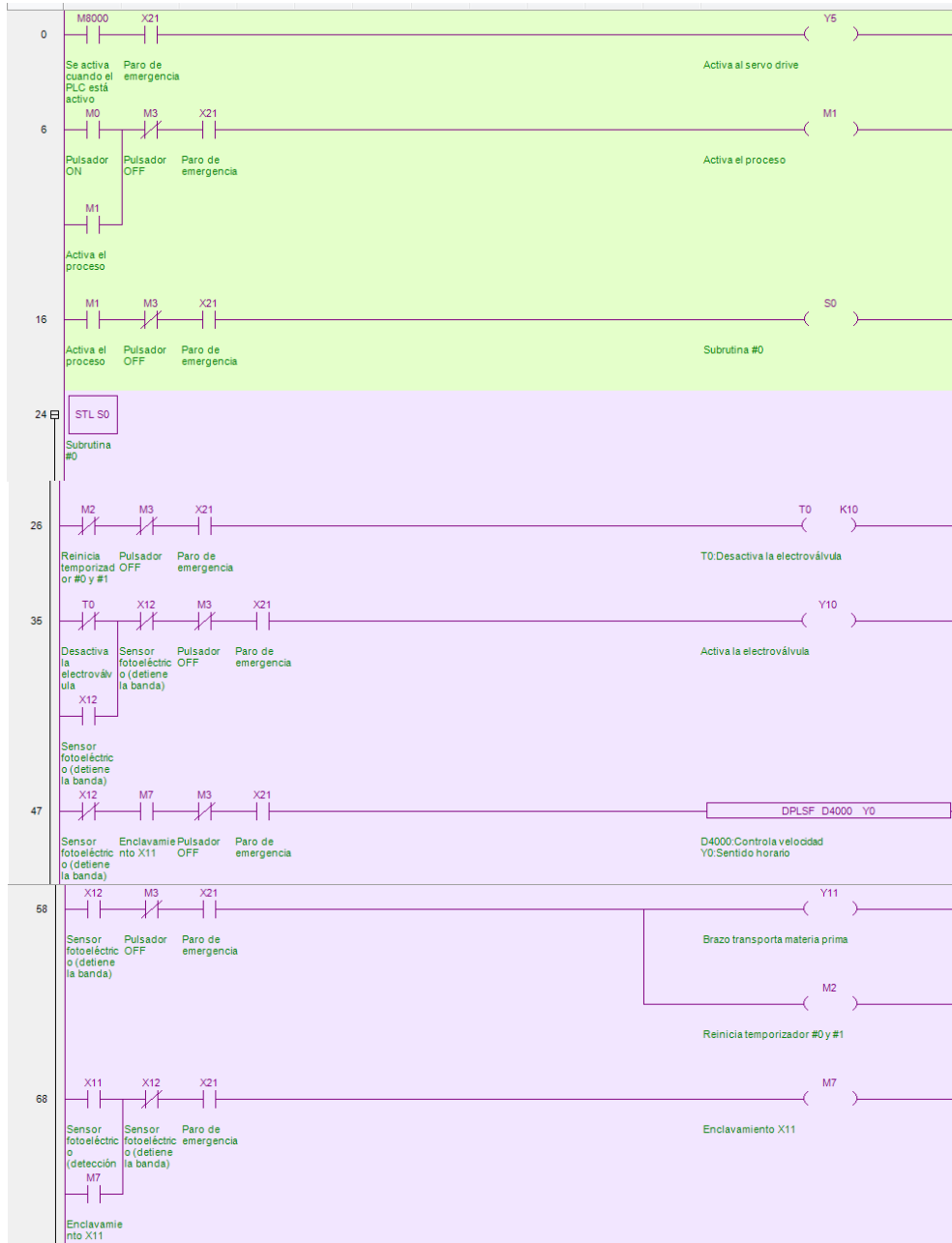
Anexo P	Líneas de programación del brazo robótico	Hoja 2 de 5
<pre> LIN P13 Vel=0.5 m/s CPDAT10 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P14 Vel=1 m/s CPDAT11 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P15 Vel=100 % PDAT6 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [10]=true ;Inicia el proceso de mecanizado wait sec 1 \$out [10]=false wait for \$in[11] ;La CNC indica que termino el mecanizado PTP P16 Vel=100 % PDAT7 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P17 Vel=1 m/s CPDAT12 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P18 Vel=1 m/s CPDAT13 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [1]=true \$out [14]=true wait sec 1 \$out [1]=false \$out [13]=false ;Abre la entenalla LIN P19 Vel=0.5 m/s CPDAT14 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P20 Vel=0.5 m/s CPDAT15 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P21 Vel=0.5 m/s CPDAT16 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P22 Vel=0.5 m/s CPDAT17 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P23 Vel=0.5 m/s CPDAT18 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P30 Vel=100 % PDAT12 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [2]=true wait sec 1 \$out [2]=false LIN P24 Vel=0.5 m/s CPDAT19 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [14]=false \$out [11]=true ;Mueve la banda 4 LIN P25 Vel=2 m/s CPDAT20 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [11]=false PTP P26 Vel=100 % PDAT8 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [12]=false wait for \$in[12] or \$in[13] </pre>		

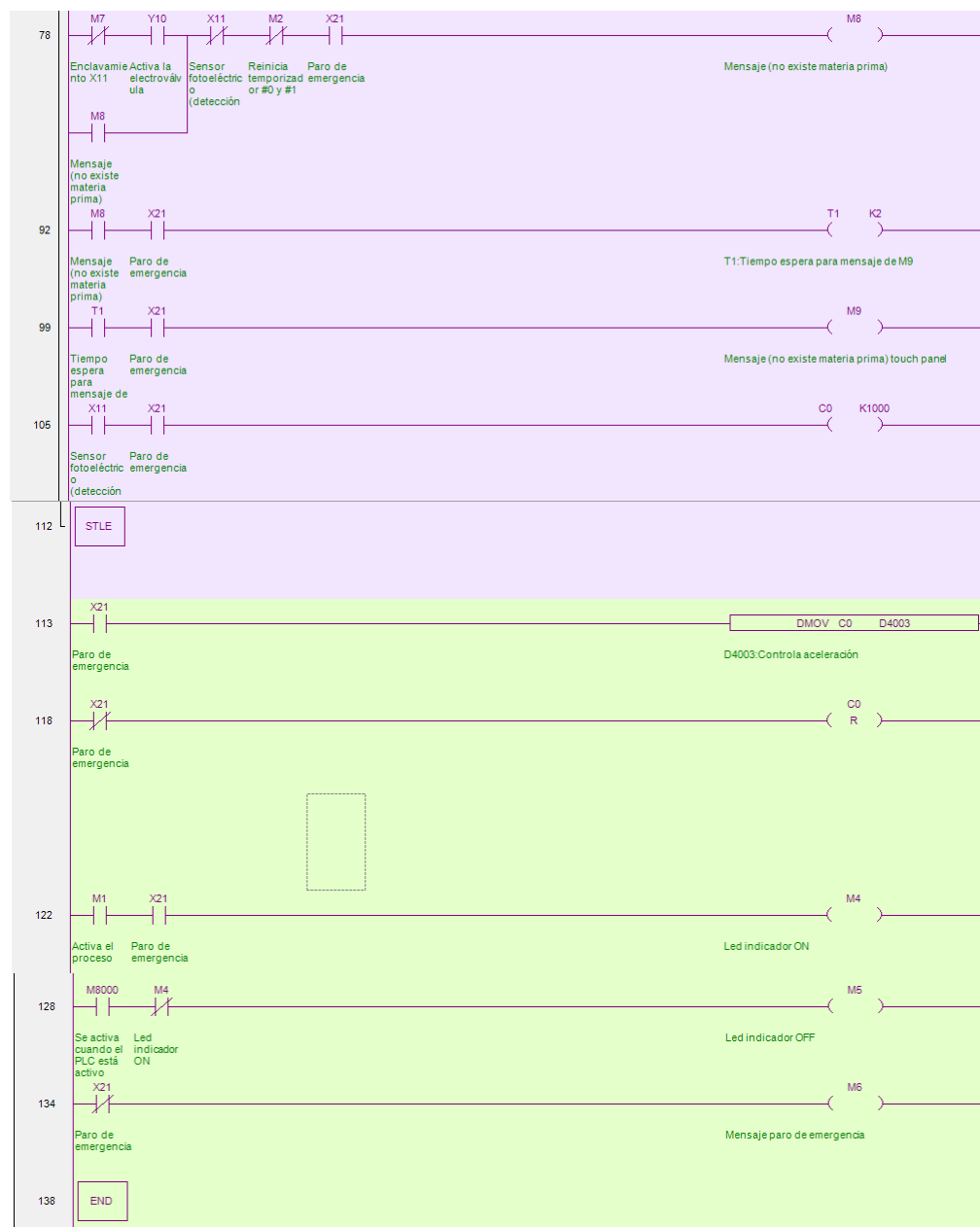
Anexo P	Líneas de programación del brazo robótico	Hoja 3 de 5
<pre> if (\$in[12]==true) and (\$in[13]==false) then \$out [15]=true ;Indicador pieza buena (HMI) if x==1 then pieza_b1 () endif if x==2 then pieza_b2 () endif if x==3 then pieza_b3 () endif if x==4 then pieza_b4 () endif if x==4 then x=x-4 \$out [12]=true ;Indicador estacion de almacenamiento llena endif x=x+1 \$out [15]=false endif if (\$in[12]==false) and (\$in[13]==true) then \$out [16]=true ;Indicador pieza mala (HMI) if y==1 then pieza_m1 () endif if y==2 then pieza_m2 () endif if y==3 then pieza_m3 () endif if y==4 then pieza_m4 () endif </pre>		

Anexo P	Líneas de programación del brazo robótico	Hoja 4 de 5
<pre data-bbox="331 472 1283 920"> if y==4 then y=y-4 \$out [12]=true ;Indicador estacion de almacenamiento llena endif y=y+1 \$out [16]=false endif interrupt off endloop END </pre> <p data-bbox="612 981 1075 1014" style="text-align: center;">Programa para la interrupción</p> <pre data-bbox="331 1093 783 1442"> DEF stop_ops() interrupt off 1 brake wait for sensor_choque==true halt halt interrupt on 1 END </pre> <p data-bbox="584 1487 1102 1520" style="text-align: center;">Programa para las piezas buenas.</p> <pre data-bbox="331 1563 1283 1980"> DEF pieza_b1() ;Depende del contador x, para llamar a los programas pieza_b1, pieza_b2, pieza_b3 o pieza_b4 PTP P14 Vel=100 % PDAT7 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P1 Vel=100 % PDAT1 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P2 Vel=100 % PDAT2 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P4 Vel=1 m/s CPDAT2 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [1]=true \$out [14]=true wait sec 1 \$out [1]=false LIN P5 Vel=0.5 m/s CPDAT3 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis </pre>		

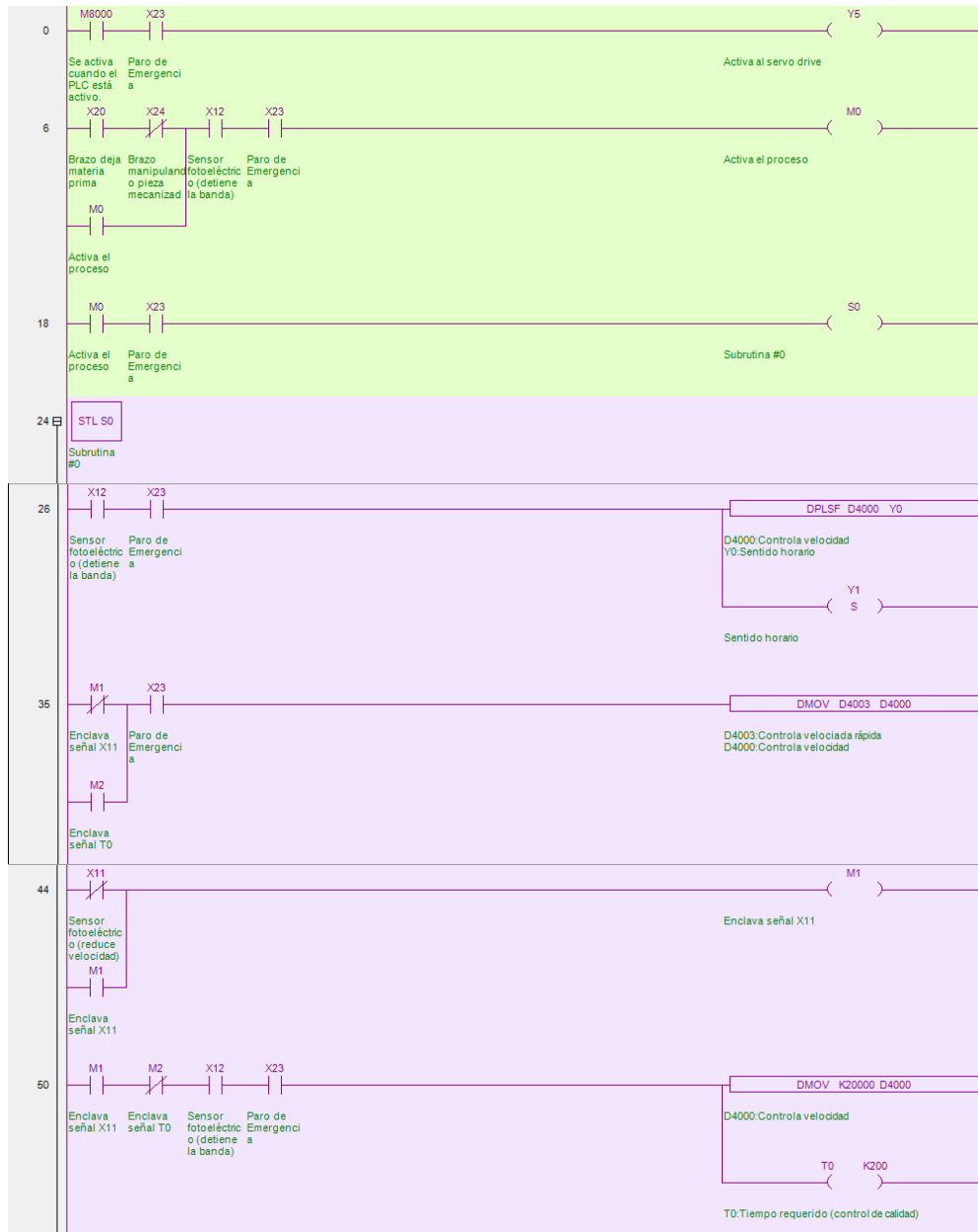
Anexo P	Líneas de programación del brazo robótico	Hoja 5 de 5
<pre> PTP P6 Vel=100 % PDAT3 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P7 Vel=0.5 m/s CPDAT4 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [2]=true \$out [14]=false wait sec 1 \$out [2]=false LIN P8 Vel=0.5 m/s CPDAT5 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P26 Vel=100 % PDAT14 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P27 Vel=0.5 m/s CPDAT13 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P15 Vel=100 % PDAT8 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis END Programa para las piezas malas. DEF pieza_m1() ;Depende del contador y, para llamar a los programas pieza_m1, pieza_m2, pieza_m3 o pieza_m4 PTP P14 Vel=100 % PDAT7 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P1 Vel=100 % PDAT1 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P2 Vel=100 % PDAT2 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P4 Vel=1 m/s CPDAT2 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [1]=true \$out [14]=true wait sec 1 \$out [1]=false LIN P5 Vel=0.5 m/s CPDAT3 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P18 Vel=100 % PDAT10 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P19 Vel=0.5 m/s CPDAT9 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis \$out [2]=true \$out [14]=false wait sec 1 \$out [2]=false LIN P10 Vel=0.5 m/s CPDAT6 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P11 Vel=100 % PDAT5 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis LIN P12 Vel=0.5 m/s CPDAT7 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis PTP P15 Vel=100 % PDAT8 Tool[8]:Tesis Base[8]:Tesis END </pre>		

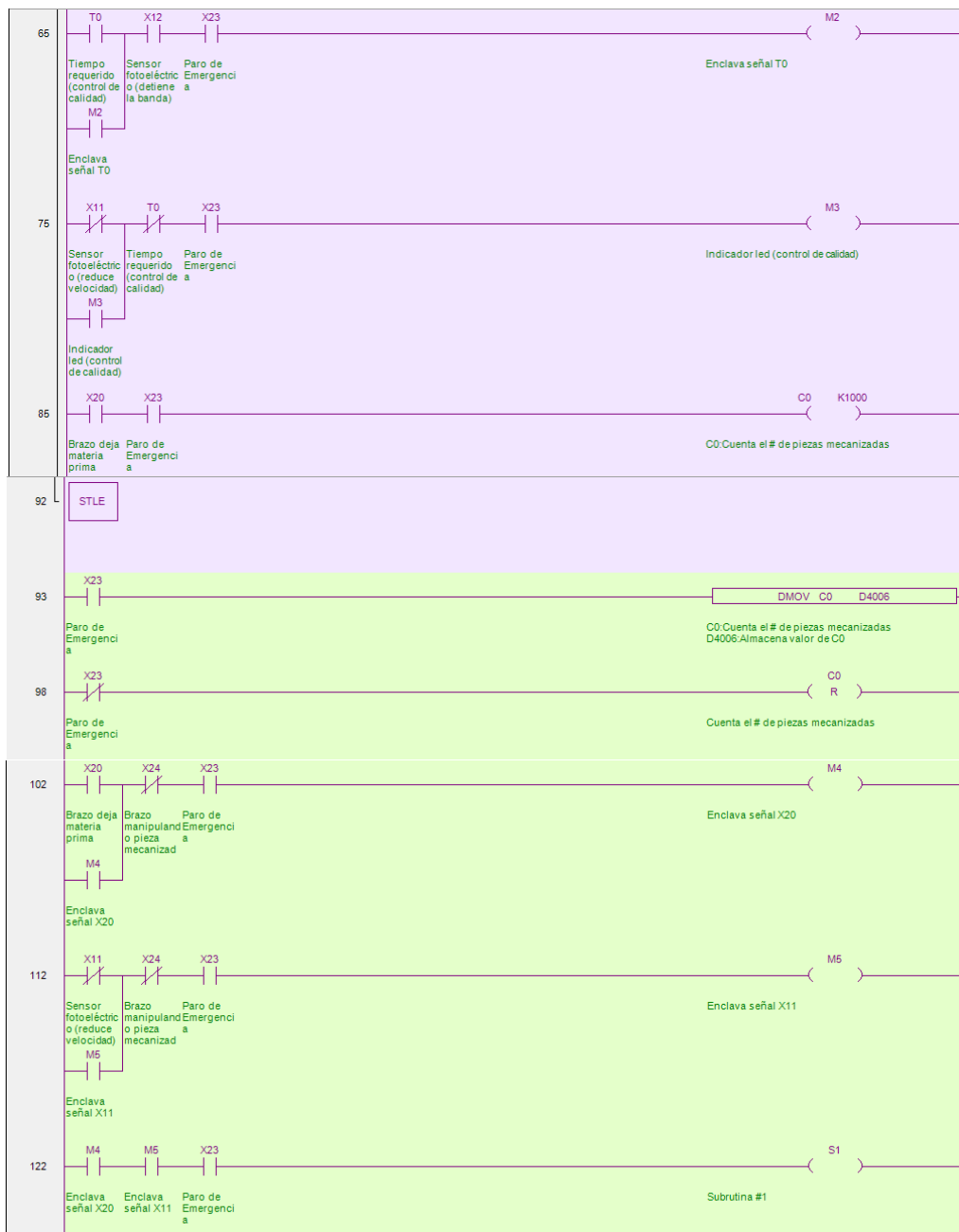
Banda transportadora #3

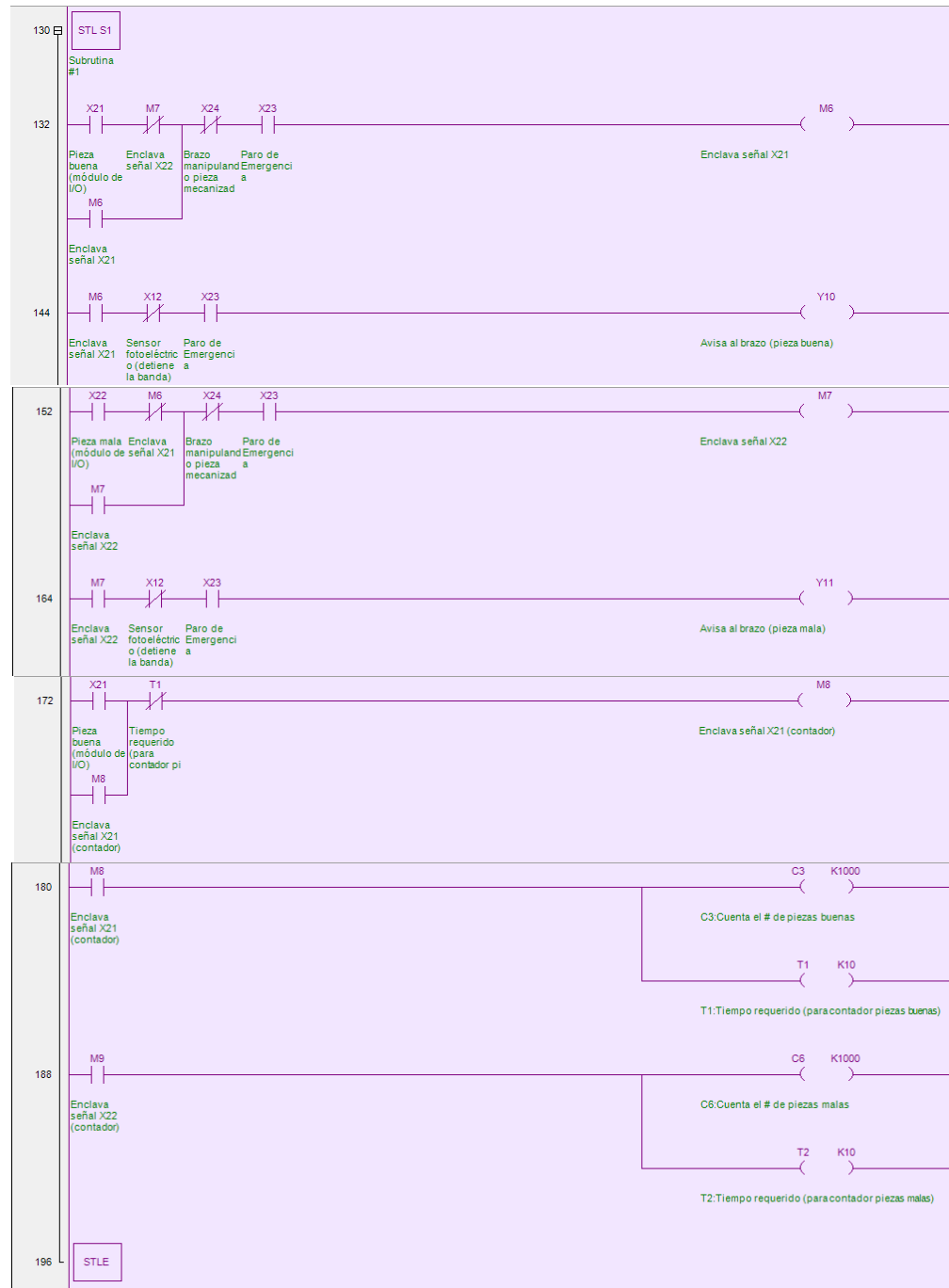


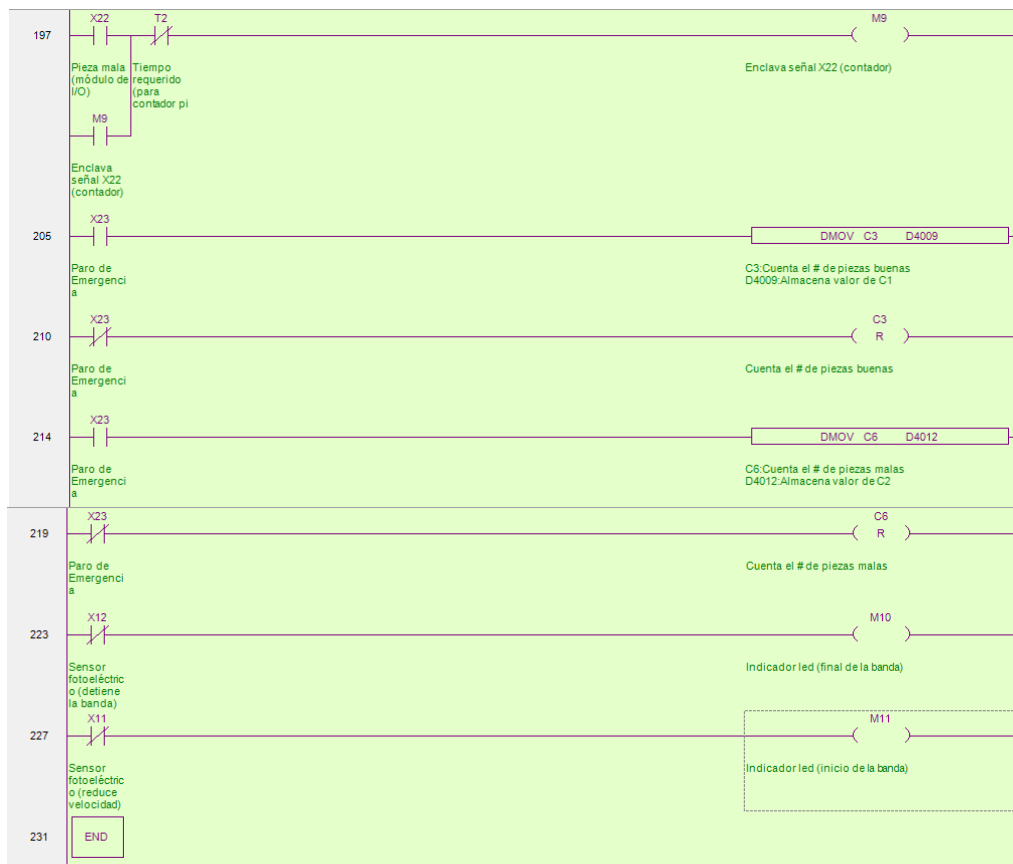


Banda transportadora #4











**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MANUAL DE OPERACIÓN

MANUAL DEL OPERARIO PARA LA CELDA DE MANUFACTURA
CON BRAZO ROBÓTICO CENTRALIZADO Y CONTROL DE
CALIDAD CON VISIÓN ARTIFICIAL EN EL LABORATORIO DE
ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L.

REALIZADO POR:

- VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA
- FERNANDO DAVID SAÁ TAPIA

Latacunga, 2013

Este manual describe en detalle la operación de la celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L.

El operario de la celda debe asegurarse de haber leído con cuidado esta guía, antes de poner en funcionamiento el proceso. Es esencial seguir las instrucciones contenidas en este manual, para aprovechar al máximo sus prestaciones, conocer las limitaciones que posee el sistema y evitar daños a los equipos y al usuario.

Montaje de la celda de manufactura.

1. La Figura 1, indica cómo los equipos deben ubicarse en la celda de manufactura y la Tabla 1, el orden en el cual deben irse colocando.

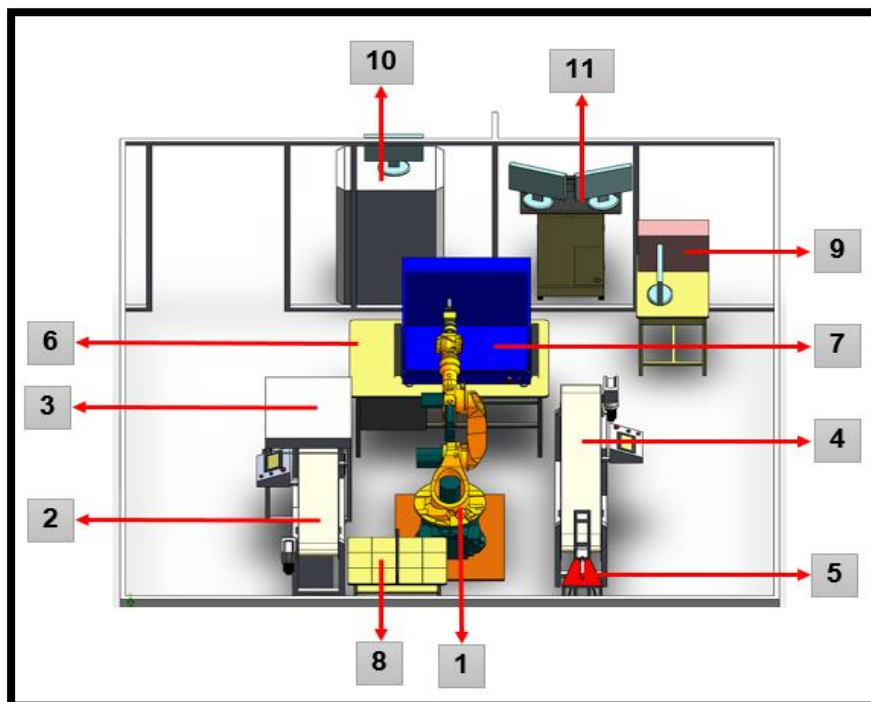


Figura 1: Ubicación de los equipos en la celda de manufactura.

Tabla 1: Orden de ubicación de los equipos en la celda de manufactura.

<i>Ítem</i>	<i>Equipo</i>
1	Brazo robótico KUKA KR 16.
2	Banda transportadora N.- 4
3	Sistema para el control de calidad (tapa, difuminadores de luz y cámaras).
4	Banda transportadora N.- 3
5	Distribuidor de materia prima.
6	Mesa específica para el mini centro de mecanizado ExpertMill VMC – 600.
7	Mini centro de mecanizado ExpertMill VMC – 600.
8	Área de almacenamiento para piezas mecanizadas.
9	PC de escritorio para el control de la ExpertMill (no es necesario medidas para su ubicación).
10	Armario de control KR C2 (no es necesario medidas para su ubicación)
11	Módulo del sistema de visión (no es necesario medidas para su ubicación).

Nota: La ubicación de los equipos se hará de acuerdo a la posición inicial del robot; es decir que la base del robot deberá estar apuntando a la puerta de entrada de la celda.

2. Antes de montar cualquier equipo, colocar el brazo robótico en la posición HOME (ésta posición solo sirve para el programa de la celda de manufactura, ya que es el primer movimiento PTP que realiza el brazo robótico; para ubicar esta posición dirigirse al **capítulo III, apartado 3.2.2 literal b. Configuración de la posición HOME del robot.**

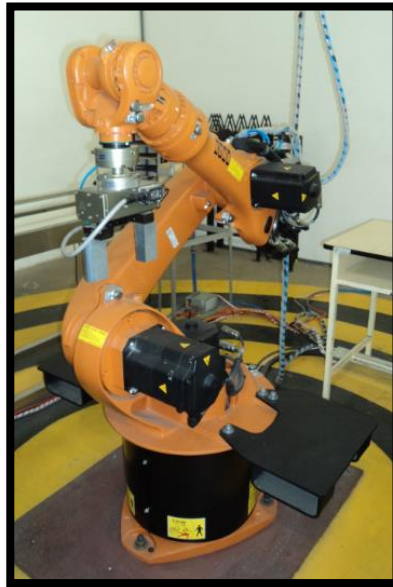


Figura 2: Posición HOME del brazo robótico para la celda de manufactura.

En la Tabla 2, se indica los valores que corresponden a dicha posición.

Tabla 2: Posición específico a los ejes.

Eje	Posición (grados)
1	-0.32
2	-147.56
3	115.93
4	0.00
5	118.92
6	4.64

Esto evita que el brazo robótico no colisione con la ExpertMill y permite una mayor área de desplazamiento al usuario, para poder montar los otros equipos.

3. Colocar la banda transportadora N.- 4 a una altura de 12 cm del piso, destornillando en cada uno de sus extremos inferiores las ventosas sólidas (Figura 3) y situarlas en las platinas que se encuentran ancladas al piso (Figura 4).

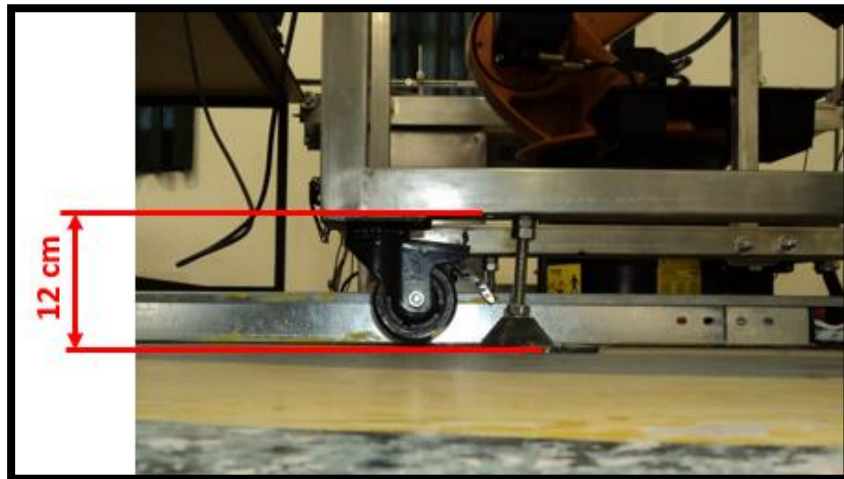


Figura 3: Altura de las bandas transportadoras.

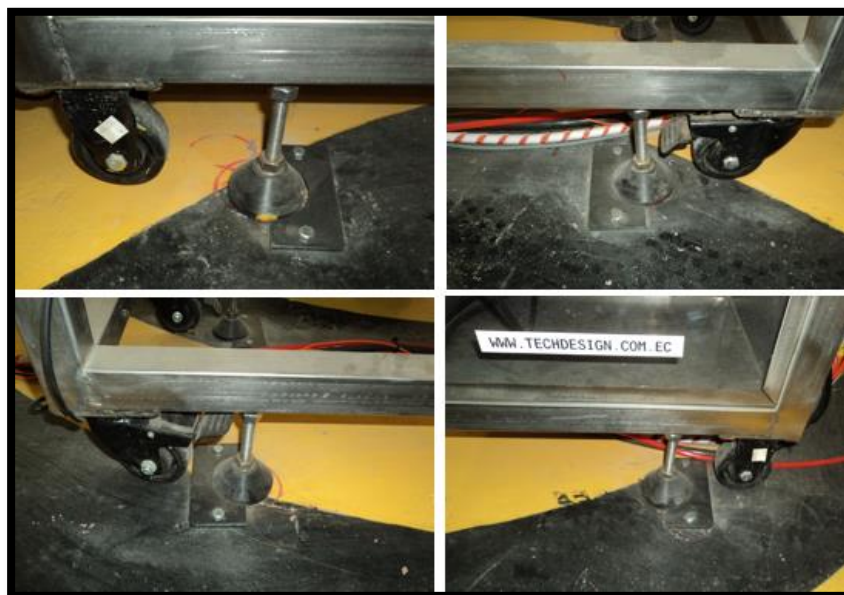


Figura 4: Platinas de ubicación para las bandas transportadoras.

- Ubicar los soportes de las cámaras, los difuminadores de luz y la tapa en las marcas correspondientes (Figura 5), en la estructura metálica situada en la banda transportadora N.- 4.



Figura 5: Cámaras, difuminadores de luz y tapa con marcas de ubicación.

5. Colocar la banda transportadora N.- 3 a una altura de 12 cm del piso, destornillando en cada uno de sus extremos inferiores las ventosas sólidas (Figura 6) y situarlas en las platinas que se encuentran ancladas al piso (Figura 7).

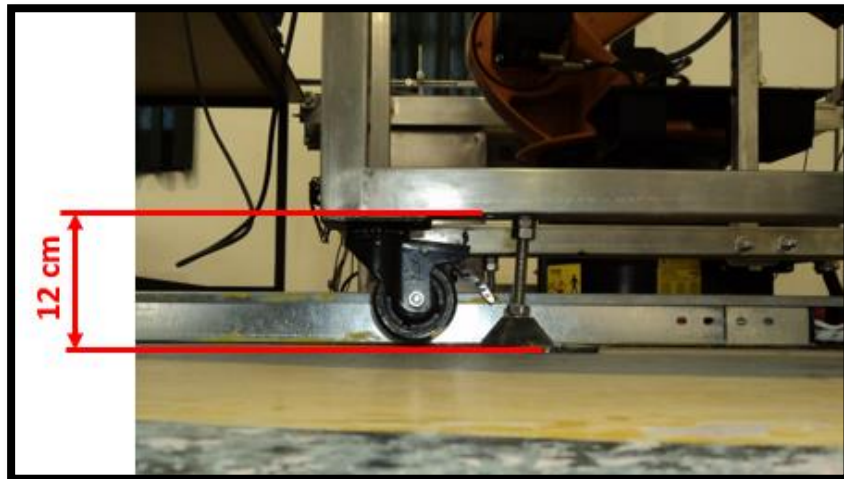


Figura 6: Altura de las bandas transportadoras.

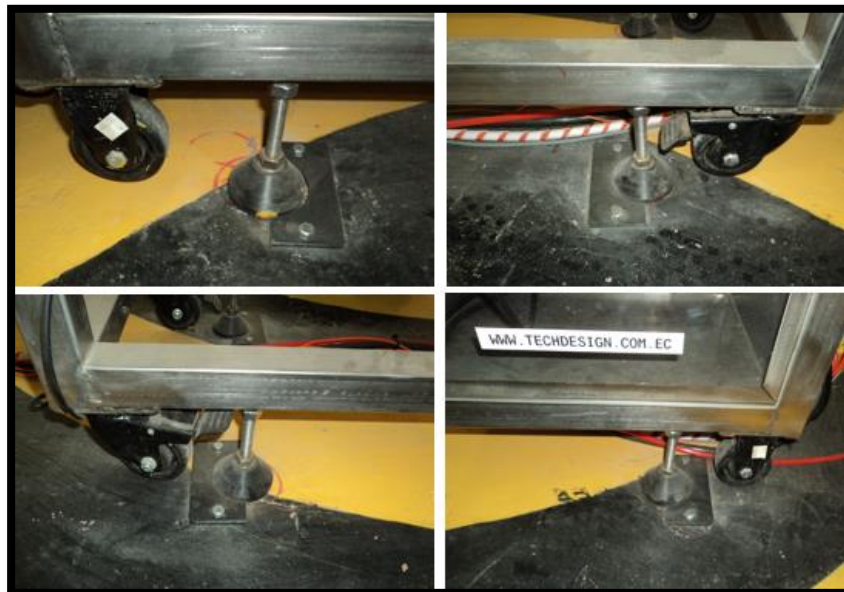


Figura 7: Platinas de ubicación para las bandas transportadoras.

6. Anclar al piso la estación de distribución con dos tirafondos, en sus respectivas perforaciones (Figura 8).



Figura 8: Ubicación de la estación de distribución.

7. Ubicar la mesa específica de la ExpertMill (no puede ser otra mesa ya que el diseño está realizado sobre ésta), en las platinas que están ancladas al piso (Figura 9).

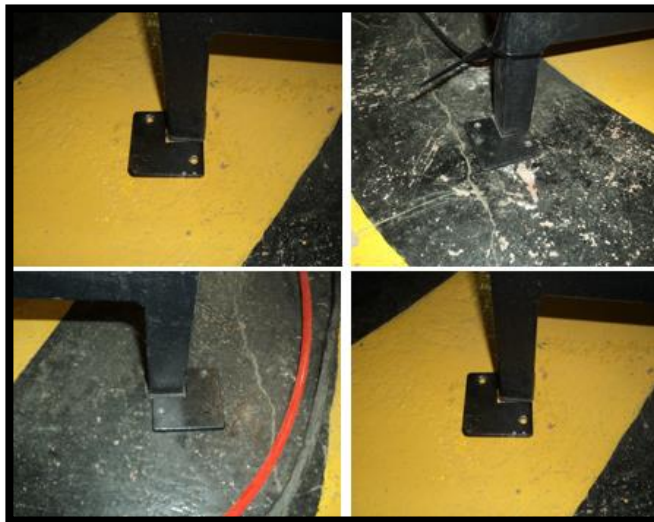


Figura 9: Platinas de ubicación para la mesa de la ExpertMill.

8. Situar la ExpertMill sobre la mesa con las medidas que se muestran en la Figura 10.

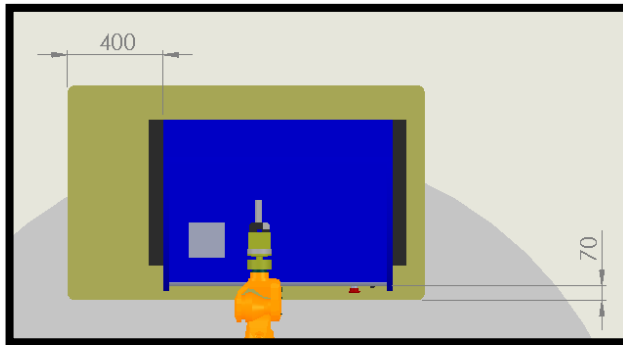


Figura 10: Medidas para la colocación de la ExpertMill (mm).

9. Para la estación de almacenamiento, poner una mesa como se indica en la Figura 11. Al tope de la canaleta metálica y a una distancia horizontal de 300 mm.

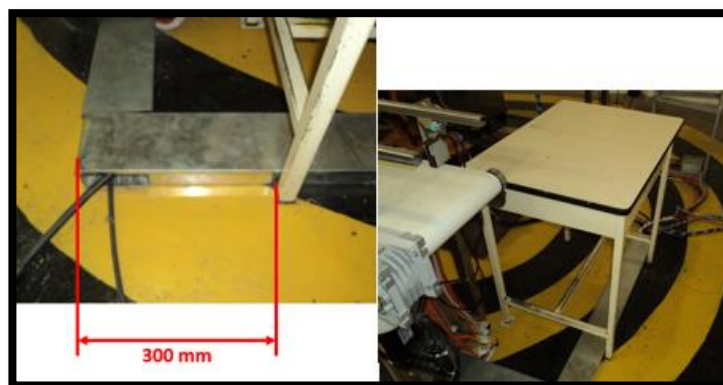


Figura 11: Medidas para la colocación de la estación de almacenamiento.

10. Instalar el PC de escritorio que controla a la ExpertMill dentro de la celda, ya que el cable de comunicación no es lo suficientemente extenso para ubicarlo afuera.

11. Colocar el armario de control y el módulo de sistema de visión, fuera de la celda de manufactura, tomando en cuenta los cables de conexiones eléctricas y de control.
12. Realizar las conexiones eléctricas, de datos y neumáticas; siguiendo los pasos a continuación:
 - 12.1. Conectar el cable de comunicación entre la ExpertMill y la PC de escritorio (Figura 12).



Figura 12: Cable de comunicación entre la ExpertMill y la PC.

- 12.2. En la banda transportadora N.- 3, conectar las dos borneras y el jack de datos, como se indica en la Figura 13; (guiarse en el número de las marquillas).

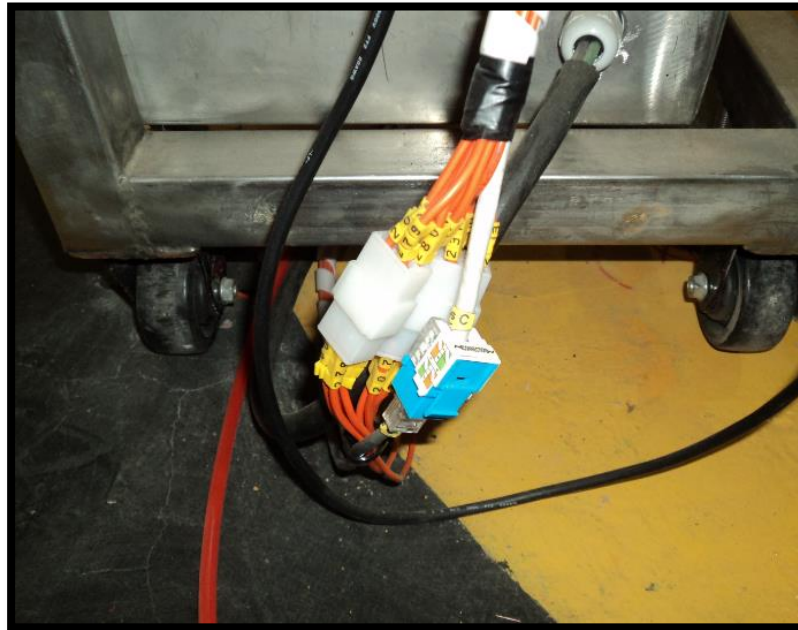


Figura 13: Dos borneras y jack de datos.

- 12.3.** En la banda transportadora N.- 4, conectar las tres borneras y los dos jacks de datos, como se indica en la Figura 14; (guiarse en el número de las marquillas).

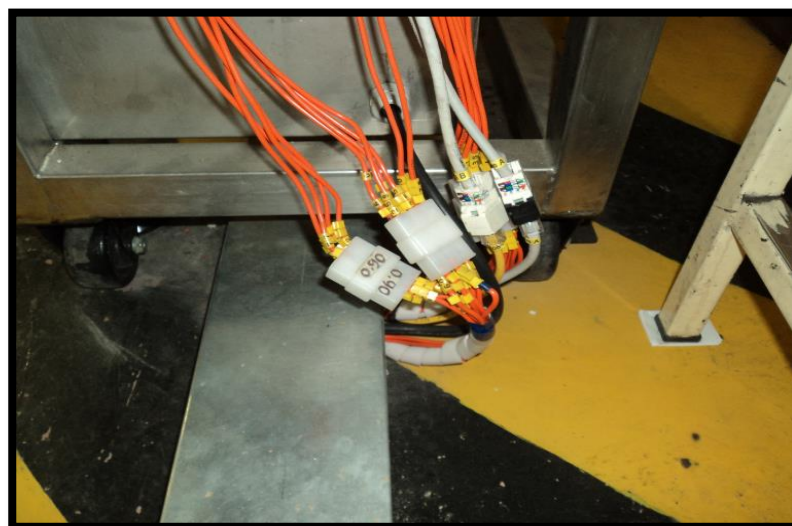


Figura 14: Tres borneras y dos jacks de datos.

- 12.4.** En la banda transportadora N.- 4, conectar los dos jacks de datos y la bornera, como en la Figura 15; (guiarse en el número de las marquillas).



Figura 15: Dos jacks de datos y bornera.

- 12.5.** Alimentar la fuente que se encuentra en la estación de distribución (Figura 16).



Figura 16: Fuente de alimentación.

- 12.6.** Conectar las dos cámaras tanto en potencia como en datos (Figura 17).



Figura 17: Cámaras Basler.

- 13.** Conectar los equipos neumáticos a la toma principal de aire (Figura 18). La manguera azul se conecta al distribuidor de materia prima y la tomate al mini centro de mecanizado.



Figura 18: Equipos neumáticos.

Generalidades.

14. Revisar que en la estación de distribución exista materia prima.
15. Verificar que en el módulo de sistema de visión, armario de control y bandas transportadoras se encuentren los relés de estado sólido y éstos no se encuentren activados físicamente (Figura 19).



Sin activar físicamente. Activado físicamente.

Figura 19: Relés.

16. Comprobar que las distintas borneras y jacks estén debidamente conectados (Figura 20).



Figura 20: Borneras y jacks.

17. Habilitar la válvula de presión de aire y regular a 6 bar (Figura 21).



Figura 21: Presión de aire (6 bar).

- 18.** Abrir la compuerta del mini centro de mecanizado y comprobar que estén colocados dos imanes en cada switch magnético (Figura 22). Esto permite mecanizar con la compuerta levantada.

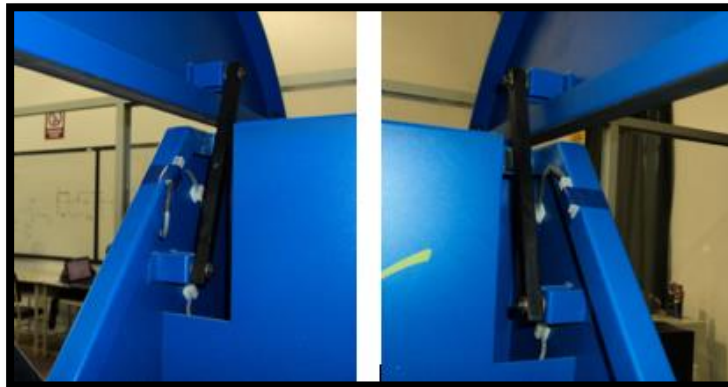
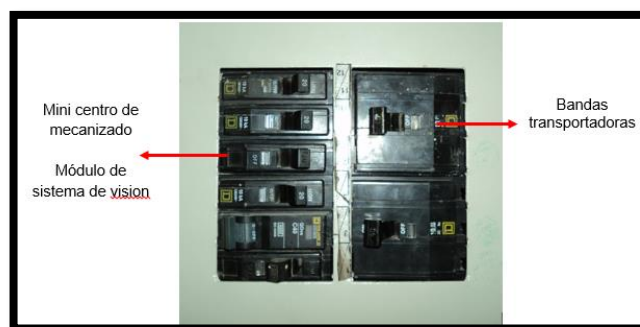


Figura 23: Switch magnéticos.

- 19.** Verificar las conexiones físicas de los equipos, como se indicó en el Capítulo II/ Apartado 2.4.

Encendido de la celda de manufactura.

- 20.** En la caja de distribución principal encender los breakers correspondientes a las bandas transportadoras, mini centro de mecanizado y módulo de sistema de visión (Figura 24). El brazo robótico consta de una fuente de alimentación externa por lo que no hay que energizar. El tablero de distribución se encuentra fuera de la celda a la entrada de la puerta principal del laboratorio.

**Figura 24: Breakers principales.**

- 21.** Revisar que todos los paros de emergencia estén activados (KCP, módulo de sistema de visión y mini centro de mecanizado).
- 22.** Encender el brazo robótico.
- 23.** Energizar el módulo de sistema de visión artificial y verificar que los monitores estén encendidos.
- 24.** Activar las bandas transportadoras.
- 25.** Encender las luces en la estación de control de calidad.
- 26.** Colocar en ON la fuente de alimentación, que se encuentra en la estación de distribución.
- 27.** Prender el PC de escritorio que controla al mini centro de mecanizado.
- 28.** Energizar el mini centro de mecanizado.

Anexo R	Manual de operación	Hoja 17 de 23
<p style="text-align: center;">Iniciación del proceso.</p> <p>Cada uno de los instaladores y programas realizados para el proceso de la celda de manufactura, se encuentran en la PC de escritorio en un archivo llamado “Archivos de Tesis Gallo, Saá”. Si por algún motivo se borró el programa de algún equipo, cargar el original.</p> <p>Para inicializar el proceso, se debe seguir los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 29. Verificar en el mini centro de mecanizado, que todas las entradas y salidas digitales estén desactivadas; caso contrario desactivarlas mediante software o revisar que ocasiona que estén activas. 30. Revisar en el brazo robótico, que las entradas digitales “1 y 6” estén encendidas y las demás apagadas. De las salidas digitales ninguna debe estar activa. 31. Comprobar los programas en los PLC’s y poner en modo RUN. 32. Retirar el paro de emergencia del mini centro de mecanizado. 33. En el mini centro de mecanizado, confirmar que en el ATC N.- 1 esté cargada la herramienta correcta (Fresa end mill de 1/4”); caso contrario cambiar la herramienta. 34. En el PC de escritorio abrir el programa CNCBase for intelitek CNC y enviar al HOME máquina la ExpertMill. 35. Dependiendo de la pieza a ser mecanizada escoger el archivo correcto que se encuentra en: Archivos de Tesis Gallo, Saá > Mini centro de mecanizado > Códigos G, dentro de esta carpeta están los tres códigos G de las distintas piezas que pueden ser mecanizadas: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pieza cruz. 		

- ✓ Pieza dentada.
- ✓ Pieza perforada.

36. Ejecutar el programa y en la nueva ventana, dar clic en **Run Program** (Figura 25).



Figura 25: Ventana "Run Program".

37. En la ventana intelitek CNC, dar clic en **Aceptar** (Figura 26).

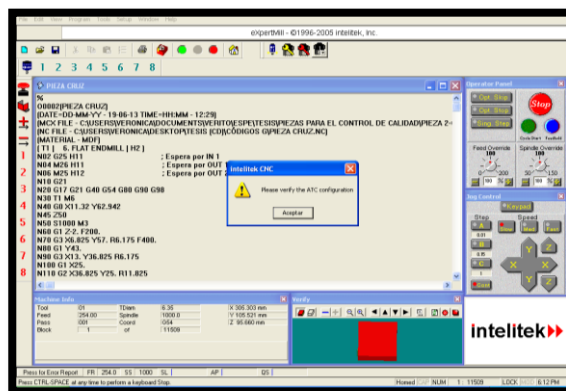


Figura 26: Ventana "intelitek CNC".

38. Confirmar la herramienta en el ATC N.- 1 y dar clic en **OK** (Figura 27).

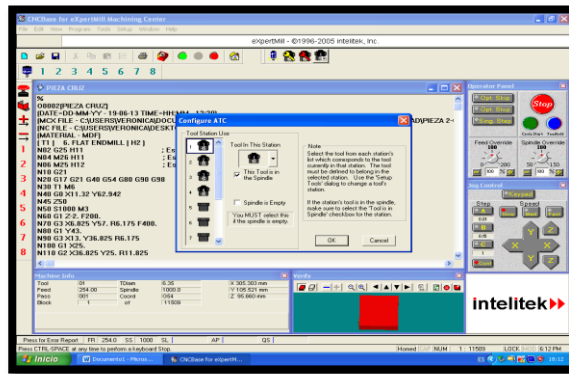


Figura 27: Ventana “Configure ATC”.

39. La nueva ventana da un mensaje en la cual la ExpertMill está esperando por la entrada digital N.- 1, la misma que se activara una vez que el robot haya dejado la pieza en el centro de mecanizado para empezar con el proceso (Figura 28).

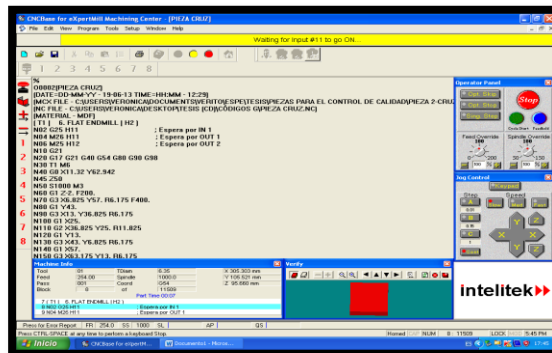


Figura 28: Confirmación de entrada digital N.- 1.

40. Conectar el cable ethernet del switch al PC que se encuentra en el módulo de sistema de visión, verificar la comunicación de las cámaras con el EVS, a través del software **MAX NI**. Se debe hacer tanto para la cámara vertical (Figura 29), como para la horizontal (Figura 30).

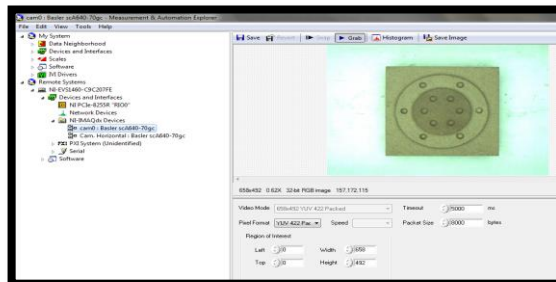


Figura 29: Confirmación cámara vertical.

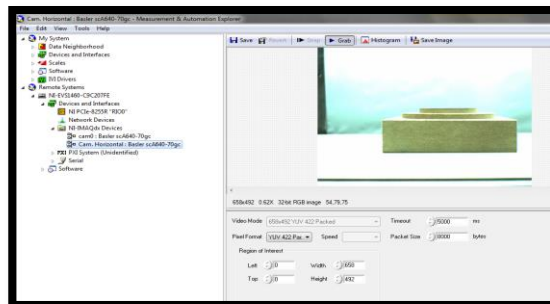


Figura 30: Confirmación cámara horizontal.

41. Cerrar el software **MAX NI**, ejecutar el programa **NI Vision Builder AI** (Figura 31), en el cual se debe seleccionar el modelo del EVS. A continuación escoger el programa para el control de calidad de acuerdo al seleccionado para el proceso de mecanizado.

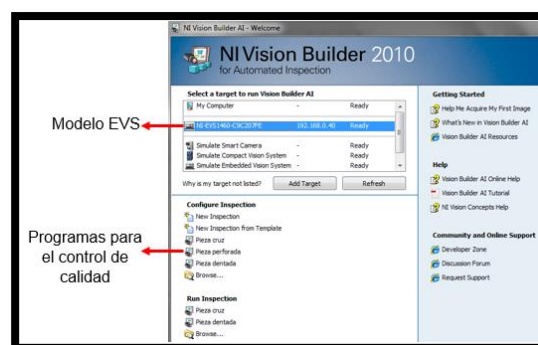


Figura 31: Selección del programa para el control de calidad.

42. Una vez seleccionado el programa, aparece una nueva ventana la cual permite hacer cambios en el programa si fuera el caso (Figura 32).

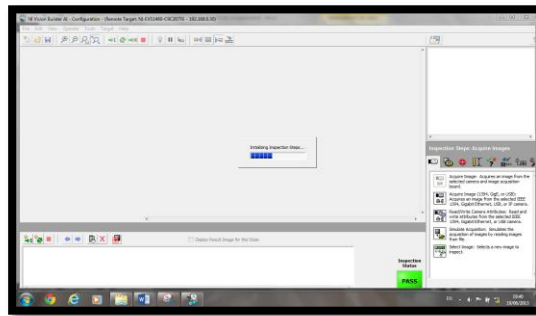


Figura 32: Ventana de visión builder.

43. Presionar Ctrl + I, esperar que salga la nueva ventana y mandar a correr el programa (Figura 33).

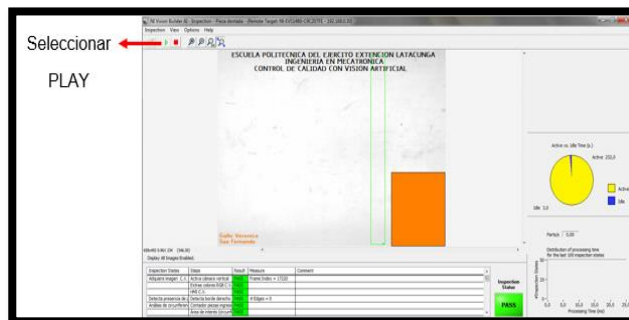


Figura 33: Programa de control de calidad en ejecución.

44. Retirar el paro de emergencia que se encuentra en el KCP.
 45. En las Teclas de Función presionar “**Confirmar Todos**”.
 46. Comprobar que el Selector de Modos de Servicio se encuentre en **Modo Automático** (Figura 34).



Figura 34: Modo automático.

47. Verificar que el ícono **Velocidad de Desplazamiento del Programa** se encuentre al **30%**, caso contrario cambiarlo (Figura 35).

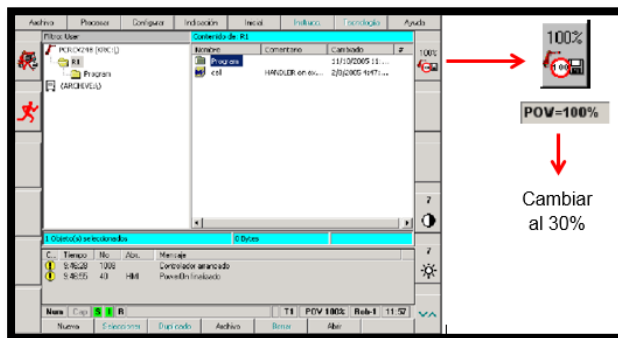
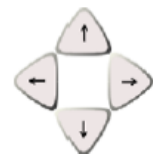


Figura 35: Velocidad de desplazamiento del programa.

48. En el Menú Básico presionar la tecla **“Selección de Ventana”**, hasta que aparezca un recuadro azul en la carpeta llamada **R1**.



49. Con las **“Teclas del Cursor”** seleccionar el programa llamado (*principal_tesis*), que se encuentra dentro de las carpetas: **R1 > TESIS > Programa celda > principal_tesis**.



50. En las Teclas de Función presionar **“Seleccionar”**.
51. Presionar el pulsador **“CON”** y verificar que en la ventana **Línea de Estados** la letra **I** se coloque en color verde; esto indica que el programa está listo para ejecutarse (Figura 36).

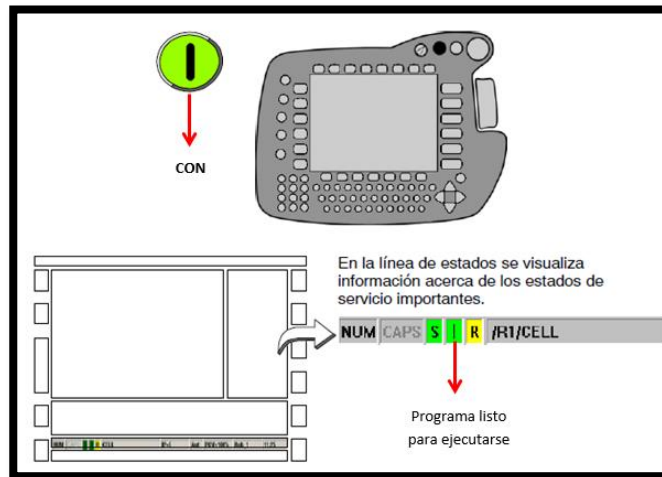


Figura 36: CON y activación de la línea de estado.

52. Para ejecutar el programa presionar dos veces la tecla “**Arranque del Programa**” (Figura 37).

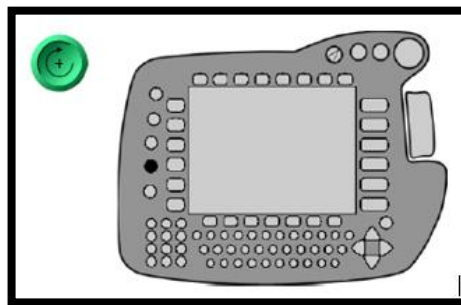


Figura 37: Tecla de arranque.

53. En la touch panel que se encuentra en el módulo de sistema de visión, aparece una pantalla principal llamada **Introducción** (Figura 38), en la cual para ingresar al control del proceso de la celda hay que presionar el botón **HMI** y pide ingresar una clave la cual es: **2404**, digitar y presionar **ENT** (Figura 39).



Figura 38: Pantalla principal.



Figura 39: Teclado para ingresar la clave.

- ✓ En la pantalla llamada **HMI** (Figura 40), se puede observar dos botones los cuales permiten poner en marcha o detener el proceso.

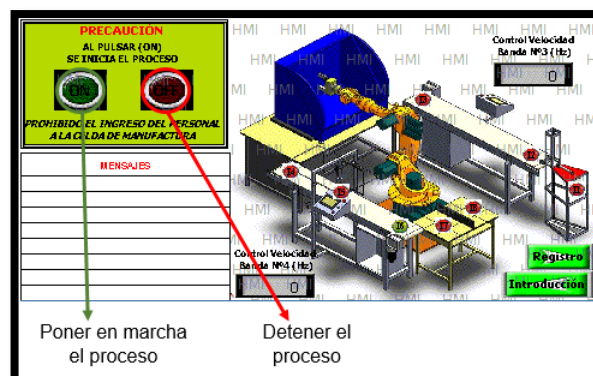


Figura 40: Pantalla HMI.

- ✓ Existe dos ventanas en las cuales se puede ingresar el valor de la velocidad (valor en frecuencia) de las bandas transportadoras, a la cual se desea que se desplacen (Figura 41). Este valor se puede ingresar en cualquier momento, así el proceso esté en ejecución.

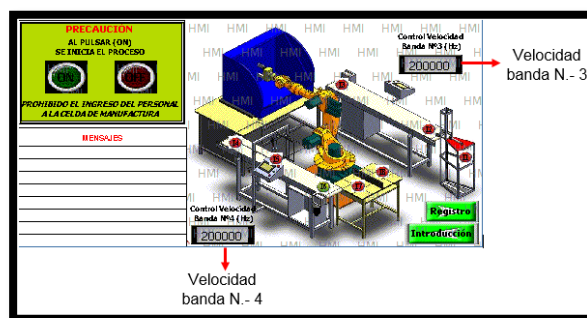


Figura 41: Control de velocidad de las bandas transportadoras.

- ✓ A través de los indicadores luminosos, se puede conocer en qué estación se encuentra el proceso. Esto permite un control visual de la celda para no ingresar a la misma.
- ✓ En la tabla de **Mensajes**, durante el proceso van aparecer los siguientes mensajes:

Proceso activo.- Aparece cuando se pulse el botón **ON**.

Proceso inactivo.- Cuando el proceso esté apagado.

No hay materia prima y reinicie el proceso.- Si en la estación de distribución no existe materia prima. Para lo cual se debe reiniciar el proceso apagándolo o pulsando el paro de emergencia del módulo de sistema de visión.

Existe material en I3.- Cuando en el extremo de la banda transportadora N.- 3 existe materia prima, esperando para que el brazo robótico la transporte.

Anexo R	Manual de operación	Hoja 26 de 27
<p><i>Existe material en I2.-</i> Cuando la materia prima es recién expulsada y el sensor la detecta.</p> <p><i>Expulsión de materia prima.-</i> Cuando el pistón de la estación de almacenamiento se activa.</p> <p><i>Existe pieza en I4.-</i> Cuando la pieza mecanizada pasa por el extremo de la banda transportadora.</p> <p><i>Existe pieza en I6.-</i> Cuando la pieza mecanizada llega al final de la banda transportadora.</p> <p><i>KUKA manipulando.-</i> Cuando el brazo robótico está transportando la materia prima o la pieza mecanizada.</p> <p><i>Mecanizando pieza.-</i> Si el mini entro de mecanizado está en proceso.</p> <p><i>Proceso Ctrl. Calidad y visualizar monitor.-</i> Cuando la pieza mecanizada está pasando por la estación de control de calidad.</p> <p><i>La pieza es buena.-</i> Si el control de calidad determinó que la pieza mecanizada es buena.</p> <p><i>La pieza es mala.-</i> Si el control de calidad determinó que la pieza mecanizada es mala.</p> <p><i>Paro de Emergencia.-</i> Cuando el paro de emergencia del módulo de sistema de visión está activo.</p> <p>✓ Presionando el botón Registro, se ingresa a una nueva pantalla identificada con el mismo nombre (Figura 42).</p>		

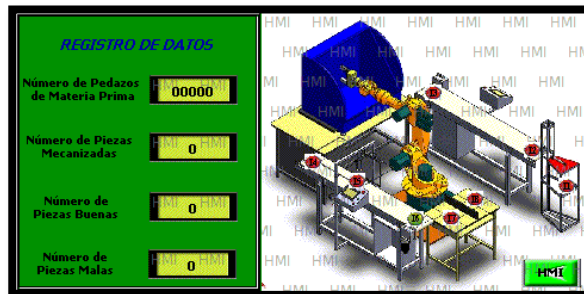


Figura 42: Pantalla de registros.

Esto permite un control de:

- ✓ El número de pedazos de materia prima, que han sido expulsados por la estación de distribución.
- ✓ El número de piezas mecanizadas.
- ✓ Cuantas piezas mecanizadas han sido reconocidas como buenas, a través del control de calidad.
- ✓ Cuantas piezas mecanizadas han sido reconocidas como malas, mediante el control de calidad.

54. Retirar el paro de emergencia del módulo de sistema de visión.

55. En la pantalla **HMI**, presionar el botón **ON** (Figura 43).



Figura 43: Puesta en marcha del proceso.

Elaborado por:

Verónica Marisol Gallo Caiza

Fernando David Saá Tapia

Aprobado por:

Ing. Fausto Acuña
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Certificado por:

Dr. Rodrigo Vaca Corrales
SECRETARIO ACADÉMICO