



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:
INGENIERO EN MECATRÓNICA

AUTORES:

ACOSTA APOLO NORA PATRICIA

CAIZALITÍN QUINALUISA EDWIN ALEJANDRO

TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE
MANUFACTURA ROBOTIZADA, PARA LA RÉPLICA DE PIEZAS
3D, MEDIANTE FRESADO EN EL LABORATORIO DE
ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-EL”

DIRECTOR: ING. ACUÑA FAUSTO

CODIRECTOR: ING. SINGAÑA MARCO

LATACUNGA, AGOSTO 2014

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE

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 ROBOTIZADA, PARA LA RÉPLICA DE PIEZAS 3D, MEDIANTE FRESADO EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-EL” realizado por Nora Patricia Acosta Apolo y Edwin Alejandro Caizalítín Quinaluisa, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Latacunga, agosto del 2014

ING. FAUSTO ACUÑA
DIRECTOR

ING. MARCO SINGAÑA
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ACOSTA APOLO NORA PATRICIA

CAIZALITÍN QUINALUISA EDWIN ALEJANDRO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA, PARA LA RÉPLICA DE PIEZAS 3D, MEDIANTE FRESADO EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-EL”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es nuestra autoría.

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

Latacunga, agosto del 2014

NORA ACOSTA APOLO
C.C.: 050258112-7

EDWIN CAIZALITÍN Q.
C.C.: 050335139-7

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, NORA PATRICIA ACOSTA APOLO

EDWIN ALEJANDRO CAIZALITÍN QUINALUISA

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS-ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA, PARA LA RÉPLICA DE PIEZAS 3D, MEDIANTE FRESADO EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-EL”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, agosto del 2014

NORA ACOSTA APOLO
C.C.: 050258112-7

EDWIN CAIZALITÍN Q.
C.C.: 050335139-7

DEDICATORIA

A mi mami Yolanda, mi hermano Fernando y a Hugo que son los pilares fundamentales en mi vida. A mis abuelitos, tíos y primos. A ti Galito, que el empeño y sacrificio que hiciste en la etapa universitaria y no te fue permitido concluir, se refleje en este trabajo. Para todos ustedes, por el apoyo, aprecio y cariño que me brindan cada día, permiten que sea feliz... se los ama de corazón.

Nora

A mi familia, en especial mis padres Edgar, Nelly y a mi hermano Diego quienes con paciencia y sacrificio han sido el apoyo incondicional durante toda la etapa de vida universitaria. Además a todas las personas que con cariño y desinterés me brindaron su apoyo a través de todo este proceso, para mis amigos quienes dentro y fuera de las aulas me han brindado su apoyo incondicional. Para ellos de todo corazón es dedicado este trabajo.

Edwin

AGRADECIMIENTO

Agradecemos ante todo a Dios, por la vida, sabiduría y guía para poder realizar este proyecto. A nuestros padres y hermanos por la confianza, apoyo y amor incondicional que cada día nos brindan, nos dan la fuerza y valor para seguir adelante y alcanzar nuestros ideales.

A nuestros directores de tesis por el aporte para que nuestro trabajo se concluya de la mejor manera, gracias también a quienes fueron nuestros profesores por el conocimiento impartido y apoyo al crecimiento profesional.

Mil gracias a familiares y amigos por su cariño y consejos, a cada una de las personas que de una u otra manera ayudaron al cumplimiento de este trabajo.

Nora y Edwin

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
PRESENTACIÓN.....	xviii
CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	1
1.3 INTRODUCCIÓN	2
1.4 CELDA DE MANUFACTURA.....	4
1.5 BRAZOS ROBÓTICOS INDUSTRIALES	6
1.5.1 KUKA KR16 (KUKA, 2013)	9
1.6 CABEZAL FRESADOR.....	10
1.6.1 FRESADO.....	11
1.6.2 HERRAMIENTAS DE FRESAR	12
1.6.3 PARÁMETROS DE CORTE DE FRESADO	12
1.6.4 MECANIZADO DE LOS PLÁSTICOS	15
1.6.5 PARÁMETROS DE LOS PLÁSTICOS.....	16
1.7 TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS PARA LA RÉPLICA DE PIEZAS 3D.....	17

1.7.1	INGENIERÍA INVERSA.....	17
1.7.2	ESCANER 3D	18
1.7.3	TÉCNICAS DE ESCANEADO POR CONTACTO.....	19
1.7.4	TÉCNICAS DE ESCANEADO SIN CONTACTO.....	20
1.7.5	PROTOTIPADO RÁPIDO	23
1.7.6	IMPRESIÓN 3D.....	24
1.8	SISTEMAS CAD/CAM.....	25
1.8.1	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR: CAD	25
1.8.2	MANUFACTURA ASISTIDA POR ORDENADOR: CAM.....	26
CAPÍTULO 2.....		28
DISEÑO DE LA CELDA DE MANUFACTURA.....		28
2.1	INTRODUCCIÓN	28
2.2	DISEÑO DE LA CELDA DE MANUFACTURA.....	30
2.3	PARÁMETROS DE DISEÑO.	31
2.3.1	ÁREA DE TRABAJO.....	32
2.3.2	PARÁMETROS DE CORTE.....	33
2.4	DISEÑO DE LA MESA DE TRABAJO.....	38
2.4.1	SISTEMA DE SUJECCIÓN	39
2.4.2	DIMENSIONES DE LA MESA DE TRABAJO	40
2.5	DISEÑO DEL LAYOUT DE LA CELDA.....	42
2.6	SEGURIDADES QUE SE DEBE TENER EN CUENTA AL TRABAJAR EN UNA CELDA ROBOTIZADA DE MANUFACTURA	44
CAPÍTULO 3.....		46
SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA.....		46
3.1	INTRODUCCIÓN	46
3.2	MATERIALES PARA EL MECANIZADO.....	46
3.2.1	GRILON	47
3.3	HERRAMIENTAS PARA EL FRESADO	47
3.4	SISTEMA DE SUJECCIÓN PARA MATERIALES	48
3.5	ESCÁNER 3D	49
3.6	SOFTWARE CAD	51
3.7	SOFTWARE CAM.....	51

3.8	KUKA KR16	51
3.8.1	VARIADOR DE FRECUENCIA JÄGER	53
3.8.2	SOFTWARE KUKA SIM PRO	55
3.9	MESA DE TRABAJO.....	57
CAPÍTULO 4.....		59
IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA		59
4.1	UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES	59
4.2	CONFIGURACIÓN DE LA BASE Y HERRAMIENTAS	61
4.3	PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE RÉPLICAS	65
4.3.1	ADQUISICIÓN DE MODELOS.....	66
4.3.2	DISEÑO Y MODELACIÓN (CAD)	72
4.3.3	MECANIZADO Y CÓDIGOS G (CAM)	76
4.3.4	KUKA CAM Rob PC Y KUKA CAM Rob KRC	83
4.3.5	EJECUCIÓN DEL MECANIZADO.....	100
4.4	TIEMPO DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE RÉPLICAS	102
4.5	PRUEBAS Y RESULTADOS	103
4.5.1	MECANIZADO EN GRILON.....	103
4.5.2	ESCANEO.....	109
4.5.3	ESCANEO Y MECANIZADO	113
4.6	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.	118
4.7	MANUAL DE OPERACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA	118
CAPÍTULO 5.....		119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		119
5.1	CONCLUSIONES.....	119
5.2	RECOMENDACIONES.....	120
BIBLIOGRAFÍA.....		121
LINKOGRAFÍA.....		121
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....		124
ANEXOS.....		125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Propiedades del grilon.	16
Tabla 1. 2: Datos técnicos de fresado para el grilon.	17
Tabla 2. 1: Presión específica de corte del aluminio.	36
Tabla 2. 2: Velocidad de corte y Avance del aluminio.	37
Tabla 3. 1: Datos del robot KUKA KR16.	52
Tabla 3. 2: Descripciones técnicas del cabezal fresador Jäger.	53
Tabla 3. 3: Características de la mesa de trabajo.	58
Tabla 4. 1: Especificaciones del área de trabajo.	60
Tabla 4. 2: Descripción del entorno del CAM Rob.	84
Tabla 4. 3: Códigos G admisibles en el CAM Rob.	85
Tabla 4. 4: Mediciones del diámetro de las circunferencias.	104
Tabla 4. 5: Error en las mediciones de las circunferencias.	105
Tabla 4. 6: Mediciones de los lados de los cuadrados mecanizados.	106
Tabla 4. 7: Error en las mediciones de los lados de los cuadrados.	107
Tabla 4. 8: Mediciones, alturas de las circunferencias y cuadrados.	107
Tabla 4. 9: Error de las mediciones, alturas circunferencias y cuadrados mecanizados en grilon.	108
Tabla 4. 10: Medición del modelo escaneado.	110
Tabla 4. 11: Medición de la réplica mecanizada en aluminio.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Celda de Manufactura robotizada.....	6
Figura 1. 2: Elementos estructurales de un robot industrial.....	7
Figura 1. 3: Punto terminal de un manipulador.....	8
Figura 1. 4: Gripper.....	8
Figura 1. 5: Herramienta de soldadura.....	9
Figura 1. 6: Brazo robótico KUKA KR16.....	10
Figura 1. 7: Cabezal fresador.....	11
Figura 1. 8: Proceso de fresado.....	11
Figura 1. 9: Partes de la fresa.....	12
Figura 1. 10: Generación de una imagen tridimensional de un objeto.....	19
Figura 1. 11: Escaneo por contacto.....	20
Figura 1. 12: Ejemplo del método de luz estructurada.....	21
Figura 1. 13: Principio del método de triangulación y representación de un modelo digital resultante.....	22
Figura 1. 14: Escáneres 3D.....	23
Figura 1. 15: Proceso de Impresión 3D.....	24
Figura 1. 16: Software CAD.....	25
Figura 1. 17: Software CAM.....	26
Figura 2. 1: Elementos de la celda existente en el laboratorio de robótica de la ESPE-L.....	29
Figura 2. 2: Diagrama del proceso para la obtención de réplicas 3D.....	30
Figura 2. 3: Celda de manufactura PRODINTEC con robot para fresado....	31
Figura 2. 4: Medición de alcance del Robot.....	32
Figura 2. 5: Ejemplos de mesas de sujeción para materiales.....	39
Figura 2. 6: Mesa de fresado del centro de mecanizado Leadwell V30.....	39
Figura 2. 7: Juego de bridas para la sujeción.....	40
Figura 2. 8: Diseño de la Mesa de trabajo.....	41
Figura 2. 9: Robot KUKA KR16 con cabezal fresador adaptado en el KUKA Sim Pro.....	42
Figura 2. 10: Layout celda de manufactura robotizada.....	43

Figura 2. 11: Plano celda de manufactura.	43
Figura 2. 12: Ubicación de la mesa de trabajo.....	44
Figura 3. 1: Pieza mecanizada en grilon.....	47
Figura 3. 2: Fresas y conos porta-herramientas ER 16.	48
Figura 3. 3: Juego de bridas para la sujeción de materiales.....	49
Figura 3. 4: Sistema de sujeción de piezas.	49
Figura 3. 5: Escáner 3D Noomeo, Optinum.	50
Figura 3. 6: Variador de frecuencia y velocidad.	54
Figura 3. 7: Conexión eléctrica del entre el variador de frecuencia y el cabezal fresador.	55
Figura 3. 8: Programas usados para el proceso de mecanizado.....	57
Figura 3. 9: Mesa de trabajo.	58
Figura 4. 1: Celda de manufactura robotizada. Brazo robótico industrial KUKA KR16 (1). Cabezal fresador Jäger (2). Mesa de trabajo (3). Escáner 3D (4). PC (5).	59
Figura 4. 2: Dispositivos pertenecientes a la celda de manufactura.	60
Figura 4. 3: Configuración de la base.	61
Figura 4. 4: Método de los 3-Puntos.	62
Figura 4. 5: Ejemplo Medición XYZ 4 Puntos.	62
Figura 4. 6: Configuración de la herramienta.	63
Figura 4. 7: Medición XYZ 4 Puntos.	63
Figura 4. 8: Medición de la herramienta con ABC World.	64
Figura 4. 9: Eje A6 a 180°.	64
Figura 4. 10: Método de medición 5D.	64
Figura 4. 11: Fases principales del proceso para la obtención de réplicas..	65
Figura 4. 12: Conversión Black/White.....	67
Figura 4. 13: Ajustes de vectorización.	67
Figura 4. 14: Vectorización de mapa de bits en Mastercam.	68
Figura 4. 15: Conversión a escala de grises.	68
Figura 4. 16: Obtención de modelo 3D a partir de una fotografía 2D.....	69

Figura 4. 17: Escaneo de una pieza 3D con el escáner.....	69
Figura 4. 18: Herramienta Fine Reconstruction.	70
Figura 4. 19: Filtrar la escala de grises eliminando ruido.....	70
Figura 4. 20: Herramienta Fine Registration.....	71
Figura 4. 21: Herramienta Merge Clouds.....	71
Figura 4. 22: Unión de la nube de puntos.....	71
Figura 4. 23: Herramienta para exportar el archivo de nube de puntos.....	72
Figura 4. 24: Archivo de nube de puntos importado en SolidWorks.....	72
Figura 4. 25: Asistente de preparación de malla.....	73
Figura 4. 26: Suavizado de la malla.....	74
Figura 4. 27: Relleno de taladros en SolidWorks.....	74
Figura 4. 28: Modelo 3D escaneado y transformado a malla.....	75
Figura 4. 29: Superficie de un modelo 3D escaneado.....	75
Figura 4. 30: Parámetros de corte para el fresado.....	77
Figura 4. 31: Tipo de mecanizado y herramienta.....	77
Figura 4. 32: Herramienta para simular las trayectorias de mecanizado.....	78
Figura 4. 33: Grabado de una imagen 2D en Mastercam.....	78
Figura 4. 34: Extracción de códigos G.....	78
Figura 4. 35: Selección del mecanizado en el Art.....	79
Figura 4. 36: Parámetros de corte para realizar desbaste.....	79
Figura 4. 37: Pieza 3D mecanizada con Art de Mastercam.....	80
Figura 4. 38: Trayectorias de mecanizado en Mastercam.....	80
Figura 4. 39: Pieza mecanizada en Mastercam y Códigos G.....	81
Figura 4. 40: Herramienta Multiejes.....	81
Figura 4. 41: Convertir a 5 ejes.....	82
Figura 4. 42: Operaciones para convertir a 5 ejes.....	82
Figura 4. 43: Códigos G sin interpolaciones circulares.....	83
Figura 4. 44: Entorno del KUKA Sim Pro y KUKA CAM Rob PC.....	84
Figura 4. 45: KUKA Sim Pro versión 2.1.0.....	86
Figura 4. 46: Layout en KUKA Sim Pro.....	86
Figura 4. 47: KUKA CAMRob PC.....	87
Figura 4. 48: Información del trabajo.....	87

Figura 4. 49: Job Map.	87
Figura 4. 50: Sincronizar herramientas.	88
Figura 4. 51: Cargar el \$config.dat y sincronizar bases y herramientas.	89
Figura 4. 52: Sincronizar bases.	89
Figura 4. 53: Cargar el proceso con el archivo NC.	89
Figura 4. 54: Ajustes para el proceso de fresado.	90
Figura 4. 55: Cargar número de base.	90
Figura 4. 56: Filtrado de puntos de mecanizado.	91
Figura 4. 57: Parámetros de la herramienta.	91
Figura 4. 58: Parámetros del proceso.	92
Figura 4. 59: Offset para la base.	92
Figura 4. 60: Estrategia de la herramienta.	93
Figura 4. 61: Parámetros de movimiento y simulación.	93
Figura 4. 62. Resultados del proceso.	94
Figura 4. 63: Proceso concluido.	94
Figura 4. 64: Seleccionar base y herramienta para movimiento PTP.	95
Figura 4. 65: Puntos PTP.	95
Figura 4. 66: Punto Home.	95
Figura 4. 67: Simular trabajo.	96
Figura 4. 68: Generación de código de trabajo para el robot.	97
Figura 4. 69: Exportar archivo de trabajo.	97
Figura 4. 70: Guardar Job Map.	98
Figura 4. 71: Carpeta Applications Data.	98
Figura 4. 72: Copiar archivos .src y .dat.	99
Figura 4. 73: Insertar archivos a ejecutar.	99
Figura 4. 74: Ejecutar programa.	99
Figura 4. 75: Programa .src a ejecutarse.	100
Figura 4. 76: Pantalla del CAM Rob en el KRC.	100
Figura 4. 77: Réplicas mecanizadas con el brazo robótico y el cabezal fresador.	102
Figura 4. 78: Tiempo empleado para la obtención de réplicas 3D.	102
Figura 4. 79: Pruebas realizadas para determinar la precisión.	103

Figura 4. 80: Gráfico de mediciones de las circunferencias.....	104
Figura 4. 81: Cuadrado mecanizado.....	105
Figura 4. 82: Gráfico de mediciones de los cuadrados.	106
Figura 4. 83: Gráfico de mediciones, alturas de las circunferencias y cuadrados mecanizados en grilon.	108
Figura 4. 84: Pieza en aluminio.....	109
Figura 4. 85: Pieza escaneada y modelada.....	109
Figura 4. 86: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.....	111
Figura 4. 87: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia grande.	111
Figura 4. 88: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia pequeña. ...	112
Figura 4. 89: Gráfico de mediciones, lados del rombo.....	112
Figura 4. 90: Pieza mecanizada en aluminio.	114
Figura 4. 91: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.....	115
Figura 4. 92: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia.	116
Figura 4. 93: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia pequeña.....	116
Figura 4. 94: Gráfico de mediciones, lados del rombo.....	117

RESUMEN

En la manufactura, una de las operaciones frecuentes es la réplica de partes y piezas utilizando múltiples procesos complejos, costosos y demorados hasta obtener el modelo exacto. Una de las tecnologías para la réplica de piezas 3D en la actualidad es a través de un escáner 3D, que digitaliza un objeto y crea una nube de puntos que se recubren en una malla dando su forma final. La información que se obtiene mediante este proceso se puede utilizar para varias aplicaciones industriales en el campo de la manufactura, a través de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) para la reproducción de las piezas o a su vez mediante brazos robóticos industriales que están a la vanguardia en celdas de manufactura en los países industrializados. Para la réplica, se utiliza herramientas informáticas tales como: NumiSoft que junto con el escáner digitaliza piezas en 3D, la aplicación SolidWorks, adquiere los datos escaneados y los convierte en superficies, Mastercam, obtiene las trayectorias para el mecanizado y el complemento CAM Rob de KUKA Sim Pro, que genera el lenguaje del robot a partir de los códigos G, éste se exporta al controlador del robot, permitiendo así que el brazo robótico junto al cabezal fresador realice las trayectorias de fresado y se obtenga de esta manera las réplicas. A través de las pruebas y resultados se determinó que: el proceso de réplica de piezas no es totalmente exacto, debido a fallas en el escaneo y en menor proporción a la precisión de la máquina durante el mecanizado.

PALABRAS CLAVE:

**INGENIERÍA MECATRÓNICA\ BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL\
CABEZAL FRESADOR\ RÉPLICAS 3D\ FRESADO**

ABSTRACT

In manufacturing, one of the frequent operations is the replicate of parts and pieces using multiple complex, expensive and slow processes until to get an exact model. Nowadays, one of the technologies to replicate 3D pieces is through a 3D scanner, that digitizes an object and creates a cloud of points which generates a mesh giving it is final form. The information obtained by the scan can be used in several industrial applications in the field of manufacturing through CNC machines (Computer Numerical Control) to reproduce the pieces or also for industrial robotic arms that are at the forefront in manufacturing cell in industrialized countries. For replication, it is used software tools such as: The NumiSoft, along with the 3D scanner digitalized pieces, SolidWorks application, acquires the scanned data and becomes in area of surfaces, the Mastercam, gets the paths for machining and the complement CAM Rob of KUKA Sim Pro, which generates the language of the robot from the G codes, that is exported to the robot controller, allowing that the robotic arm and the spindle execute the milling toolpaths in order to get the replicas. Through the tests and results was determined that: the process of replica pieces is not completely exact, due to faults in scanning and in lesser proportion to machine accuracy during machining.

KEYWORDS:

**MECHATRONICS ENGINEERING\ INDUSTRIAL ROBOTIC ARM\
SPINDLE\ REPLICA 3D\ MILLING**

PRESENTACIÓN

El desarrollo de este proyecto es un ejemplo de la combinación de conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, aplicando criterios de ingeniería y otros factores necesarios para el diseño e implementación de una celda de manufactura, situada en el laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, utilizando el brazo robótico KUKA KR16 y sistemas CAD/CAM.

El Capítulo I contiene la información referente a celdas de manufactura, brazos robóticos industriales y sus elementos de control final, cabezal fresador, el fresado y sus parámetros, herramientas de fresado, tecnologías para la réplica de piezas 3d, sistemas CAD/CAM e información necesaria para el desarrollo del proyecto.

El Capítulo II detalla el diseño de la celda de manufactura, parámetros de diseño, área de trabajo, layout de la celda y características de componentes utilizados para la implementación, también las seguridades que se deben tener en cuenta al trabajar en una celda robotizada de manufactura.

En el Capítulo III se seleccionan los componentes de la celda, materiales para el mecanizado, herramientas para el fresado, el sistema de sujeción de materiales. Se detallan demás componentes y software a usarse para el proyecto. Se elaborarán diagramas y planos que definirán la estructura física de la celda de manufactura y las características de cada uno de los elementos que la conforman

En el Capítulo IV se procede a la implementación de la celda, se realiza pruebas experimentales y se obtiene resultados del proceso de replicado de piezas, los mismos que permiten validar la hipótesis planteada.

En el Capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones, con las cuales se permitirá trabajar en proyectos futuros y utilizar de forma adecuada la celda de manufactura.

La finalidad del proyecto es proporcionar a los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica, Electromecánica y carreras afines una herramienta didáctica, con el objetivo de que adquieran un conocimiento más amplio en lo referente al uso de sistemas de manufactura y manipulación de equipos utilizados en procesos industriales.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga, existe un cabezal fresador acoplado a un brazo robótico industrial, mediante el cual se pueden mecanizar piezas a partir de modelos realizados en programas CAD, realizar todos estos pasos implica un periodo largo de tiempo para el modelado de piezas, además se necesita tener conocimientos y gran habilidad para el diseño mediante software CAD. Para lo cual se implementará un sistema, que permitirá la reproducción de piezas optimizando el tiempo del proceso.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el proceso de diseño de piezas, se empleará un sistema de duplicado, el cual obtendrá modelos de las mismas, disminuyendo el tiempo de proceso comparado con el tiempo que se emplea en diseñar un archivo CAD, por lo cual se justifica el tema.

El presente proyecto es relevante, porque servirá como referencia para que empresas que trabajan en el área de mecanizado conozcan de esta tecnología, analicen las ventajas y desventajas de ésta, e inicien la implementación de la misma en el sector industrial.

Este proyecto es de gran interés para la Institución, ya que, permitirá disponer de tecnología de punta con el cual se investigará y dará solución a problemas de la sociedad, como en los sectores de la arquitectura, industria y en la medicina a través de las prótesis.

1.3 INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la manufactura ha sido practicada por artesanos y sus aprendices, se ha venido practicando durante miles de años, empezando a tallar piedra, madera, metales, entre otros.

Con la llegada de la segunda revolución industrial la manufactura se benefició con la tecnología de las computadoras y diversos dispositivos electrónicos, haciendo posible el desempeño de tareas con una mayor eficiencia, mayor control y administración, teniendo un bajo costo.¹

Las celdas de manufactura son usadas con frecuencia en las industrias manufactureras, cuyo objetivo es entregar un excelente producto optimizando sus procesos, con el fin de lograr eficiencia en la producción.

La robótica inició formalmente en el siglo XVIII en la industria textil que se encontraba en pleno crecimiento con la creación de una máquina que realizaba tareas textiles, era programada por tarjetas perforadas, después de este artefacto empezó la revolución industrial, el primer brazo robótico en la industria se introdujo en el mercado en 1960 y fue llamado "Unimate" que estaba basado en la transferencia de artículos y fue ingresado al mundo industrial por The Ford Motor Company (Robotic Spot, 2004).

El uso de robots industriales junto con los sistemas de diseño asistidos por computadora (CAD), y los sistemas de fabricación asistidos por computadora (CAM), son la última tendencia en automatización de los procesos de fabricación (Ramos, Gonzáles, & Melendez, 2008).

¹ Educación, técnica y tecnología. (s.f). Obtenido de: <http://usuarios.multimania.es/ramirovega/archivos/UNIDAD%201.pdf>

En la actualidad las celdas de manufactura son completamente automatizadas, usando máquinas CNC que realizan diversas tareas de manufactura de todo tipo de objetos, sean éstos, bidimensionales y tridimensionales, junto con el Control Numérico Computarizado (CNC) que permite controlar mediante un software una herramienta que está montada en una máquina, la misma que deja de ser manual y pasa a realizar todos los movimientos y funciones de forma automática, para ello, se necesita de programación.

Hoy, las industrias manufactureras e incluso laboratorios de manufactura en entidades educativas como escuelas, colegios y universidades técnicas, tienden a implementar sus laboratorios de producción con maquinarias de menos costo y que se adapten con más facilidad al entorno de trabajo, sean estos espacios pequeños.

A nivel internacional existen empresas que cuentan con celdas de manufactura robotizadas de soldadura, mecanizado, paletizado, corte con plasma o láser, etc., aplicadas en sectores automotrices, metalmecánicos, áreas de diseño, medicina, industria alimentaria, maderera, metalúrgica, del plástico y otros. En la aeronáutica brazos robóticos que ayudan al ensamblaje de estructuras de aviones y carrocerías.

En la medicina por ejemplo, gracias a los sofisticados programas de diseño, al avance de la robótica y la investigación en biomateriales, es posible lograr restauraciones cerámicas parciales o completas, diseñadas y procesadas por sistemas computarizados como la digitalización, el diseño y el maquinado (Fac. Odontología UCV, 2014).

Los robots industriales son la última tendencia en la automatización de procesos de fabricación. En Latinoamérica, en países como México,

Argentina, Chile, Brasil existen celdas de manufacturas con robot, Colombia se está acoplando a ésta tecnología.

La robótica integrada a la manufactura en el Ecuador es aún pobre, no se adapta a esta nueva tecnología, el país depende aún de la agricultura y la mano de obra. No somos un país industrializado y pocas son las empresas que cuentan con brazos robóticos en sus fábricas, esto se debe a los altos costos. Se pueden citar empresas ecuatorianas que usan brazos robóticos en lo que es paletizado, la Cervecería Nacional (Quito), Cerámicas Graiman Cia. Ltda (Cuenca), Aymesa S.A. en cambio usa robots para soldadura y pintado de partes de la carrocería de vehículos.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga cuenta con un laboratorio de Robótica Industrial compuesto por celdas robotizadas de: soldadura, paletizado y manufactura, esta última integrada por el robot y un cabezal fresador; esto hace que la Institución sea pionera a nivel nacional en el uso de brazos robóticos para el aprendizaje de los estudiantes, implementando aplicaciones industriales.

1.4 CELDA DE MANUFACTURA

Una celda de manufactura es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto.

En la actualidad, es cada vez más frecuente encontrar empresas con un grado de automatización elevado, que utilizan celdas de manufactura en sus procesos de fabricación. El uso de celdas de manufactura robotizadas permite obtener altos grados de eficiencia en la producción, mantener estándares elevados de calidad y la capacidad de realizar con rapidez las

modificaciones que requiere el proceso productivo, para adecuarse a nuevas necesidades del mercado (Díaz, 2013).

La introducción de robots en el campo de la manufactura no sólo permite liberar al hombre de estas tareas, sino que favorece el aumento de productividad, debido a la mayor fuerza y velocidad con la que los robots pueden realizar las tareas.

Las ventajas del robot frente al uso de maquinaria dedicada residen en la capacidad del robot para trabajar en geometrías complejas y en su adaptabilidad ante los cambios en el diseño de la pieza o ante una producción muy diversificada (Rivas & Rentería, 2000). En la Figura 1.1 se presenta un esquema de una celda de manufactura con brazo robótico.

Los principales objetivos de la implementación de una celda de manufactura son:

- ✓ Reducir los tiempos de preparación de equipos.- esto se refiere a la flexibilidad en utilizar los mismos equipos y herramientas para diferentes procesos de producción.
- ✓ El tiempo dentro del proceso.- se refiere al tiempo en el que se elabora una parte del producto en una parte específica de la celda de manufactura.



Figura 1. 1: Celda de Manufactura robotizada.

Fuente: ABCONTROL (2012). Celdas Robotizadas de manufactura. Obtenido de <http://www.abcontrol.com.mx/?p=1242.1292.1296>

1.5 BRAZOS ROBÓTICOS INDUSTRIALES

Dentro del campo de la automatización industrial, uno de los elementos considerados de más utilidad son los robots industriales debido a sus aplicaciones, flexibilidad, precisión, entre otras características. La evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), que define primero el manipulador y basándose en dicha definición, el robot:

- ✓ Manipulador: mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

- ✓ Robot: manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos

especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Un brazo robótico está formado de una secuencia de elementos estructurales rígidos, llamados eslabones, conectados entre sí mediante articulaciones, que permiten el movimiento relativo de cada dos eslabones consecutivos, éstos se muestran en la Figura 1.2.

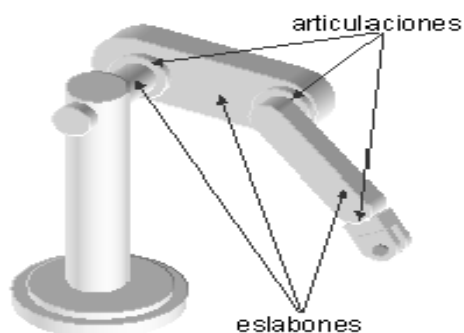


Figura 1. 2: Elementos estructurales de un robot industrial.

Fuente: González , V., & López , A. (2013). *Robots industriales*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm

Al robot se le adapta un elemento terminal o actuador final, el cual es una herramienta especial que le permite realizar una aplicación en particular, que debe diseñarse específicamente para dicha aplicación, la cuál puede ser una herramienta de sujeción, de soldadura, de pintura, etc.

El punto más significativo del elemento terminal se denomina punto terminal (PT), en la Figura 1.3 se muestra el punto terminal de un manipulador.

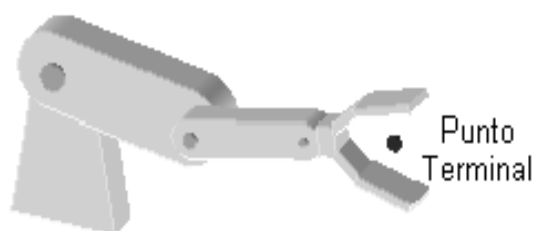


Figura 1. 3: Punto terminal de un manipulador.

Fuente: González , V., & López , A. (2013). *Robots industriales*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm

Los elementos terminales pueden dividirse en dos categorías:

- ✓ pinzas (gripper)
- ✓ herramientas

Las pinzas se utilizan para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo y sujetarla durante el ciclo de trabajo del robot, el ejemplo de sujeción de una pieza con un gripper, se muestra en la Figura 1.4. Existe una diversidad de métodos de sujeción que pueden utilizarse, además de los métodos mecánicos de agarre de la pieza entre dos o más dedos también se emplea casquillos de sujeción, imanes, ganchos, y cucharas.



Figura 1. 4: Gripper.

Fuente: SCHUNK. (2014). Pinza de presión paralela eléctrica de 2 mandíbulas. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/schunk/pinzas-presion-paralelas-electricas-2-mandibulas-69812-1283395.html>

Una herramienta se utiliza como actuador final en aplicaciones en donde se exija al robot realizar alguna operación sobre la pieza de trabajo. Estas aplicaciones incluyen la soldadura por puntos mostrada en la Figura 1.5, la soldadura por arco, la pintura por pulverización y las operaciones de fresado. En cada caso, la herramienta particular está unida a la muñeca del robot para realizar la operación (González & López , 2013).



Figura 1. 5: Herramienta de soldadura.

Fuente: KUKA Robots. (2013). Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/spain/es/pressevents/news/NN_090907_Fundacion_Prodintec_Investigacion.htm

1.5.1 KUKA KR16 (KUKA, 2013)

El KUKA KR16 es un robot industrial versátil y flexible, dispone de una capacidad de carga de 16 kg y su construcción lo convierte en idóneo para aquellas instalaciones en las que se desea ahorrar espacio y costes, el robot se muestra en la Figura 1.6.

El brazo robótico consta de 6 ejes, por ello, el robot puede funcionar como una máquina CNC de 5 ejes. Entre las ventajas que posee el KUKA KR16 se tiene:

- ✓ Respecto a otras máquinas CNC para mecanizado, el robot puede operar sobre diferentes áreas de trabajo, dependiendo de la base programada.
- ✓ Aplicación flexible en la producción y ahorro de espacio.
- ✓ Máxima libertad de movimiento.



Figura 1. 6: Brazo robótico KUKA KR16

Fuente: KUKA. (2013). *KUKA Industrial Robots - KR 16 - Kuka Robotics*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PF0033_KR_6-2_KR_16-2_es.pdf

1.6 CABEZAL FRESADOR

Un cabezal fresador es un elemento terminal, el cual se acopla a la muñeca del robot industrial con el fin de ejecutar operaciones de mecanizado mediante fresado sobre distintos tipos de materiales.

La Figura 1.7 muestra un cabezal fresador realizando una operación de mecanizado, en este caso, fresado.



Figura 1. 7: Cabezal fresador.

Fuente: KUKA Robots. (2013). Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/spain/es/pressevents/news/NN_090907_Fundacion_Prodintec_Investigacion.htm

1.6.1 FRESADO

En el proceso de fresado que se muestra en la Figura 1.8, una herramienta con múltiples filos cortantes se mueve lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta. La dirección del movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación. El movimiento de velocidad lo proporciona la fresa rotatoria (Groover, 1997).



Figura 1. 8: Proceso de fresado.

Fuente: Robots in Architecture. (2014). *Association for Robots in Architecture*. Obtenido de <http://www.robotsinarchitecture.org>

1.6.2 HERRAMIENTAS DE FRESAR

Las herramientas para fresar usualmente llamadas fresas, arrancan viruta a través del filo de sus dientes mediante un movimiento de rotación.

Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, el material en el que está construida, el número de labios o dientes y el sistema de sujeción a la máquina (EUDI, 2013). Las partes de la fresa se muestran en la Figura 1.9.

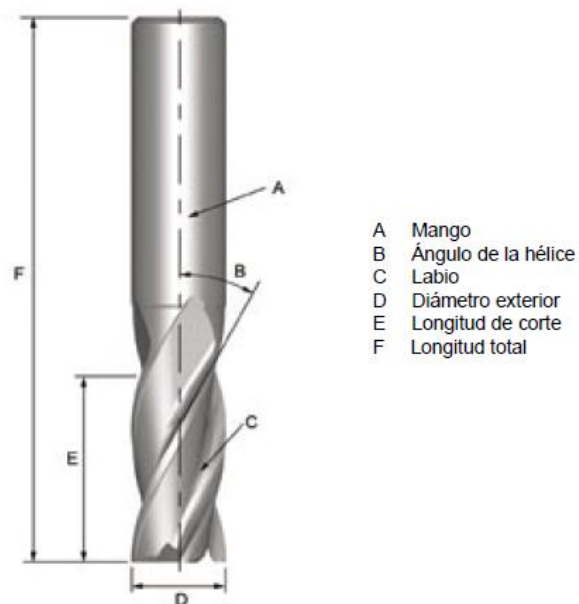


Figura 1. 9: Partes de la fresa.

Fuente: EUDI. (2013). *FRESAS - Obradoiro eShapeoko*. Obtenido de <http://obradoiroeshapeoko.wordpress.com/2013/11/10/tipos-de-fresas/>

1.6.3 PARÁMETROS DE CORTE DE FRESADO

Los parámetros de corte fundamentales que hay que considerar en el proceso de fresado son los siguientes:

✓ Velocidad del Husillo (n).- Expresada en revoluciones por minuto (rpm), es la velocidad de giro que el motor principal de la máquina da a la herramienta, se calcula mediante la Ec. 1.1.

$$n(rpm) = \frac{V_c \left(\frac{m}{min} \right) \cdot 1000 \left(\frac{mm}{m} \right)}{\pi \cdot d(mm)} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Dónde:

V_c es la velocidad de corte.

n es la velocidad de rotación de la herramienta.

d es el diámetro de la herramienta.

✓ Velocidad de corte (V_c).- Es la velocidad lineal de la periferia de la fresa, se expresa en metros por minuto (m/min), se calcula mediante la Ec.1.2.

$$V_c \left(\frac{m}{min} \right) = \frac{n(rpm) \cdot \pi \cdot d(mm)}{1000 \left(\frac{mm}{m} \right)} \quad \text{Ec. 1.2}$$

✓ Velocidad de avance (V_f).- Es la distancia recorrida por la herramienta contra la pieza por unidad de tiempo se expresa en milímetros sobre minuto.

✓ Avance por revolución (f).- Es la distancia que se mueve la herramienta durante una rotación viene expresada en milímetros sobre revolución y se calcula mediante la Ec. 1.3.

$$f \left(\frac{mm}{rev} \right) = \frac{V_f \left(\frac{mm}{min} \right)}{n \left(\frac{rev}{min} \right)} \quad \text{Ec. 1.3}$$

✓ Avance por diente (fz).- Es la distancia que recorre la herramienta mientras un diente en concreto está implicado en el corte viene expresada en milímetros por diente, se calcula mediante la Ec. 1.4.

$$fz \left(\frac{mm}{diente} \right) = \frac{vf \left(\frac{mm}{min} \right)}{n \left(\frac{rev}{min} \right) \cdot z} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Dónde:

z es el número de dientes.

✓ Tiempo de mecanizado (Tm).- Para calcular el tiempo de mecanizado en una fresadora hay que tener en cuenta la longitud de aproximación y salida de la fresa de la pieza que se mecaniza, se obtiene a través de la Ec. 1.5 (ISA Ingeniería de Sistemas y Automática, 2007).

$$Tm(min) = \frac{\text{longitud de aproximación}(mm) + \text{longitud e la pieza}(mm)}{vf \left(\frac{mm}{min} \right)} \quad \text{Ec. 1.5}$$

✓ La potencia de corte (Pc), es la potencia que debe ser capaz de proporcionar la máquina a los filos para impulsar la acción de mecanizado. Es necesario tener en cuenta la eficiencia de la máquina para seleccionar los datos de corte, la misma que se calcula con la Ec. 1.6 (IMOCON, s.f.).

$$Pc = Fc \cdot Vc \quad \text{Ec. 1.6}$$

✓ La presión específica de corte depende del material y puede variar considerablemente de uno a otro, siendo afectada por los cambios en la sección de corte, ángulos y velocidad. La fórmula para la presión específica de corte viene dada en función a la fuerza de corte ejercida sobre el área de corte, se calcula mediante la Ec. 1.7 (IMOCON, s.f.).

$$K_s = \frac{F_c}{A_c} \quad \text{Ec. 1.7}$$

✓ La potencia de mecanizado es aquella que se debe generar durante todo el proceso de mecanizado. Se obtiene a través del rendimiento de la máquina. Se calcula mediante la Ec. 1.8 (ISA Ingeniería de Sistemas y Automática, 2007).

$$\eta = \frac{P_c}{P_m} \quad \text{Ec. 1.8}$$

1.6.4 MECANIZADO DE LOS PLÁSTICOS

El mecanizado de los plásticos presenta frente al procesado de otros materiales, los siguientes problemas:

- ✓ Desgarre (formación de grandes grietas): para evitarlo se debe mecanizar a velocidades altas y los radios de curvatura en el plegado y curvado deben ser grandes.
- ✓ Calentamiento de la pieza: debido a la baja conductividad térmica de los plásticos se deben realizar las operaciones de arranque de viruta sin que se caliente en exceso el material. Una temperatura excesiva provocaría una viruta pastosa que se puede adherir a partes de la máquina, pero además los plásticos termoestables podrían llegar a descomponerse y los termoplásticos llegarían a deformarse por fusión.

Para evitarlo:

- ✓ Los avances de las máquinas-herramientas deben ser pequeños.

Las herramientas de corte para trabajar los plásticos deben tener resistencia al calor y al desgaste.

Conviene, para el fresado de plástico, un paso amplio de la fresa (Tecnología de los plásticos, 2011). La Tabla 1.1 indica las propiedades del grilon (Alberti, 2013).

Tabla 1. 1: Propiedades del grilon.

PROPIEDAD	UNIDAD	GRILON
DENSIDAD	g/cm^3	1.14
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	Kg/cm^2	630
ELONGACIÓN	%	60 – 300
MÓDULO DE ELASTICIDAD	Kg/cm^2	1.88×10^4
DUREZA	- - - -	R 119
RESISTENCIA AL IMPACTO	$ft.lb/in$	0.8 – 5.5
RESISTENCIA DIELECTRICA	$Kvolt/mm$	23
TEMPERATURA DE TRABAJO	°C	90*

*A mayor esfuerzo mecánico, menor temperatura.

1.6.5 PARÁMETROS DE LOS PLÁSTICOS

Se debe conocer los parámetros principales de fresado del material más duro a mecanizar, que en este caso son plásticos. Los datos para el fresado del grilon (Alberti, 2013), en la Tabla 1.2.

Tabla 1. 2: Datos técnicos de fresado para el grilon.

	<i>UNIDAD</i>	<i>NYLON 6</i>
ÁNGULO DE INCIDENCIA	°	10 - 20
ÁNGULO DE VIRUTAS	°	5 - 15
AVANCE	mm/t	> 0.02
VELOCIDAD DE CORTE	m/min	<1000

1.7 TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS PARA LA RÉPLICA DE PIEZAS 3D

Con la tecnología actual existen varias herramientas para la obtención de réplicas 3D y reproducción de prototipos, según sea la necesidad en la industria manufacturera, industria del cine, ingeniería, arquitectura, arqueología, medicina, etc. e incluso uso doméstico.

Las técnicas de Ingeniería Inversa y prototipado rápido son las más conocidas en el sector productivo manufacturero para los procesos de digitalización en 3D. El escáner 3D y la impresión 3D junto a los sistemas CAD/CAM, son herramientas utilizadas habitualmente para la fabricación de réplicas.

1.7.1 INGENIERÍA INVERSA

La ingeniería inversa es un método válido para la creación o recreación de nuevos productos a partir de productos existentes y a veces obsoletos, la copia de modelos sin necesidad de planos y, hasta para la evaluación de conformidad de modelos CAD 3D con modelos originales o pruebas de manufactura (Cano, 2013).

La ingeniería inversa en la industria es más comúnmente asociada con la digitalización de la geometría de los objetos físicos. Su resultado es un modelo digital que constituye una base para el trabajo, permitiendo el uso directo de los datos, se hace un análisis de comparación con el objeto físico y se perfecciona su diseño. Su uso es cada vez mayor en las tecnologías de fabricación asistida por ordenador en máquinas de control numérico.

El proceso de digitalización nació de la necesidad de una manera más precisa, eficaz y veloz de representar objetos de diferentes formas, figuras, texturas, etc., con el fin de crear los productos a partir de alguno ya existente; así como una forma de reducir el tiempo de producción de una parte (Luis Gómez Martínez, 2012).

A continuación, una comparación de ventajas y desventajas al hacer uso del diseño tradicional respecto la ingeniería inversa:

- Diseño tradicional: Medir el modelo y reproducirlo a través de CAD.
 - Requiere un trabajo complejo: dilatación de tiempo.
 - No reproduce los modelos con gran exactitud: formas no analíticas difíciles de reproducir.

- Ingeniería inversa: Obtener el modelo y traducirlo en CAD (digitalización de los objetos físicos).
 - Ahorro de tiempo y reducción de costes.
 - Utiliza un sistema de gran precisión.

1.7.2 ESCANER 3D

El escáner 3D es un dispositivo de digitalización sin contacto que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su

color. El propósito de un escáner 3D es, generalmente, el de crear una nube de puntos a partir de muestras geométricas en la superficie del objeto.

El servicio de escáner 3D se encarga de copiar la pieza y transformarla en un archivo digital CAD / CAM que puede ser editado posteriormente, el proceso de cómo generar una imagen tridimensional de un objeto se aprecia en la Figura 1.10, facilita también la recuperación y reparación de piezas rotas (Ríos, 2013).

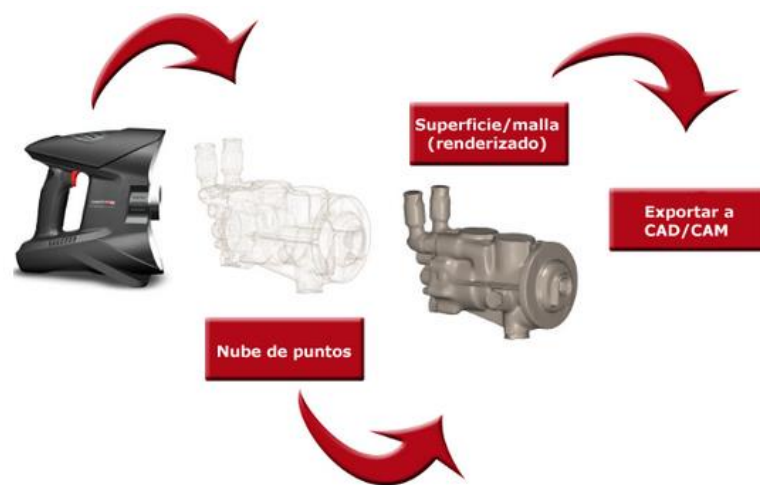


Figura 1. 10: Generación de una imagen tridimensional de un objeto.

Fuente: Accendi solutions. (2013). Numisoft escáner. Obtenido de <http://www.accendi.es/escaneres-3d/numisoft/>

Existen dos tipos de técnicas de escaneo:

- ✓ Por contacto.
- ✓ Sin contacto.

1.7.3 TÉCNICAS DE ESCANEO POR CONTACTO

Las técnicas de escaneo por contacto son las que exploran la superficie de los objetos por medio del contacto físico. Alcanzan gran precisión y son usados frecuentemente en la industria. Sin embargo, el tiempo de escaneo

es lento en comparación con otros métodos y al depender del contacto físico puede causar daños o modificaciones a la superficie de los objetos.

La Figura 1.11 muestra un escaneo por medio de punta exploratoria montada sobre un brazo robot.



Figura 1. 11: Escaneo por contacto.

Fuente: Ramírez, G. (2014). Técnicas para el modelado tridimensional de artefactos arqueológicos. Obtenido de <http://remarq.ning.com/page/tecnicas-para-el-modelado-tridimensional-de-artefactos-arqueologi>

1.7.4 TÉCNICAS DE ESCANEO SIN CONTACTO

Estas técnicas utilizan equipos que emiten cierto tipo de energía, por ejemplo luz o sonido, para examinar la superficie del objeto a escanear. Se pueden subdividir en activas y pasivas. Las activas consisten en técnicas que no emiten ninguna clase de radiación pero se enfocan en detectar la reflejada en el ambiente como puede ser la luz visible. Las pasivas son aquellas técnicas que se caracterizan por emitir alguna clase de radiación (luz, ultrasonido u ondas de radio).

La medición de la forma del objeto se logra analizando la energía reflejada o transmitida por la superficie del objeto. Ejemplo de escáneres que usan las técnicas sin contacto se tiene:

a. Escáneres 3D de luz estructurada.

Este tipo de escáneres proyectan una línea de luz en el objeto y miran la deformación de la luz provocada por la superficie del mismo con base a las diferentes distancias en las que choca la luz. Esto produce una imagen bidimensional, que al ser complementada con la información de la profundidad produce una referencia tridimensional de cada punto capturado.

La ventaja de esta técnica de escaneo es que realiza mediciones de múltiples puntos a la vez, agilizando el tiempo de escaneo de objetos o ambientes.

Utilizar esta técnica requiere del procesamiento de múltiples imágenes para generar la escena completa, y el ángulo de captura servirá como referencia para establecer la ubicación espacial de los puntos concordantes. Un ejemplo del método de luz estructurada muestra la Figura 1.12.

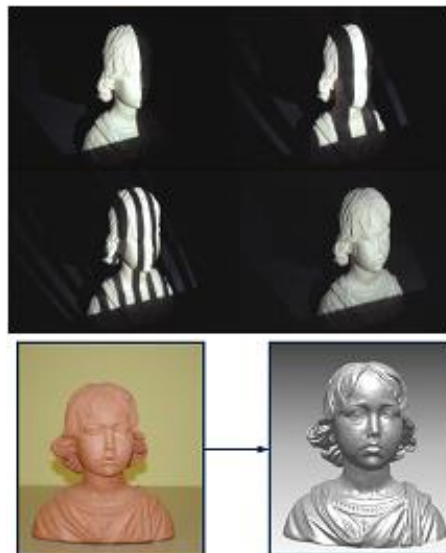


Figura 1. 12: Ejemplo del método de luz estructurada.

Fuente: Ramírez, G. (2014). Técnicas para el modelado tridimensional. Obtenido de <http://remarq.ning.com/page/tecnicas-para-el-modelado-tridimensional-de-artefactos-arqueologi>

b. Escáneres láser por medio del método de triangulación.

Este tipo de escaneo, utiliza el principio de triangulación activa basado en la aplicación de un haz de luz por medio de un emisor láser sobre la superficie de la escena que examina; posteriormente la luz reflejada del láser es captada por un sistema óptico (cámara digital), el cual a través de un sensor denominado dispositivo de acoplamiento por carga (CCD), que se encuentra dentro de la cámara, ubica las medidas de profundidad de la superficie inspeccionada como deformaciones de la luz láser. Estas medidas son representadas en una señal de imagen digital que contiene información referente a las coordenadas X, Y, Z del conjunto de curvas de la superficie escaneada.

El punto del láser sobre la superficie del objeto, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo; el conocimiento de la distancia entre el emisor y la cámara permite aplicar el teorema de Pitágoras para conocer la distancia entre el emisor del láser y la superficie escaneada logrando obtener mediciones precisas (Ramírez, 2014).

La Figura 1.13 permite apreciar el principio del método de triangulación y la representación de un modelo digital resultante.

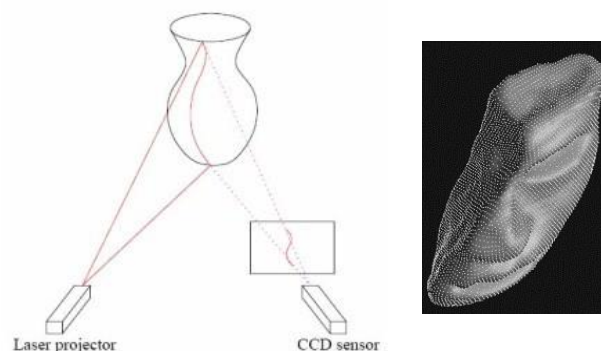


Figura 1. 13: Principio del método de triangulación y representación de un modelo digital resultante.

Fuente: Ramírez, G. (2014). Técnicas para el modelado tridimensional. Obtenido de <http://remarq.ning.com/page/tecnicas-para-el-modelado-tridimensional-de-artefactos-arqueologi>

Existen en el mercado varios modelos de escáneres 3D, que según sus características técnicas son utilizados para trabajar en diversos campos de aplicación y escanear objetos de diversas dimensiones, se cita algunos modelos de escáneres, como por ejemplo el escáner Konica Minolta VI-910 que calcula las distancias por triangulación, los escáneres profesionales de luz estructurada como los Mephisto que son capaces de escanear objetos de tamaños desde pocos centímetros hasta varios metros, los Pico Scan se dirigen a objetos de tamaño reducido, los escáneres de la serie OptiNum de alta precisión y adaptables a cualquier entorno de trabajo. En la Figura 1.14 se muestran algunos modelos de escáneres 3D.



Figura 1. 14: Escáneres 3D.

Fuente: CADdy (2013). Escáneres 3D de Luz estructurada. Obtenido de <http://www.caddyspain.com/escaneres-3d-4ddynamics/>

1.7.5 PROTOTIPADO RÁPIDO

El Prototipado Rápido también conocido por su nombre en inglés como "additive technology" es una tecnología que posibilita producir modelos y prototipos directamente a partir del modelo sólido 3D generado en el sistema CAD. Al contrario de los procesos de fabricación que sacan material de la pieza en bruto para obtener el modelo deseado, los sistemas de Prototipado Rápido generan la pieza a partir de la unión aditiva de líquidos, capa por capa, a partir de secciones transversales de la pieza obtenidas a partir del modelo 3D.

1.7.6 IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es un grupo de tecnologías para construir un objeto tridimensional mediante la superposición de capas sucesivas de material, normalmente a partir de modelos CAD.

Esta tecnología también encuentra uso en los campos tales como joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, automoción y sector aeroespacial, industrias médicas, educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil y muchos otros.

Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Para realizar un proceso de impresión 3D se necesita del modelo 3D digital y de la impresora 3D, así como muestra la Figura 1.15.



Figura 1. 15: Proceso de Impresión 3D.

Fuente: Solid Design. (s.f.). *Prototipado Rápido - Servicios CAD, CAM, CAE, CNC, diseño.* Obtenido de <http://www.soliddesign.com.ar/index.php?IDM=9&alias=Prototipado-rapido-Solid-Design>

1.8 SISTEMAS CAD/CAM

El Diseño y la fabricación asistidos por ordenador (CAD/CAM) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de cualquier tipo de producto. Esta disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costes y acortar los tiempos de diseño y producción (Bernal et al., 2009).

1.8.1 DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR: CAD

El término CAD (Computer Aided Design o Diseño Asistido por Computador) hace referencia a una herramienta software que, mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, y manipular de una manera fácil elementos geométricos, la Figura 1.16 muestra un ejemplo de diseño en un software CAD. Se trata de herramientas que van más allá del concepto de “dibujo” o representación gráfica. Hoy en día, las industrias manufactureras a nivel mundial integran totalmente aplicaciones CAD, CAM y CAE (Computer Aided Engineering o Ingeniería Asistida por Computador).

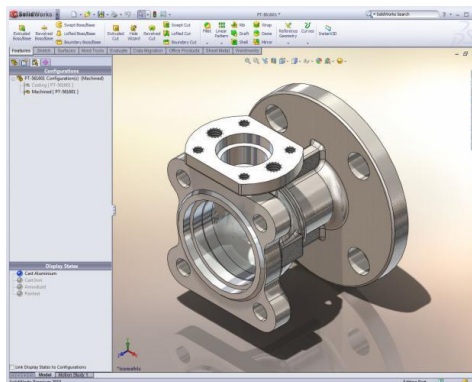



Figura 1. 16: Software CAD.

Fuente: SOLIDWORKS. (2010). Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/scanto3d.htm>

Existen varias opciones de programas CAD aplicados en la ingeniería, entre los más comerciales y conocidos se tiene AutoCAD, CATIA, SolidWorks, entre otros. Para el presente proyecto se hará uso del SolidWorks, el cual se describe a continuación.

 SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora (CAD) para modelado mecánico, es una solución de diseño en 3D completa, con las potentes herramientas de simulación, movimiento y validación de diseños, así como con la funcionalidad avanzada de la ingeniería inversa, entre otras (SOLIDWORKS, 2010).

1.8.2 MANUFACTURA ASISTIDA POR ORDENADOR: CAM

Las herramientas CAM (Computed Aided Manufacturing o Manufactura Asistida por Computador) son sistemas informáticos que permiten fabricar las piezas en máquinas de Control Numérico por Ordenador, calculando las trayectorias de la herramienta, para conseguir el mecanizado correcto, basándose en la información de la geometría de la pieza (obtenida a partir del dibujo de la pieza, realizado en 2D o 3D mediante un sistema CAD), el tipo de operación deseada, la herramienta elegida y, las condiciones de corte definidas. La Figura 1.17 muestra el entorno de un software CAM.

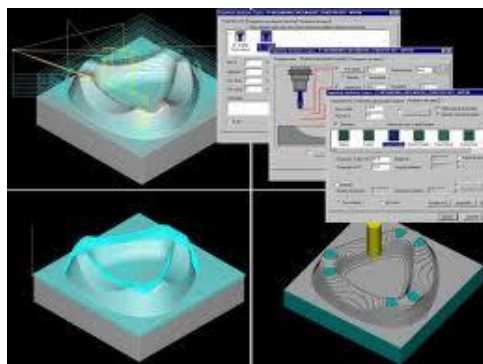


Figura 1. 17: Software CAM.

Fuente:<http://www.unioviado.es/DCIF/IPFabricacion/index.html?url=/DCIF/IPFabricacion/Medios-CAD-CAM.htm>

La introducción en la industria de la máquina-herramienta de control numérico, los robots, los almacenes automáticos, etc., está provocando importantes ventajas sobre los métodos de producción tradicionales. Con estas herramientas de ingeniería también es posible realizar:

- ✓ La programación fuera de línea de los robots, tomando como base el modelo matemático del robot y de su entorno de trabajo.
- ✓ El diseño y construcción de moldes para la fabricación en serie de componentes para la industria del automóvil, electrodomésticos y equipos eléctricos principalmente (Robotiker, 2003).

Mastercam es el software que se empleará en este proyecto, sin embargo, existen otros programas CAM que trabajan con control numérico y pueden utilizarse para realizar diversos procesos de mecanizado. A continuación se describe el software Mastercam:



Mastercam es el software de CAD/CAM que soluciona toda la problemática de fabricación de piezas, desde el diseño, a la comunicación con la máquina, para automatizar la programación de fresadoras o centros de mecanizado desde 2 ejes y hasta 5 ejes simultáneos, tornos con 2 ejes o Centros de Torneado con 3, 4 ó 5 ejes, corte con electroerosión de hilo, laser, plasma, etc., y programación de Robots con el módulo Robotmaster.²

² IAMCAD (s.f.), Mastercam IAM CAD CAM ROB. Recuperado el 22 de mayo del 2013, desde <http://www.iamcad.com/mastercam>

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA CELDA DE MANUFACTURA

2.1 INTRODUCCIÓN

Los criterios técnicos que se utilizan para el diseño de una celda de manufactura son de suma importancia, ya que, éstos permiten diseñar de manera correcta y de acuerdo a normas que requieren las industrias manufactureras. Los criterios tomados para el diseño de este proyecto son:

- ✓ Definir los elementos que formarán parte de la celda de manufactura, aquellos que se deben diseñar y aquellos que se disponen en el laboratorio.

- ✓ Diferenciar elementos activos y pasivos de la celda.
 - Elementos activos: brazo robótico, cabezal fresador, escáner 3D.
 - Elementos Pasivos: Mesa de trabajo, accesorios de sujeción.

- ✓ Establecer normas de seguridad dentro de la celda.

- ✓ Realizar las pruebas necesarias de escaneado y mecanizado para la completa ejecución del proyecto.

En el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L se encuentra instalado un robot KUKA KR16, es un robot de carga ligera que puede soportar un peso de 16 Kg, más detalles del brazo robótico en la sección 1.5.1 y en el Anexo A: Dimensiones y ejes del KUKA KR16.

En la muñeca del robot está acoplado un cabezal para fresado JÄGER, modelo Chopper 1500-H, las especificaciones técnicas se indican en el Anexo B: Especificaciones técnicas del cabezal fresador Jäger 1500-H, y sus

dimensiones en el Anexo C: Dimensiones cabezal fresador Jäger 1500-H, éste cabezal fresador funciona con un variador de frecuencia, mediante los cuales se realizan operaciones de fresado.

A partir de estos elementos existentes en el laboratorio, se diseñará una celda para mecanizado de réplicas mediante fresado, en base a modelos obtenidos con un escáner 3D. Los elementos disponibles en la celda se muestran en la Figura 2.1.

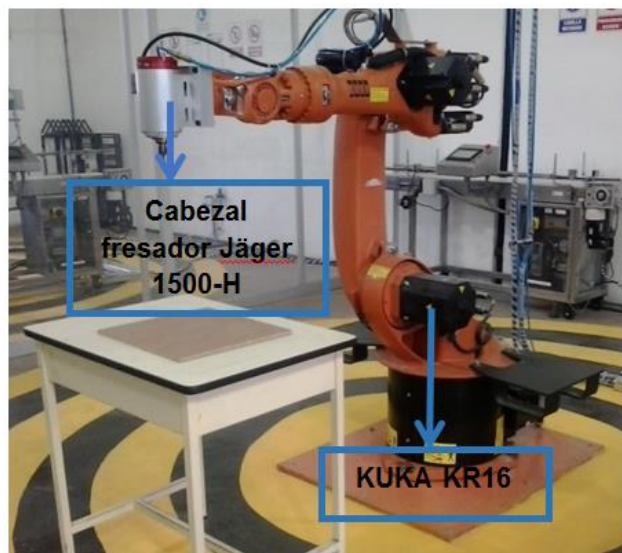


Figura 2. 1: Elementos de la celda existente en el laboratorio de robótica de la ESPE-L.

En el caso de este proyecto, para la réplica de piezas mediante fresado, se seguirá una serie de procesos, los cuales serán los más adecuados para obtener el mejor resultado, y un producto final óptimo.

El proceso a seguir para la obtención de réplicas, se indica en el diagrama de flujo de la Figura 2.2.

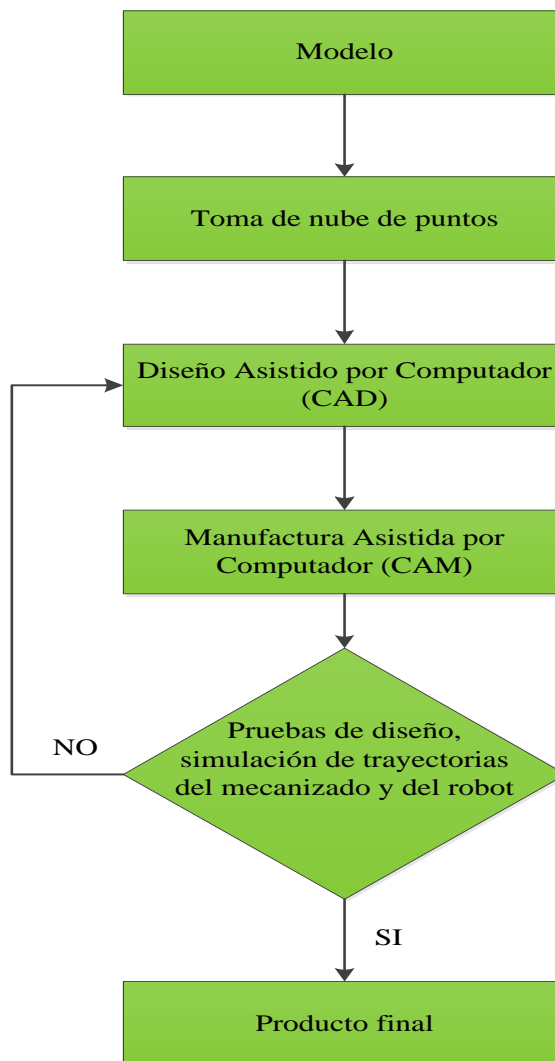


Figura 2. 2: Diagrama del proceso para la obtención de réplicas 3D.

A partir de este diagrama de flujo, se puede determinar qué es lo que se debe diseñar y que es lo que existe a disposición en los laboratorios, con el fin de implementar correctamente una celda de mecanizado.

2.2 DISEÑO DE LA CELDA DE MANUFACTURA

En la actualidad, la mayoría de fábricas manufactureras incorporan robots para realizar sus procesos de producción debido a la versatilidad que estos tienen en cuanto a las aplicaciones. Para el caso de mecanizado, las celdas

se diseñan de acuerdo a la aplicación que se va a realizar, al área de trabajo, al tipo de mecanizado, entre otras características importantes.

Para el presente proyecto se tiene como modelo la celda de manufactura PRODINTEC, instalada en un centro tecnológico en Gijón (Asturias), ésta celda de manufactura que se muestra en la Figura 2.3 dispone de un brazo robótico que realiza operaciones de fresado.



Figura 2. 3: Celda de manufactura PRODINTEC con robot para fresado.

Fuente: Berenguer et al. (2010). <http://www.interempresas.net>. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/44095-Celda-robotizada-multiproposito-para-prototipado.html>

La celda de manufactura PRODINTEC, tiene como características, un área de forma rectangular de 8 x 6 metros debido al tamaño de robot que es un brazo robótico KUKA KR500-2 AA, con seis grados de libertad (6 ejes), un alcance de 2826 milímetros y una capacidad de carga de 500 kilos, el sistema robótico cuenta con una mesa giratoria sin límite de giro, en la celda se mecanizan materiales como: cerámicas, aceros de todo tipo, aluminios, plásticos, resinas, etc. (Berenguer, y otros, 2010).

2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO.

En base al proceso para la obtención de réplicas de piezas, se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Dimensión del área de trabajo.
- ✓ Definir el tipo de material para el fresado.
- ✓ Diseñar una mesa de trabajo para la sujeción de materiales.
- ✓ Diseño del layout de la celda.

2.3.1 ÁREA DE TRABAJO

En esta sección se indican las características requeridas para la celda de manufactura de mecanizado mediante robot, tomando en cuenta los componentes ya instalados dentro de la celda.

El área de trabajo para el robot que ejecutará las operaciones de fresado, se determina mediante los movimientos del robot respecto a sus ejes cartesianos y analizando también el alcance máximo que tiene cada eje, el dimensionamiento del área de trabajo se realizó como se muestra en la Figura 2.4.

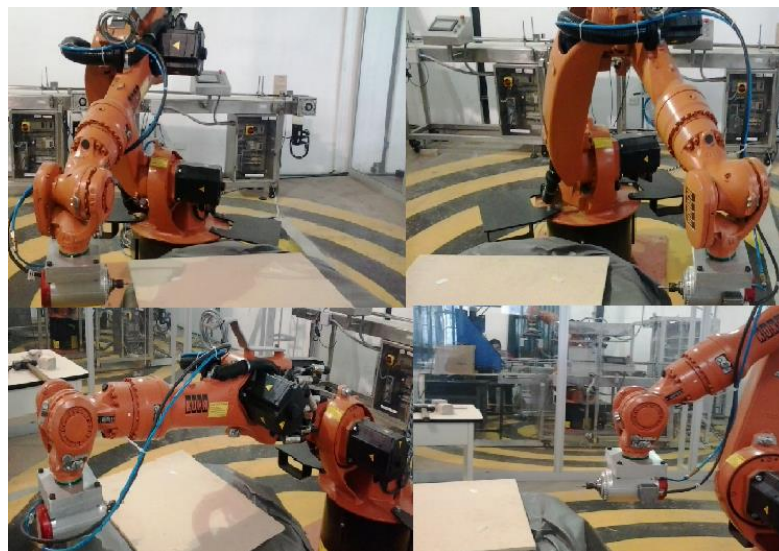


Figura 2. 4: Medición de alcance del Robot.

Al analizar las mediciones realizadas para determinar el área de trabajo, en el caso del movimiento en el eje Z, lo más adecuado es la posición en la

que el robot se encuentra, la posición HOME que es la distancia desde la base hacia el TCP sobre el eje Z y será de 500mm. El área de recorrido será respecto a una base cuyo punto centro se encuentra a 620mm del piso, referenciados en la mesa de trabajo de la celda de soldadura del laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L, se estableció que, la posibilidad de trabajo tanto en el eje X como en el eje Y sea de 740mm.

2.3.2 PARÁMETROS DE CORTE

Como se ha mencionado anteriormente, en la celda de manufactura ya se encuentra acoplado al robot KUKA KR16 un cabezal fresador JÄGER Chopper 1500-H, se determinará el material más adecuado para el mecanizado a partir de las características de estos dos componentes. Del cabezal fresador JÄGER Chopper 1500-H se obtiene los siguientes datos técnicos que se encuentran en el Anexo B: Especificaciones técnicas del cabezal fresador Jäger 1500-H.

$$Potencia = 1.5 \text{ KW}$$

$$Velocidad \text{ de rotación} = 30000 \text{ rpm}$$

En base al modelo de la celda de manufactura PRODINTEC que utiliza un robot KUKA KR500 (robot de carga pesada), que supera considerablemente al de este proyecto, se establece que para el mecanizado utilizan materiales blandos (incluyendo el mecanizado de aluminio) y además se estudia la posibilidad de trabajar con materiales más duros, (Berenguer, y otros, 2010).

En el caso de este proyecto se dispone de un robot KUKA KR16 que es un robot de carga ligera, por lo cual se limita el trabajo para un material de características más bajas y adecuadas para un robot de este tipo en

comparación a uno de carga pesada. Con esta referencia se opta por los plásticos, ya que, debido a su excelente resistencia química y térmica, al poco peso que posee, a los niveles de ruido reducidos y al no ser necesarios lubricantes son la opción más acertada para mecanizar dentro de la celda de manufactura como se indica en la sección 1.6.4.

Tomando en cuenta que los parámetros que intervienen en el diseño son: la fuerza de corte (F_c), la potencia de corte (P_c) y la potencia de mecanizado (P_m), se obtienen estos valores mediante la masa del cabezal fresador y las placas de aluminio acopladas al mismo.

La fuerza se calcula a partir de la masa disponible que se obtiene al restar de la capacidad de carga del robot KUKA KR16 que es de 16 Kg como se indica en la sección 1.5.1, la masa que posee el cabezal fresador y las placas de aluminio acopladas para sujetar el mismo al robot.

$$m_{cabezal} = 6 \text{ kg}$$

$$\rho_{aluminio} = 2698.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$m_{cabezal}$ = masa del cabezal fresador.

$\rho_{aluminio}$ = densidad del aluminio.

V = Volumen.

$$\text{Dimensiones placa de aluminio} = 140\text{mm} \times 170\text{mm} \times 19.5\text{mm}$$

$$V_{placa \text{ aluminio}} = l^3$$

$$V_{placa \text{ aluminio}} = (140\text{mm})(170\text{mm})(19.5\text{mm})$$

$$V_{placa \text{ aluminio}} = 464100 \text{ mm}^3$$

$$V_{base\ de\ aluminio} = 2 \times V_{placa\ aluminio}$$

$$V_{base\ de\ aluminio} = 928200\ mm^3 = 9.282 \times 10^{-4}\ m^3$$

$$\rho_{aluminio} = \frac{m_{base\ de\ aluminio}}{V_{base\ de\ aluminio}}$$

$$m_{base\ de\ aluminio} = \rho_{aluminio} \times V_{base\ de\ aluminio}$$

$$m_{base\ de\ aluminio} = (2698.4\ \frac{kg}{m^3})(9.282 \times 10^{-4}\ m^3)$$

$$m_{base\ de\ aluminio} = 2.50\ kg$$

Se obtiene la masa total que soporta el extremo del robot, al sumar la masa obtenida de la base de aluminio y el peso del cabezal fresador

$$m_{total} = m_{base\ de\ aluminio} + m_{cabezal}$$

$$m_{total} = 2.50\ kg + 6\ kg$$

$$m_{total} = 8.50\ kg$$

El robot soporta una carga de 16 kilogramos en su extremo, a través de este dato se resta el valor de masa total calculado de los 16 kilogramos, para determinar la masa sobrante que permitirá calcular la fuerza de corte existente.

$$m_{disponible} = 16\ kg - m_{total}$$

$$m_{disponible} = 16\ kg - 8.50\ kg = 7.50\ kg$$

$$F = m_{disponible} \times g$$

$$F = (7.5\ Kg)(9.81)\ m/s^2$$

$$F = 73.58\ [N]$$

El proyecto está diseñado para el mecanizado de materiales blandos por los cual se realizan pruebas con aluminio. A través de los datos técnicos del aluminio se determina la profundidad para el mecanizado así como el área de corte.

Para determinar el área de corte se utiliza la fórmula de la presión específica de corte, en dónde este valor viene dado en la siguiente Tabla 2. 1:

Tabla 2. 1: Presión específica de corte del aluminio.

			Taladrado	Fresado	Roscado	
			k	k_{c1}	z	
<i>Aplicación por grupo de material</i>			<i>Factor de material</i>	<i>N/mm²</i>	<i>Factor de corrección</i>	
				k_c	<i>N/mm²</i>	
7. Aluminio Magnesio	7.1	Al, Mg no aleado	0,6	250	0,22	700
	7.2	Al aleado con Si<0,5%	0,6	450	0,18	700
	7.3	Al aleado con Si<0,5% < 10%	0,7	450	0,18	800
	7.4	Al aleado, Si<10% Reforzado por filamentos Al-aleados, Mg-aleados	0,7	500	0,15	1000
8. Materiales Sintéticos	8.1	Termoplásticos	0,6	1400	0,15	400
	8.2	Plásticos endurecidos por calor	0,6	1400	0,20	600
	8.3	Materiales plásticos reforzados	1,0	1600	0,30	800

Fuente: Arrizabalaga, L. N. (1997). Máquinas: Prontuario: técnicas, máquinas, herramientas. PARANINFO. Pág. 322-324

Para el cálculo se asume que la fuerza (F) calculada anteriormente es la misma que la fuerza de corte (F_c). De esta manera:

$$K_S = \frac{F_c}{A_c}$$

$$A_c = \frac{F_c}{K_S}$$

$$K_s = 450 \frac{N}{mm^2}$$

$$A_c = \frac{73.58 N}{450 \frac{N}{mm^2}}$$

$$A_c = 0.1635 mm^2$$

Con el valor del área de corte y el avance que se obtiene en la Tabla 2. 2 a continuación se determina la profundidad para el mecanizado.

Tabla 2. 2: Velocidad de corte y Avance del aluminio.

Material	Φ de la pieza < 12 mm		Φ de la pieza 12 – 40 mm		Φ de la pieza de 40 – 250 mm	
	Velocidad de corte (m/min)	Avance (s) (mm/rev)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (s) (mm/rev)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (s) (mm/rev)
Aluminio	70	0,06–0,13				
	80	0,08–0,18	70	0,08–0,18		
	120	0,10–0,25	110	0,10–0,25	100	0,10–0,25

Fuente: PROFABRICACION MARIANA. (2011). *blogspot.com*. Obtenido de <http://profabricacionmariana.blogspot.com/2011/10/velocidad-decorte-del-aluminio.html>

$$a = \frac{A_c}{s}$$

$$a = \frac{0.1635 mm^2}{0.25 mm} = 0.654 mm$$

$$a = 0.654 mm$$

Para calcular la potencia de corte se utiliza el valor de la fuerza de corte obtenida anteriormente y la velocidad de corte de la tabla anterior.

$$Pc = Fc \cdot Vc$$

$$Vc = 120 \frac{m}{min} = 2 \frac{m}{s}$$

$$Pc = (73.58 \frac{Kg \cdot m}{s^2}) (2 \frac{m}{s})$$

$$Pc = 147.16 W$$

Con el valor obtenido de la potencia de corte y el valor del rendimiento de un manipulador que es del 85%³ se determina la potencia de mecanizado

$$\eta = \frac{Pc}{Pm}$$

$$Pm = \frac{Pc}{\eta}$$

$$Pm = \frac{147.16 W}{0.85}$$

$$Pm = 173.13 W$$

2.4 DISEÑO DE LA MESA DE TRABAJO

Dentro de la celda de manufactura no existe una mesa de trabajo adecuada para sujetar los materiales que se van a mecanizar, por lo que es necesario diseñar un sistema que permita un adecuado trabajo y así obtener resultados óptimos.

La mesa de trabajo será útil para colocar el material, fijarlo de la manera adecuada, mientras se realiza el proceso de mecanizado. Para realizar este diseño se toman en cuenta aspectos como: la forma de sujeción del material,

³ Narváez, N. P. (2011). Modelado cinemático y dinámico de un manipulador de 5 grados de libertad articulado. Lima.

el alcance del robot (área de trabajo), la forma de los materiales que se van a colocar sobre la mesa.

También, para el diseño de la superficie de la mesa de trabajo se toma como referencia modelos existentes en centros de mecanizado, máquinas herramientas de fresado, donde se utilizan formas de sujeción adecuadas y comerciales, como se indica en la Figura 2.5.



Figura 2. 5: Ejemplos de mesas de sujeción para materiales.

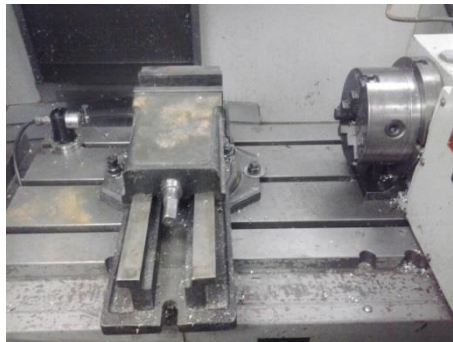


Figura 2. 6: Mesa de fresado del centro de mecanizado Leadwell V30.

2.4.1 SISTEMA DE SUJECCIÓN

Para establecer una forma de sujeción de materiales para mecanizado, se toma como ejemplo la mesa de trabajo del centro de mecanizado LEADWELL V-30 que se muestra en la Figura 2.6, la cual utiliza un sistema

de sujeción de tipo M12, los accesorios son estándar y comerciales, consta de tuercas T, bridas escalonadas, calzas, de esta manera se garantiza una sujeción adecuada utilizada en centros de mecanizado a nivel industrial. Los accesorios a utilizarse en la celda de manufactura de este proyecto se muestran en a Figura 2.7.



Figura 2. 7: Juego de bridas para la sujeción.

Debido a la forma de materiales que se van a colocar sobre la mesa de trabajo y a los accesorios adicionales que se quieran acoplar, se realizan cuatro ranuras en T, con las medidas necesarias para que se puedan insertar las tuercas y demás elementos para sujetar, las medidas se encuentran en el Anexo D: Dimensiones bridas de sujeción.

Las bridas escalonadas tienen dientes compatibles con las calzas escalonadas, estas son versátiles. Los dientes están especialmente diseñados para obtener un excelente soporte de carga y una ranura central para introducir el perno de fijación.

2.4.2 DIMENSIONES DE LA MESA DE TRABAJO

Como se indica en la sección 2.3.1, según un análisis de dimensionamiento, el área de trabajo se determina por el alcance del robot respecto a una base.

Tomando como referencia las mesas de trabajo de las celdas de mecanizado existentes se decide que la forma de la superficie será redonda, debido a que este tipo de superficies permite referenciar una posición fácilmente y además ayuda cuando el robot tenga movimientos de torsión complejos que puedan producir un choque en una mesa rectangular.

En base a investigaciones acerca del material apropiado para la construcción de la mesa, se decide usar acero estructural ASTM A36, debido a que éste tipo de acero es uno de los materiales más básicos, utilizados en la construcción de estructuras para la industria. La mesa de trabajo tendrá la forma que se indica en la Figura 2.8 y las dimensiones de la mesa se pueden apreciar en el Anexo E: Planos de la mesa de trabajo.

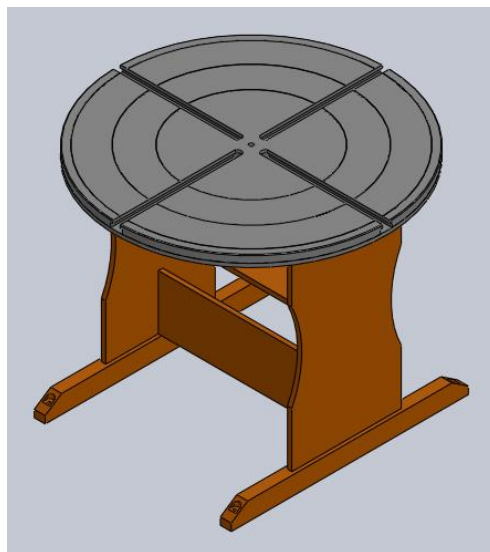


Figura 2. 8: Diseño de la Mesa de trabajo.

A partir de este diseño de mesa y de las sujeciones indicadas en la sección anterior se espera:

- ✓ Una adecuada sujeción del material a mecanizar.
- ✓ Soportar cualquier tipo de peso.
- ✓ Evitar que se produzca vibración durante el trabajo de mecanizado con el robot.

2.5 DISEÑO DEL LAYOUT DE LA CELDA

En la instalación del sistema para mecanizar se crea un diseño de un robot KUKA KR16 con un cabezal fresador adaptado en el software KUKA SIM PRO, que es un programa específico de KUKA como se explica en la sección 1.6.2, es necesario incluir el resto de componentes para que se pueda tener una celda más aproximada a la real. El cabezal fresador adaptado al robot industrial se puede observar en la Figura 2.9.

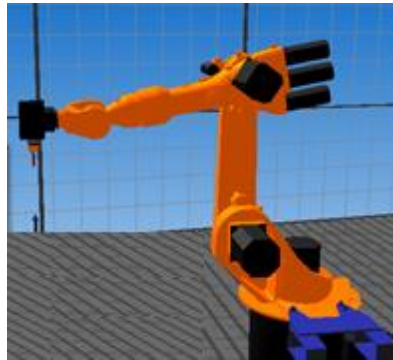


Figura 2. 9: Robot KUKA KR16 con cabezal fresador adaptado en el KUKA Sim Pro.

A partir de este layout inicial se siguen colocando los elementos necesarios para tener una celda de características similares a la física. En este caso se debe buscar los elementos que más se asemejen a los reales con el fin de obtener todo lo necesario para una correcta simulación del proceso que se va a realizar. La celda de manufactura diseñada con los componentes que la conforman, se implementará como se indica en la Figura 2.10.

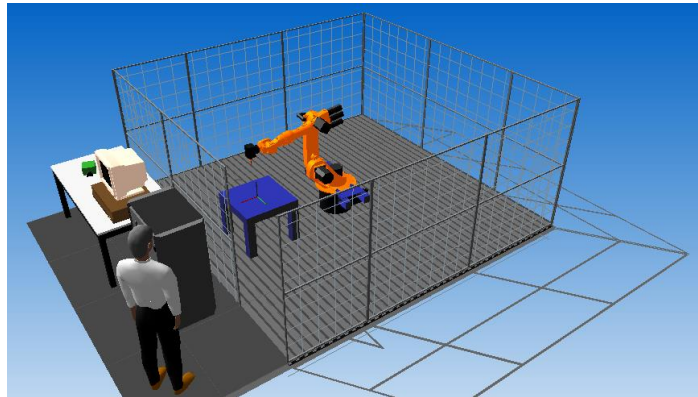


Figura 2. 10: Layout celda de manufactura robotizada.

El área de la celda donde se encuentra el brazo robótico es de 27 m^2 , sus dimensiones son: largo 4.97m , ancho 5.43m . Las dimensiones de la celda de manufactura, se muestra en la Figura 2.11.

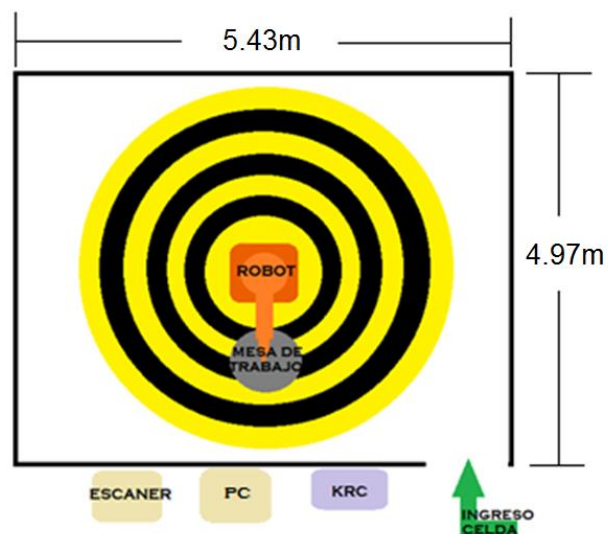


Figura 2. 11: Plano celda de manufactura.

La ubicación de la mesa de trabajo se realiza con respecto al centro del robot sobre el eje X. La Figura 2.12 indica a qué distancia se posiciona la mesa.

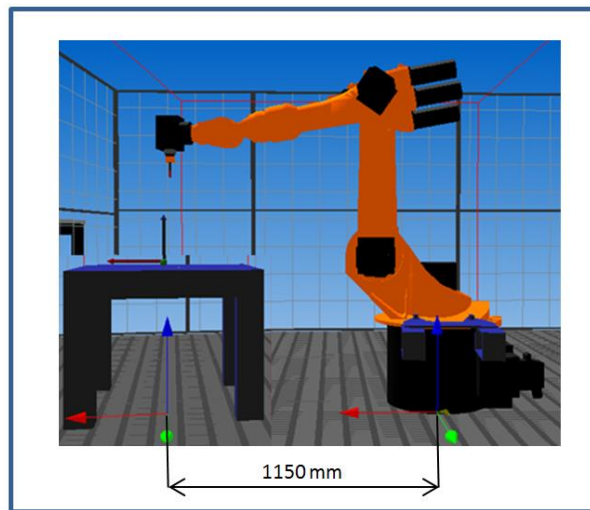


Figura 2. 12: Ubicación de la mesa de trabajo.

2.6 SEGURIDADES QUE SE DEBE TENER EN CUENTA AL TRABAJAR EN UNA CELDA ROBOTIZADA DE MANUFACTURA

Cuando se trabaja en una celda de manufactura se debe tomar en cuenta varias precauciones en cuanto a la seguridad general de la celda y seguridad personal para la prevención de accidentes, que es el principal objetivo de trabajo.

Al ingresar a una celda se debe observar y respetar las normas fundamentales de seguridad y las señales de prevención de accidentes que se encuentran expuestas en ella, seguir las recomendaciones e instrucciones sobre el manejo de las máquinas que integran la celda.

A continuación algunas normas de seguridad para el uso y manejo de la celda de este proyecto:

- ✓ La celda de manufactura se encuentra rodeada de vallas que sirven de seguridad y para limitar el acceso del personal.

- ✓ Los operarios y demás personal que ingrese y/o haga uso de la celda, deben leer, entender y cumplir todos los avisos e instrucciones dadas.
- ✓ No acercarse, no apoyarse sobre el robot y mantenerse alejado de la zona de trabajo mientras esté en funcionamiento.
- ✓ Usar mascarilla, gafas y orejeras mientras el robot está mecanizando, esto para evitar respirar la viruta y el disturbo del ruido de la presión de aire producido al retirar la misma.
- ✓ Usar mandil, ropa de trabajo que no sea suelta, evitar llevar accesorios para el cuerpo, recogerse el cabello.
- ✓ Nunca deje objetos dentro del área de operación del robot.
- ✓ No ingresar comida, bebidas, ni usar explosivos en cualquier área del laboratorio.
- ✓ Mantener limpia la zona de trabajo, evitando todo tipo de obstrucciones como residuos o agua sobre el suelo que pueden causar caídas y provocar lesiones graves.
- ✓ No interferir mientras se esté realizando el proceso de mecanizado.
- ✓ Asegurase previo al mecanizado la correcta sujeción de las herramientas y los materiales que van intervenir en el proceso.
- ✓ Al observar algún tipo de anomalía durante el trabajo del robot, detener el proceso usando el paro de emergencia, e informar inmediatamente a la persona encargada del laboratorio.
- ✓ No manipule los equipos sin la autorización del instructor y sin la ayuda del manual de instrucciones.
- ✓ Es recomendable el trabajo entre dos personas.

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se seleccionará y definirá los elementos que conformarán la celda de manufactura, tomando en cuenta aquellos que se diseñaron y los que se dispone en el laboratorio de robótica industrial.

3.2 MATERIALES PARA EL MECANIZADO

En la celda de manufactura de este proyecto se realizará el mecanizado sobre materiales blandos, entre los más comunes y que se encuentran con facilidad en nuestro medio se tiene: madera, poliuretano expandido, nylon, plásticos, etc. Se reproducirá réplicas de todo tamaño, manteniendo o escalando las dimensiones del modelo original.

En el caso de este proyecto, se adaptó un cabezal fresador a un robot KUKA KR16 con el fin de conocer el proceso de mecanizado con robots industriales, sin embargo, este tipo de robot de carga ligera no es el adecuado para operaciones de mecanizado. Por esta razón se limita la capacidad de operación del robot, entonces para determinar la capacidad de mecanizado del proyecto se considera lo siguiente:

- ✓ La mayoría de aplicaciones de mecanizado se realizan con robots de carga media como es el caso del KUKA KR60. Debido a esto la mayoría de los datos fijados en el programa son para robots de carga media y no ligera.

Tomando en cuenta estas consideraciones se determina que: el sistema de mecanizado de este proyecto destina su capacidad de trabajo al mecanizado de termoplásticos como el duralón y el grilon.

3.2.1 GRILON

El grilon es un plástico de color blanco, tiene buena resistencia mecánica y resistencia al desgaste. Se lo utiliza para varias aplicaciones, en la parte mecánica para fabricar engranajes, accesorios, y cojinetes, entre otras. Grilon es el nombre comercial que se les da a los plásticos de ingeniería sobre la base de poliamida 6 y poliamida 66. Se lo conoce también con el nombre de Nylon, Ertalon, Durethan B, Nylatron, dependiendo de la marca del fabricante.

Los diferentes tipos de grilon poseen un magnífico cuadro de propiedades mecánicas, una tenacidad muy elevada y unas excelentes características de deslizamiento y resistencia al desgaste. La Figura 3.1 muestra una pieza mecanizada en grilon.



Figura 3. 1: Pieza mecanizada en grilon.

3.3 HERRAMIENTAS PARA EL FRESADO

En el caso de los termoplásticos se recomienda el uso de herramientas HSS debido a sus ventajas para el fresado.

En los trabajos de mecanizado de éste proyecto se usarán fresas de vástago EndMill, BallMill y fresas de grabado. Una fresa de corte EndMill se define como una herramienta de corte giratoria, como se indica en la sección 1.6.2, se usa éste tipo de fresas de vástago por el tipo de montaje, ya que éstas se fijan correctamente al accesorio de sujeción dentro del husillo del cabezal fresador. Son fresas de aceros rápidos HSS (High Speed Steel) que tienen buena resistencia al desgaste e indicadas para realizar desbastes y acabados.

La celda de manufactura donde se encuentra el cabezal fresador, para sujetar las fresas, dispone de conos porta-herramientas ER-16 que se adaptan fácilmente al husillo de éste cabezal. Las fresas y conos porta-herramientas que cuenta la celda se aprecian en la Figura 3.2.



Figura 3. 2: Fresas y conos porta-herramientas ER 16.

3.4 SISTEMA DE SUJECIÓN PARA MATERIALES

Para iniciar el proceso de fresado en la celda de manufactura, se debe conseguir una correcta fijación de las piezas sobre la mesa de trabajo, para ello se usan varios accesorios adecuados que permitan realizar el montaje del material a mecanizar como el juego de bridas que se muestra en la Figura 3.3. La sujeción dependerá del tamaño y forma del material, las herramientas de sujeción a usarse son: tuercas en T, pernos, bridas

escalonadas junto a las calzas escalonadas que son muy útiles para acoplarse a diferentes alturas del material.



Figura 3. 3: Juego de bridas para la sujeción de materiales.

Las tuercas T son de alta resistencia y son adaptables para una perfecta compatibilidad con la ranura en T de las mesas de trabajo para mecanizado. Todos estos accesorios están especialmente diseñados para obtener un excelente soporte de carga. Este sistema de sujeción junto con la superficie ranurada de la mesa, garantizan que la herramienta de corte pueda realizar sus trayectorias de mecanizado sin presentarse desplazamiento de las piezas. La Figura 3.4 muestra cómo sujetar el material a la mesa de trabajo.



Figura 3. 4: Sistema de sujeción de piezas.

3.5 ESCÁNER 3D

El escáner que se usará para la digitalización 3D es el Noomeo de la serie de escáneres Optinum, se muestra en la Figura 3.5, el escáner es de

alta precisión y adecuado para realizar trabajos de campo ya que es portátil, éste escáner 3D es de posesión del laboratorio de CAD CAM.

Los datos capturados por el escáner son de fácil exportación al software CAD donde serán procesados.

Las nubes de puntos generados por el escáner tienen una precisión de hasta +/- 100 micras, y son adecuados para un amplio rango de objetos, cuyo volumen esté entre 10cm^3 y 1m^3 . Cada disparo de este escáner 3D captura hasta 500000 puntos de información.

La tecnología que usa el escáner es el de luz estructurada, que permite la captura instantánea de la pieza a través de la proyección de un patrón de luz en el objeto mediante un proyector LC y una cámara que controla la forma del patrón, usando la técnica de triangulación, calcula la distancia de cada punto en el patrón hasta la lente, esto se indica en la sección 1.7.4 que muestra las técnicas de escaneo sin contacto.



Figura 3. 5: Escáner 3D Noomeo, Optinum.

La adquisición de modelos 3D se realiza a través del escáner, este software Numisoft que viene junto al escáner, generan nubes de puntos a través de tomas realizadas. Gracias a un interfaz de fácil manejo, se puede

acceder de forma rápida al contenido escaneado y luego exportarlo a un programa CAD para editar el modelo.

3.6 SOFTWARE CAD

En el software CAD se define como superficie a la nube de puntos obtenida, para este proyecto se utiliza SolidWorks por su complemento Scan To3D que permite convertir datos escaneados en superficies 3D. ScanTo3D abre datos de escaneo en los formatos: .xyz, .wrl, .stl, .3ds y .obj, gracias al uso de asistentes, prepara datos y los convierte en malla, superficie o modelo sólido. Facilita la ingeniería inversa agilizando el proceso de diseño, permite ahorrar tiempo.

3.7 SOFTWARE CAM

Editado el modelo 3D en el SolidWorks, se importa el archivo a un software CAM, se utilizará el Mastercam X7 porque posee la opción *convert to 5 axis* que permite convertir cualquier operación de una máquina de 3 ejes a una de 5 ejes, en donde se eliminan las interpolaciones que contienen G2 y G3, además el software realiza las operaciones adecuadas para mecanizar sobre un material y obtener la réplica deseada. Luego de simular las trayectorias y verificar que el proceso de mecanizado no tenga fallas, se genera en el programa un archivo NC con códigos G.

3.8 KUKA KR16

El elemento principal de la celda de manufactura robotizada es el brazo robótico KUKA KR16, éste robot es de carga ligera. El cabezal fresador está unido a la muñeca del robot, siendo ésta la herramienta que realizará la operación de fresado. El robot se encuentra en el centro de la celda y

trabaja en una sola zona definida que es la de mecanizado, donde se posicionará la mesa de trabajo.

El cabezal fresador es de marca Jäger, serie Chopper, su husillo es de alto nivel y alto rendimiento. El sistema de fijación y las diferentes herramientas que se adaptan al husillo de este cabezal son ER16, el acople de éstos es manual, simple y rápido. Consta de un sistema de ventilación integrado para la refrigeración del husillo, también para esparcir la viruta.

Los datos técnicos del brazo robótico industrial se muestran en la Tabla 3.1 (KUKA, 2013) y en el Anexo A: Dimensiones y ejes del KUKA KR16.

Tabla 3. 1: Datos del robot KUKA KR16.

CARGAS	
Carga útil nominal	16 Kg
Carga adicional brazo	10 Kg
ZONA DE TRABAJO	
Máx. alcance	1610 mm
OTROS DATOS	
Número de ejes	6
Repetibilidad	< + - 0.05 mm
Peso	235 Kg
Posición de montaje	Suelo, techo
Unidad de control	KR C 2

Las descripciones técnicas del cabezal Jäger se muestran en la Tabla 3.3 (Jäger, 2013).

Tabla 3. 2: Descripciones técnicas del cabezal fresador Jäger.

DESCRIPCIÓN	
Potencia S1-100%	1,5 KW
S6-60%	1,9 KW
Pmáx. / 5s	
Voltaje	200 V
Corriente S1-100%	6 A
S6-60%	7 A
Frecuencia	500 Hz
Velocidad angular	30000 rpm
Motor	AC Motor
Diámetro del husillo	100 mm
Peso	6 Kg
Cambio de herramientas	manual

3.8.1 VARIADOR DE FRECUENCIA JÄGER

El variador de frecuencia (Frequency Drive) es el sistema para el control de la velocidad rotacional del motor de corriente alterna (AC) del cabezal fresador por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

El variador de frecuencia es un caso especial del variador de velocidad, éste se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3. 6: Variador de frecuencia y velocidad.

El cabezal fresador junto con el variador de frecuencia se encuentran conectados como se muestra en la Figura 3.7, comandados a su vez por el módulo Wago, que posee entradas y salidas, analógicas y digitales.

Las señales para el funcionamiento del cabezal fresador son enviadas por el robot a través de los módulos Wago. Para variar las revoluciones, se envía una señal analógica al variador de frecuencia, se utiliza el módulo Wago 750 – 550, de esta manera dependiendo del valor de voltaje se proporciona las revoluciones necesarias para el mecanizado, la relación es de 0 – 0 rpm y 5 – 15000 rpm.

Para el accionamiento, reseteo, puesta en marcha se utilizan señales digitales, las cuales son enviadas a través del módulo Wago 750 – 504 y para el monitoreo del cabezal fresador el variador envía señales digitales, las cuales son adquiridas por el módulo Wago 750 – 402.

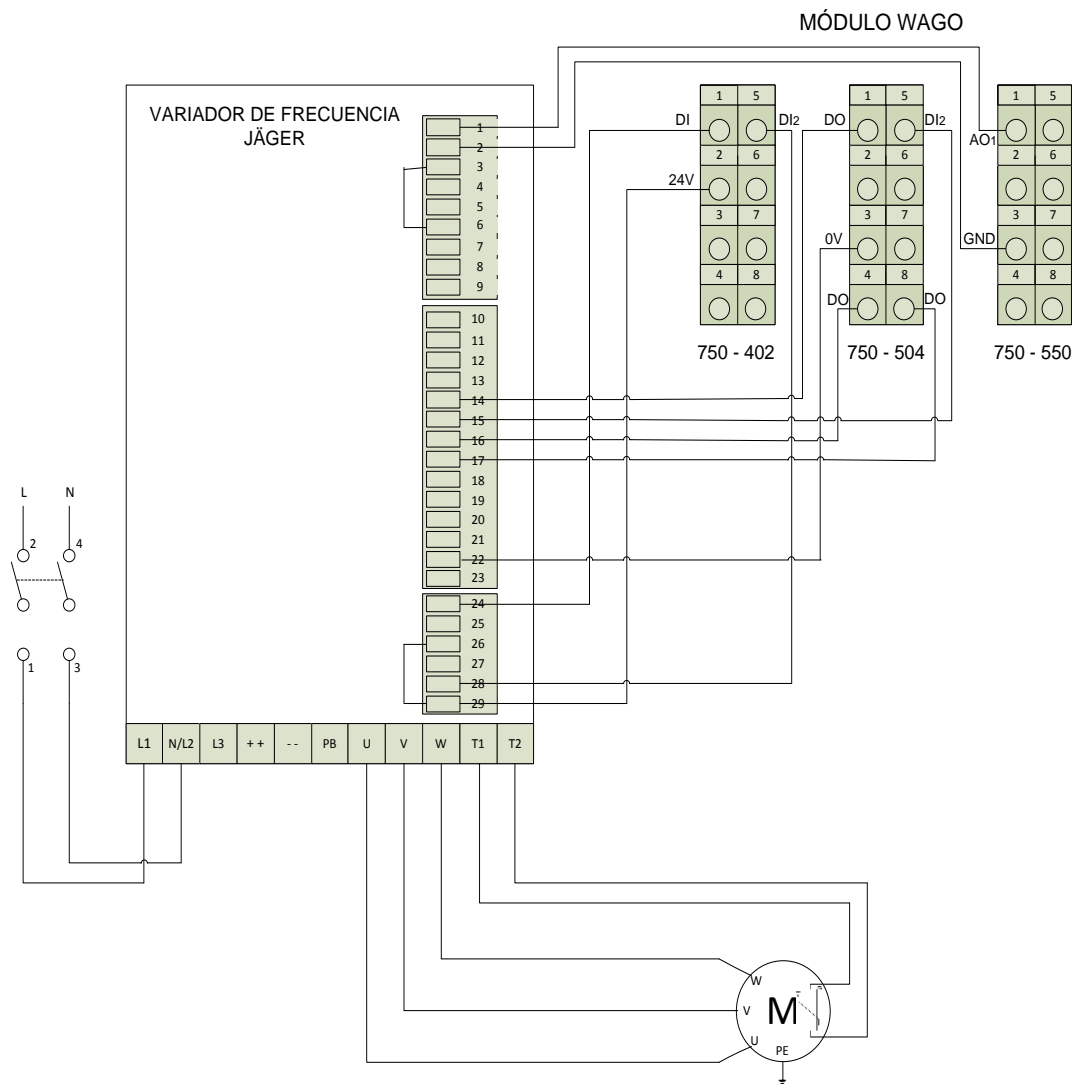


Figura 3. 7: Conexión eléctrica entre el variador de frecuencia y el cabezal fresador.

3.8.2 SOFTWARE KUKA SIM PRO

Para sincronizar los movimientos del KUKA KR16 junto al cabezal fresador se necesita del KUKA Sim Pro que es un software propio de los robots KUKA y su complemento KUKA.CAMRob.

KUKA Sim Pro es un programa que permite elaborar diseños en 3D de instalaciones equipadas con robots de KUKA, aquí se puede simular y

examinar los layout contruidos, simular los movimientos de forma rápida y sencilla del robot KUKA que va a realizar el mecanizado de piezas, realizando trayectorias generadas en un sistema CAM.

KUKA.CAMRob es un complemento del KUKA Sim Pro, transforma los datos CNC generados en un software CAM en un programa para robot. El complemento KUKA CAM Rob consiste de dos componentes:

- ✓ KUKA CAM Rob módulo para PC.
- ✓ KUKA CAM Rob módulo para KRC.

El módulo para la PC es el componente principal del KUKA CAMRob, y cumple las siguientes funciones:

- ✓ Importa y convierte los archivos NC del CAM en archivos binarios.
- ✓ Reduce puntos usando un filtro apropiado.
- ✓ Sincroniza las herramientas y bases virtuales con las reales.
- ✓ Realiza la simulación de los movimientos del robot.
- ✓ Genera un programa para el KRL, archivo binario.
- ✓ Transfiere datos para el KRC.

El módulo KRC se lo instala en el controlador del robot, aquí se cargan los archivos del proceso que se realiza en el KUKA CAM Rob PC y se ejecuta el trabajo en el sistema del robot. Además el proceso de mecanizado puede ser visualizado mientras se está ejecutando.

El KUKA CAM Rob KRC controla los siguientes componentes:

- ✓ Robot.
- ✓ Controlador del robot.

- ✓ Husillo.
- ✓ Controlador del husillo

Los programas utilizados en el proyecto son los que indica la Figura 3.8.

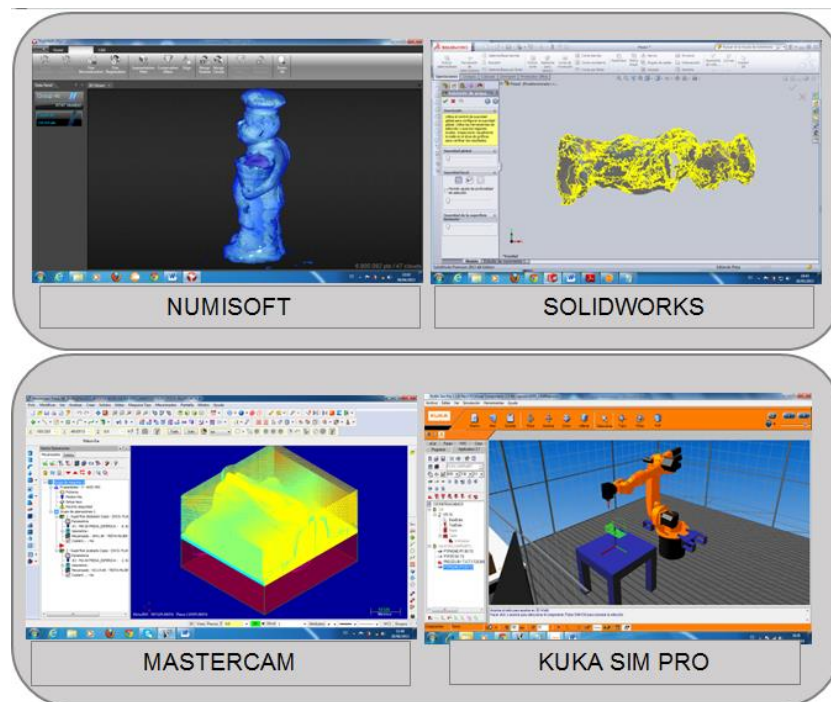


Figura 3. 8: Programas usados para el proceso de mecanizado.

3.9 MESA DE TRABAJO

Para colocar el material a mecanizar de manera adecuada, se utilizará la mesa de trabajo diseñada en la sección 2.4.

La mesa permitirá la facilidad de montaje de cualquier forma geométrica que tenga el material o pieza a mecanizar, gracias al disco de la mesa y sus ranuras en T, que como se ha mencionado anteriormente, sirven como carril de deslizamiento para los tornillos y las bridas que son las herramientas de sujeción de las piezas.

En la Figura 3.9 se observa la mesa de trabajo oportuna para la celda de mecanizado, que realizará las funciones adecuadas y requeridas, sus características en la Tabla 3.4.



Figura 3. 9: Mesa de trabajo.

Tabla 3. 3: Características de la mesa de trabajo.

<i>DESCRIPCIÓN</i>	
Posición de montaje:	Piso
Peso:	95 Kg
Altura:	620mm
Diámetro del disco:	740mm
4 ranuras en T:	20 x 32
Posición entre ranuras:	90°

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA

4.1 UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES

Una vez seleccionado todos los componentes y accesorios que se utilizarán en la celda de manufactura robotizada, se procede a implementar la celda con todo lo necesario para la obtención de réplicas.

La celda de manufactura robotizada queda implementada como muestra la Figura 4. 1.

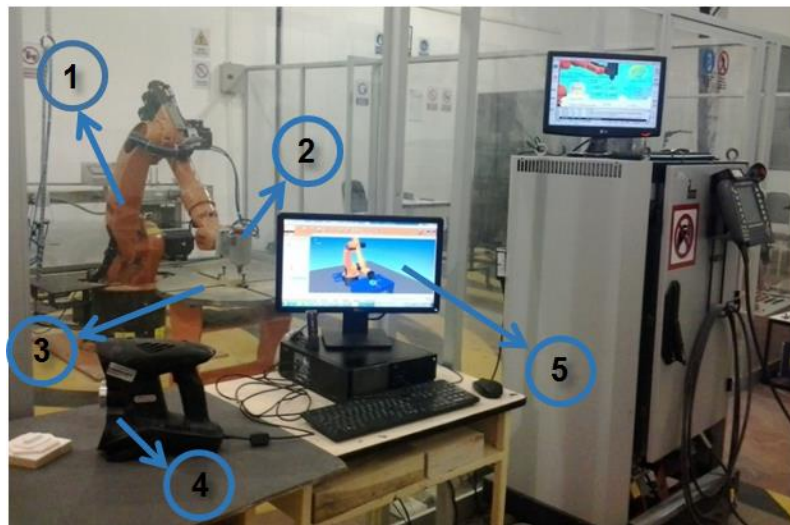


Figura 4. 1: Celda de manufactura robotizada. Brazo robótico industrial KUKA KR16 (1). Cabezal fresador Jäger (2). Mesa de trabajo (3). Escáner 3D (4). PC (5).

Dentro de la celda de manufactura y en el centro, se encuentra posicionado el brazo robótico y como herramienta posee el cabezal fresador, donde el eje del husillo se encuentra perpendicular a la base, la mesa de trabajo se posiciona dentro del área donde trabajará el robot, a una distancia previamente analizada que permitirá que el robot realice el mecanizado sin

complicaciones alcanzando toda la superficie de la mesa, permitiendo de tal manera realizar un óptimo trabajo.

Adicionalmente y en un lugar apartado del área de trabajo del robot, se ha añadido un espacio para el escaneado, una PC donde se adquieren los datos del escáner y se encuentran instalados los programas CAD, CAM, KUKA Sim Pro y el KUKA CAM Rob PC para la programación del proceso, los elementos se muestran en la Figura 4. 2.

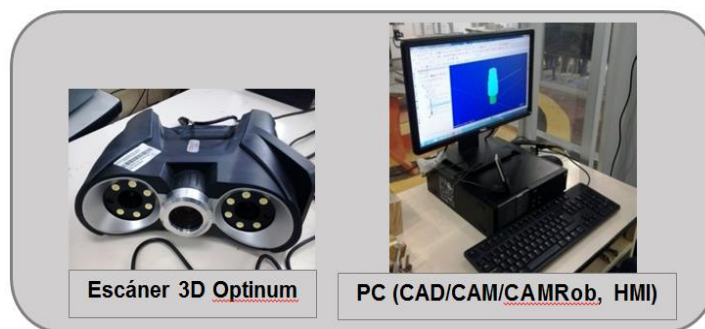


Figura 4. 2: Dispositivos pertenecientes a la celda de manufactura.

La celda está rodeada de vallas de acrílico, que aparte de dividir a la celda de otras, evitan que la viruta se expanda fuera de ella y pueda llegar a los operarios. Las especificaciones del área de trabajo se muestran en la Tabla 4.1:

Tabla 4. 1: Especificaciones del área de trabajo.

<i>ESPECIFICACIÓN</i>	<i>DISTANCIA [mm]</i>
Recorrido en el eje X	740
Recorrido en el eje Y	740
Altura desde la base hasta el TCP	500

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

4.2 CONFIGURACIÓN DE LA BASE Y HERRAMIENTAS

Se debe configurar la base y las herramientas del brazo robótico industrial a utilizarse. En el controlador del robot se genera un archivo que contiene los datos de las configuraciones, necesarias en el CAM Rob de la PC para sincronizar la base y herramientas con el brazo robótico KUKA del layout del KUKA Sim Pro.

a. Configuración de la base.

Al configurar la base del robot, se asigna la superficie de trabajo en la cual se realizará el mecanizado, se usa el método de los *3 Puntos*, éste consiste en desplazar el TCP del robot al origen (0,0,0) de la nueva base de trabajo, luego a un punto del eje +X de la nueva base y finalmente a un punto del plano +X+Y de la misma base a trabajar.

En el KCP seleccionar la secuencia de menú *Inicial >>Medición >>Base >>3-Puntos*. Ingresar un nombre y número de base como se indica en la Figura 4. 3, pulsar *Continuar*.

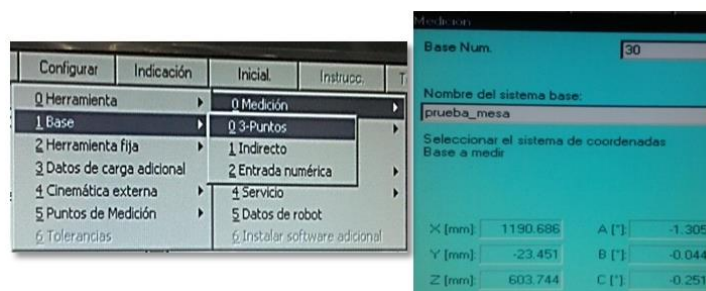


Figura 4. 3: Configuración de la base.

Después de cada punto posicionado sobre la nueva base, pulsar *Medición >>Continuar*, y por último *Guardar*. Realizar la medición de la base, ubicándose en los puntos que requiere el método, tal como muestra en la Figura 4. 4.



Figura 4. 4: Método de los 3-Puntos.

b. Configuración de la herramienta.

Para configurar las herramientas del robot, se asigna a una herramienta montada en la brida del robot un sistema de coordenadas cartesianas, la herramienta debe estar montada en el husillo del cabezal fresador. Se usa el método de *Medición XYZ de 4 puntos*, para este método, con el TCP de la herramienta que se desea medir, se desplaza a un punto de referencia desde 4 direcciones diferentes, los cuales deben estar suficientemente separados, como se indica en la Figura 4. 5.

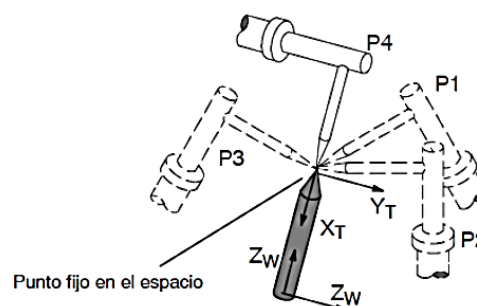


Figura 4. 5: Ejemplo Medición XYZ 4 Puntos.

Se selecciona la secuencia *Inicial* >>*Medición* >>*Herramienta* >>*XYZ 4-Puntos*, como se muestra en la Figura 4. 6. Se indica un número y un nombre para la herramienta que se desea medir, pulsar *Continuar*.

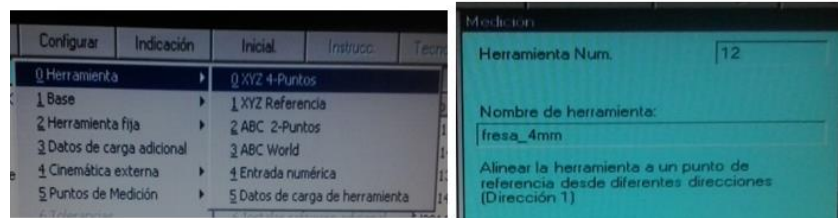


Figura 4. 6: Configuración de la herramienta.

Pulsar *Medición* >>*Continuar* al alinear el TCP de la herramienta en cada dirección asignada o un punto de referencia. Por último, pulsar *Guardar*. La medición de la herramienta se indica en la Figura 4. 7.

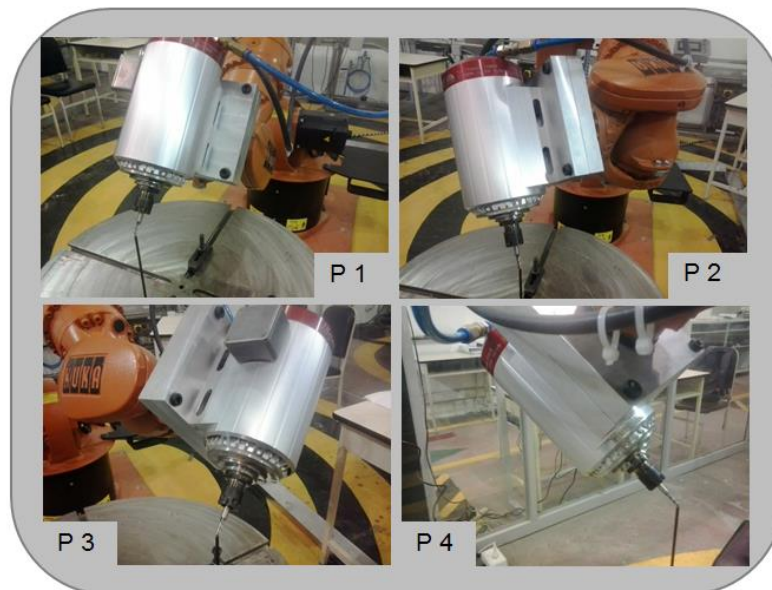


Figura 4. 7: Medición XYZ 4 Puntos.

Para dar la dirección de empuje en -Z para el mecanizado, realizar la medición *ABC World*.

Se selecciona la secuencia *Inicial* >>*Medición* >>*Herramienta* >>*ABC World*, como se muestra en la Figura 4. 8. Se indica un número y un nombre para la herramienta a medir, pulsar *Continuar*.

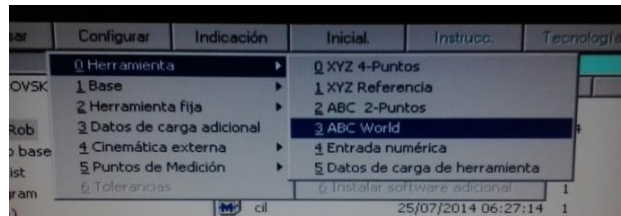


Figura 4. 8: Medición de la herramienta con ABC World.

Es importante y necesario girar el eje A6 180 grados hacia arriba así como se muestra en la Figura 4. 9.

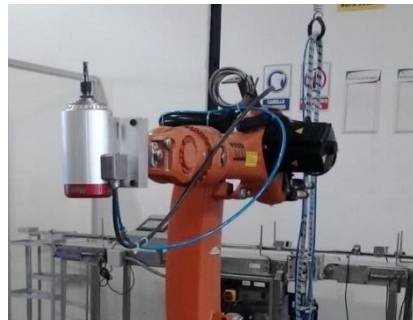


Figura 4. 9: Eje A6 a 180°.

Se selecciona el número de la herramienta a medir, la opción 5D, y *Continuar*, como se muestra en la Figura 4. 10. Luego, pulsar *Medición* (con el cabezal girado 180°) >>*Continuar* >>*Guardar*.

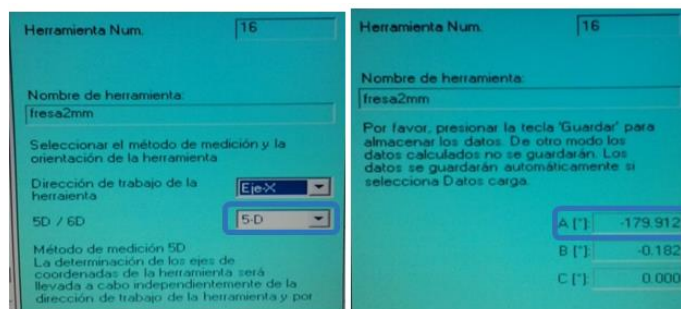


Figura 4. 10: Método de medición 5D.

Es necesario definir todas las herramientas y bases a usarse, éstas se guardan automáticamente en una base de datos, el archivo es el *config dat* del KRC (*C:\KRC\ROBOTER\KRC\ R1\ System\config.dat*); por lo tanto, se debe tener la misma tabla de herramientas y bases del robot, en el programa donde se va a simular las trayectorias de mecanizado.

4.3 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE RÉPLICAS

El proceso completo para la obtención de réplicas a realizarse en la celda de manufactura con el brazo robótico abarca cinco fases principales, las cuales se muestran en la Figura 4. 11.

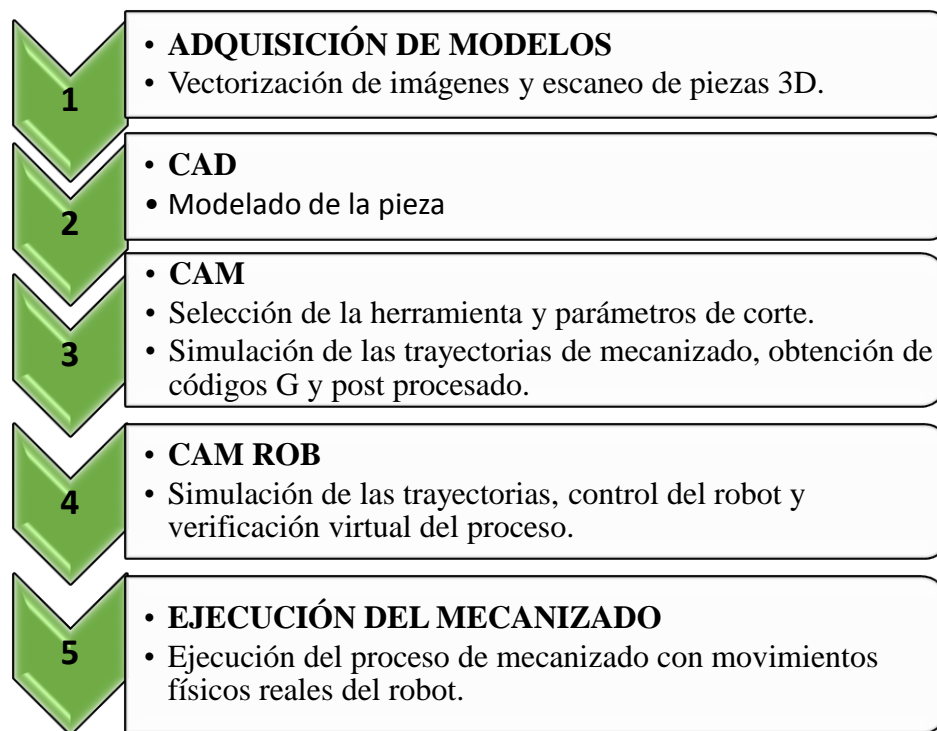


Figura 4. 11: Fases principales del proceso para la obtención de réplicas.

En la celda de manufactura robotizada se realiza operaciones de fresado como: grabado, desbaste y acabado sobre materiales blandos.

Las siguientes secciones indican los procesos a seguir para la obtención de réplicas 3D, desde la adquisición de modelos hasta la ejecución del mecanizado con robot.

Se debe indicar que, el proceso de las fases de: adquisición de modelos, CAD y CAM, son diferentes para cada réplica a realizar, depende de la digitalización, el modelado y mecanizado que se realice para cada modelo. En cambio, las fases del CAM Rob y la ejecución del mecanizado, se realizan de la misma manera para todas las réplicas que se desea mecanizar.

4.3.1 ADQUISICIÓN DE MODELOS

Para realizar las réplicas se necesita de modelos físicos para ser escaneados o utilizar modelos ya digitalizados.

a. OBTENCIÓN DE MODELOS 2D

Para la obtención de modelos 2D usar cualquier software que permita vectorizar mapa de bits, en este caso Mastercam X4 mediante la aplicación *Rast2.vec*. Las estrategias usadas son rápidas y fácilmente modificables, lo que permite analizar distintas técnicas de mecanizado y ejecutar la que consiga el resultado ideal, para ir del boceto digital, a la pieza física con un solo programa.

Los pasos para vectorizar una imagen (mapa de bits) son los siguientes:

- ✓ En Mastercam pulsar *Alt + C* y abrir la aplicación *Rast2.vec*. Click en *Sí* para mantener la geometría. Luego, abrir la imagen a vectorizar. El programa realiza una conversión Black/ White como muestra en la Figura 4. 12.

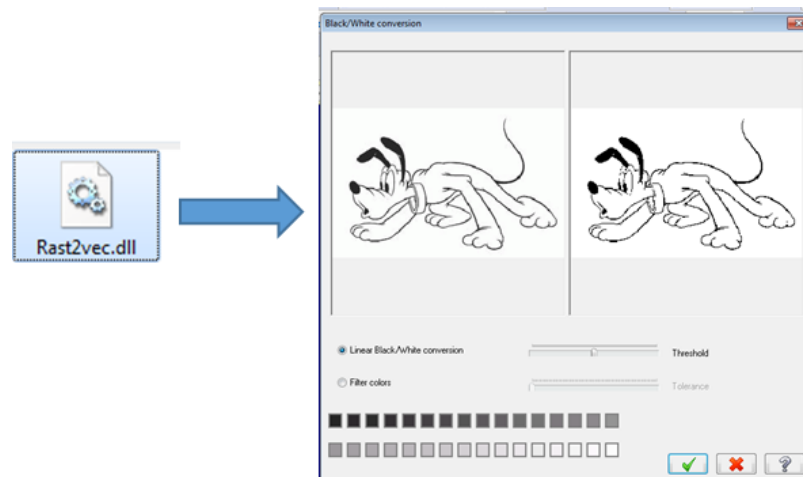


Figura 4. 12: Conversión Black/White.

✓ Seleccionar de manera adecuada las opciones para la conversión, pulsar *Aceptar*, ajustar la geometría lisa, pulsar *OK*. En la Figura 4. 13 se indica la ventana de ajustes de vectorización.

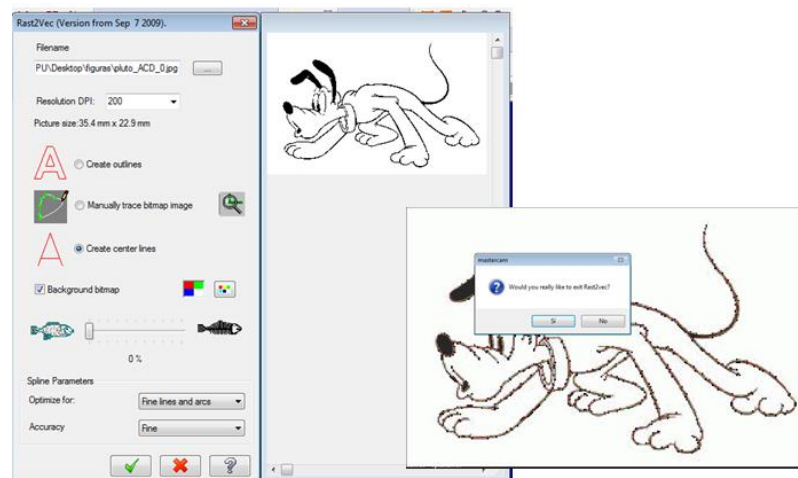


Figura 4. 13: Ajustes de vectorización.

✓ La imagen convertida se aprecia en la Figura 4. 14. Modificar y ajustar a las medidas deseadas.

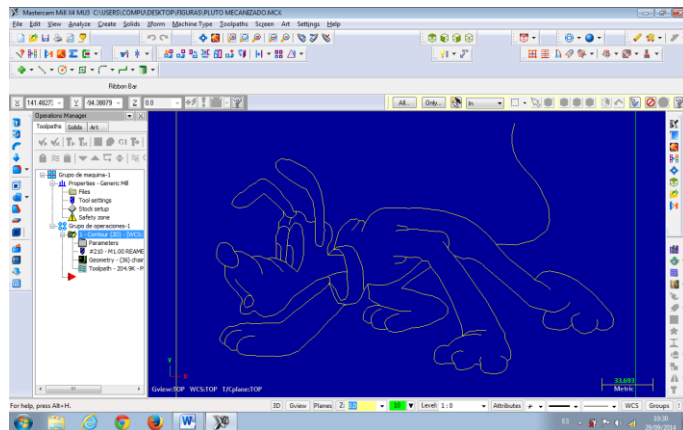


Figura 4. 14: Vectorización de mapa de bits en Mastercam.

b. OBTENCIÓN DE MODELOS 3D

En este proyecto, se utiliza Mastercam Art para convertir una imagen 2D en una geometría 3D.

El proceso inicia al importar una imagen como se muestra en la en la Figura 4. 15. *Art* la convierte en una geometría plana, a partir de la cual se podrá construir el modelo 3D, seleccionando uno de los mecanizados específicos de Mastercam Art.

Abrir el archivo con la imagen y Mastercam lo convierte a escala de grises. Pulsar *OK*.

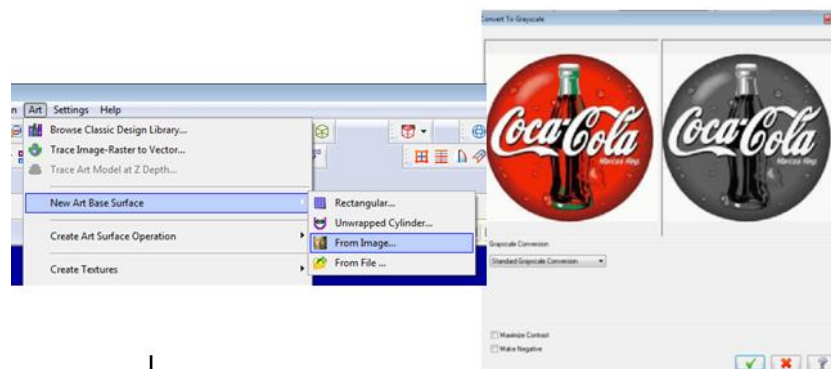


Figura 4. 15: Conversión a escala de grises.

En Mastercam se crea una geometría 3D mediante la selección de distintos parámetros en la malla de la geometría plana. La Figura 4. 16 indica la obtención del modelo 3D.

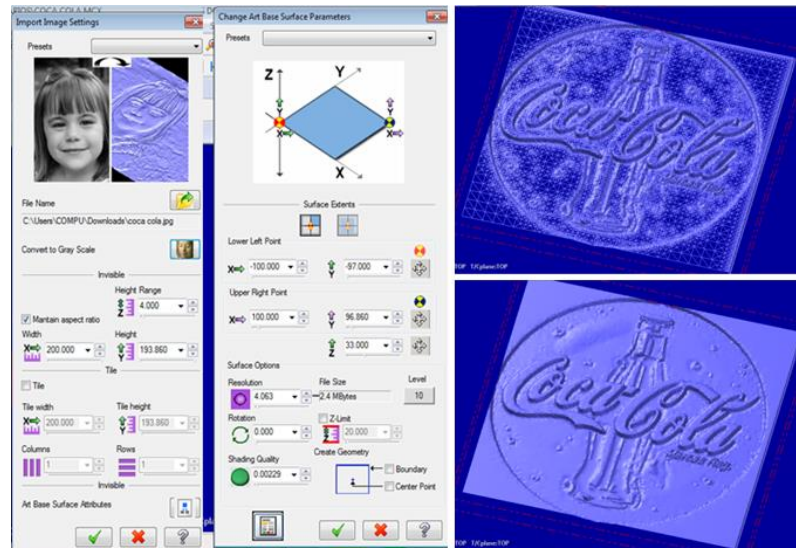


Figura 4. 16: Obtención de modelo 3D a partir de una fotografía 2D.

En este caso, la digitalización de modelos 3D se realiza mediante el uso del escáner portátil Optinum 3D, éste, a través del láser y sus dos cámaras que posee, realiza tomas de la pieza, se obtiene una nube de puntos que se genera en el software NumiSoft que trabaja en conjunto con el escáner. De preferencia la pieza a ser escaneada debe ser color blanco y escanearse sobre una base color negro, como se indica en la Figura 4. 17.



Figura 4. 17: Escaneo de una pieza 3D con el escáner.

Durante el proceso de digitalización de la pieza 3D, se realiza varias tomas que permitan la construcción del modelo en un mismo conjunto de nubes de puntos.

El modelo obtenido por el escáner 3D describe la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado y la información que se adquiere se usa para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones.

En el NumiSoft, mediante varios procedimientos se realiza la eliminación de todos los objetos ajenos a la pieza que están presentes en la toma (ruido), se usa la herramienta *Fine Reconstruction*, de esta manera se realiza una limpieza de la nube de puntos para evitar que puedan ocasionar problemas al momento del registro y en la unión de las nubes de puntos, también llamado “merge” que conforman el modelo 3D final. En la Figura 4. 18 se indica la herramienta para la reconstrucción de la nube de puntos.



Figura 4. 18: Herramienta Fine Reconstruction.

Ajustar la escala de negros y blancos que se muestra en la Figura 4. 19, hasta obtener el modelo deseado y la eliminación de ruido lo menos posible.

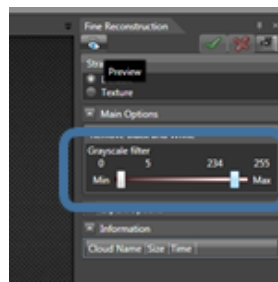


Figura 4. 19: Filtrar la escala de grises eliminando ruido.

Luego, usar la herramienta *Fine Registration* que indica la Figura 4. 20, para registrar todos los puntos que conforman el modelo 3D.



Figura 4. 20: Herramienta Fine Registration.

La herramienta *Merge Clouds* mostrada en la Figura 4. 21, permite unir las nubes de puntos, reduciendo significativamente el número de puntos en una sola nube como el modelo que se indica en la Figura 4. 22.

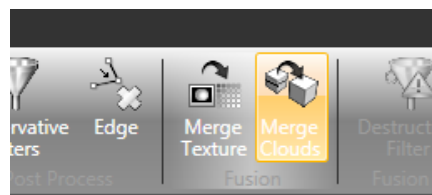


Figura 4. 21: Herramienta Merge Clouds.

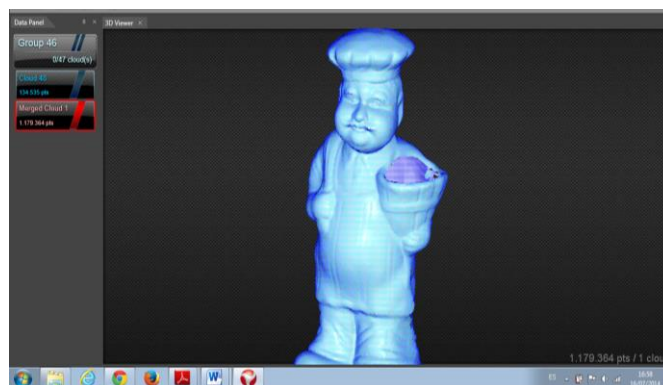


Figura 4. 22: Unión de la nube de puntos.

Una vez obtenido el modelo, se exporta el archivo como se indica en la Figura 4. 23, con las extensiones .asc o .xyz que son los que lee el software CAD, que en este caso es SolidWorks.



Figura 4. 23: Herramienta para exportar el archivo de nube de puntos.

4.3.2 DISEÑO Y MODELACIÓN (CAD)

El modelado de la pieza 3D se puede realizar en cualquier software CAD que lea archivos de escáneres, donde se construye una malla mediante la nube de puntos, para en lo posterior mecanizarla en un programa CAM.

a. MODELADO DE LA PIEZA 3D

En SolidWorks se activa el complemento **ScanTo3D**, que abre archivos provenientes de cualquier escáner 3D, prepara datos y los convierte en una malla, reduce significativamente el tiempo requerido para construir modelos 3D complejos a partir de datos digitales. Los archivos de nube de puntos que lee el SolidWorks son: (*.xyz; *.txt; *.asc; *.vda; *.igs; *.ibl).

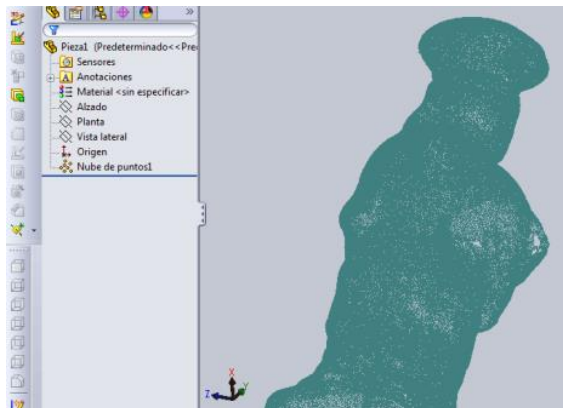


Figura 4. 24: Archivo de nube de puntos importado en SolidWorks.

Convertir en malla el modelo del archivo de nube de puntos mostrado en la Figura 4. 24. Usar el Asistente de preparación de malla seleccionando la secuencia que muestra la Figura 4. 25.

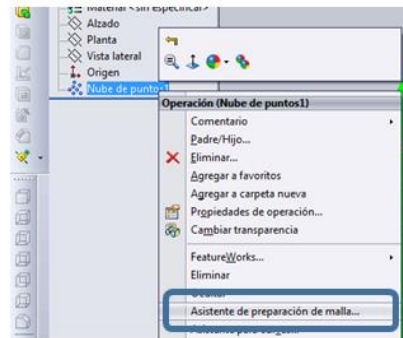


Figura 4. 25: Asistente de preparación de malla.

Para datos de nube de puntos, se realiza varios procesos, una de ellas es la herramienta *Eliminación de ruido*, ésta divide la nube en particiones y quita puntos que se encuentran fuera de la distribución promedio, removiendo puntos de ruido. Los datos extraños generalmente existen en datos de nube de puntos y provienen del dispositivo utilizado para sujetar la pieza al escanearla.

La siguiente herramienta a utilizar es *La simplificación*, reduce el número de puntos, lo que produce un archivo sencillo con un tamaño menor. Con frecuencia es necesario simplificar cuando el tamaño de la nube de puntos es muy grande, en cuyo caso se debe simplificar el tamaño para formar una malla eficiente. Si aparece un mensaje de advertencia que indica que queda poca memoria, quite el ruido de la nube de puntos y simplifique el modelo para mejorar el rendimiento.

El suavizado de la malla puede ayudar a rectificar áreas irregulares o no refinadas. Puede suavizar toda la malla o sólo regiones locales. Se recomienda realizar *Suavidad global* como se indica en la Figura 4. 26, que relaja todos los contornos del modelo.



Figura 4. 26: Suavizado de la malla.

Para rellenar los espacios “agujeros” que se encuentran en la pieza, que no se definieron bien en el escaneo, se usa la herramienta *Llenar Taladros*. El Asistente para preparación de malla detecta automáticamente taladros grandes en la operación de malla y los muestra en “Taladros a llenar” como se muestra en la Figura 4. 27.

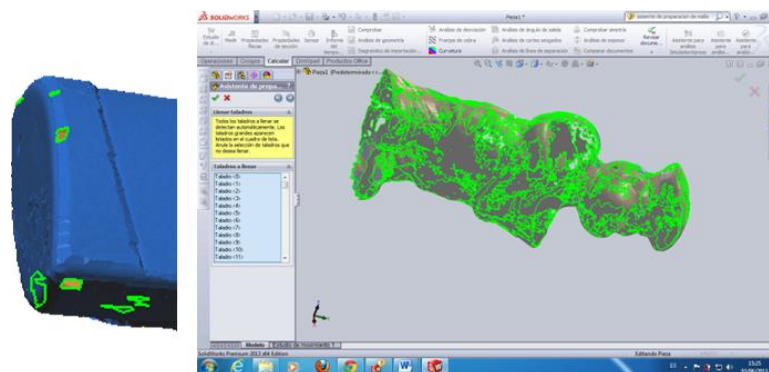


Figura 4. 27: Relleno de taladros en SolidWorks.

Se recomienda llenar todos los taladros de forma consistente con la intención de diseño. Después de llenar taladros, la preparación de la malla está completa, y la opción *Iniciar el Asistente para superficies* se selecciona automáticamente luego de convertir el modelo en malla. También se

selecciona manualmente de la misma manera que se abre el asistente de preparación de malla. La malla se muestra en la Figura 4. 28.

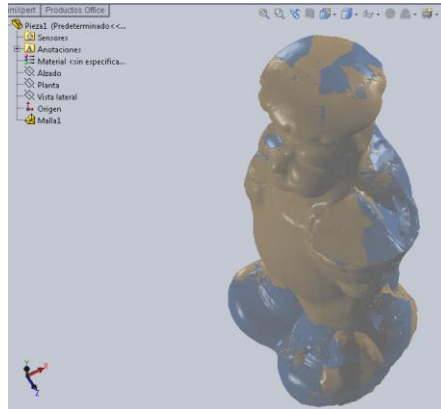


Figura 4. 28: Modelo 3D escaneado y transformado a malla.

Las superficies creadas se componen de parches, los grupos de parches forman regiones en las superficies. Una vez que se obtiene el modelo 3D completo de la pieza, se analiza y si es necesario se realiza ciertas modificaciones de ésta presentación digital para lograr un acercamiento mayor a la pieza real. En la Figura 4. 29 se aprecia el modelo 3D hecho superficie.

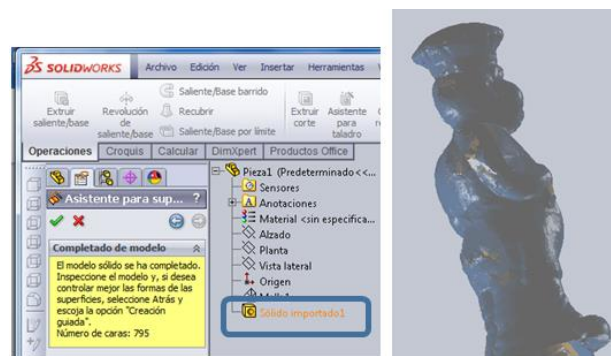


Figura 4. 29: Superficie de un modelo 3D escaneado.

Hoy en día se encuentra en internet archivos tridimensionales, resultado de escaneo, que son de gran ayuda para usar en el proceso de fresado de réplicas de este proyecto.

4.3.3 MECANIZADO Y CÓDIGOS G (CAM)

Los modelos en 2D y 3D, se exportan a un software CAM para la creación del mecanizado.

El software de manufactura que se utiliza para este proyecto es Mastercam, aquí, se importa el modelo, se dimensiona y realiza la programación con la operación de mecanizado deseado, tomando en cuenta varios parámetros necesarios y requeridos para tal función. Mastercam utiliza un lenguaje de programación específico para trabajos industriales, los llamados códigos CNC.

Para el proceso de fresado, se necesita conocer varios parámetros fundamentales, entre ellos los de corte conociendo la herramienta y el material con el que se trabajará, son los siguientes:

- ✓ Tipo de máquina (ejes de mecanizado).
- ✓ Revolución del cabezal fresador.
- ✓ Material de la pieza y su geometría.
- ✓ Tipo de herramienta y su diámetro.
- ✓ Tipo de mecanizado.
- ✓ Velocidades de corte.
- ✓ Avances.
- ✓ Profundidad de pasada o penetración.

Los parámetros de corte para fresado se determinan mediante el uso de las ecuaciones revisadas en la sección 1.6.3.

a. CAM para modelos 2D

Retomando el modelo 2D obtenido mediante la vectorización, se procede a realizar el mecanizado del mismo. El proceso inicia al seleccionar el tipo de

máquina, la herramienta. Calcular los parámetros necesarios para el mecanizado e ingresar como indica la Figura 4. 30.

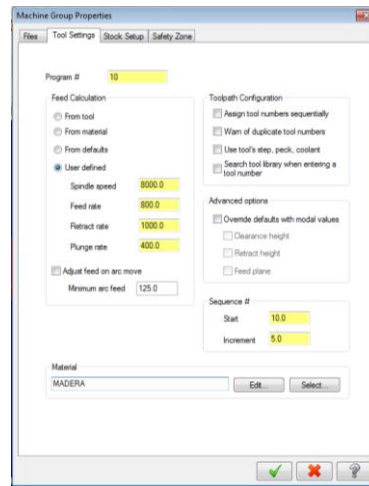


Figura 4. 30: Parámetros de corte para el fresado.

Seleccionar la operación de mecanizado, para este caso se realiza un grabado, elegir *Contorno*, como se muestra en la Figura 4. 31, la herramienta a utilizarse para grabar es un escariador.

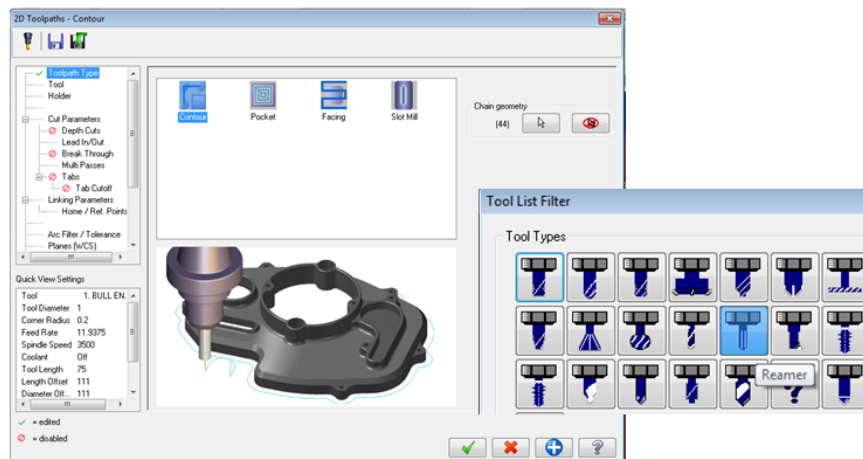


Figura 4. 31: Tipo de mecanizado y herramienta.

Para la simulación de las trayectorias de mecanizado y obtener los códigos G, seleccionar *Verificar las operaciones seleccionadas* que se indica en la Figura 4. 32 y simular las trayectorias del mecanizado en proceso.



Figura 4. 32: Herramienta para simular las trayectorias de mecanizado.

Las trayectorias de mecanizado resultan como se muestra en la Figura 4. 33.

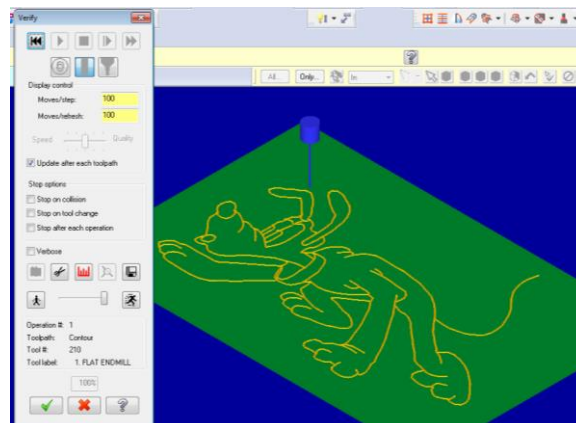


Figura 4. 33: Grabado de una imagen 2D en Mastercam.

Luego de verificar que las trayectorias de mecanizado resulten correctas, seleccionar *G1* y extraer los códigos G, como se indica en la Figura 4. 34.

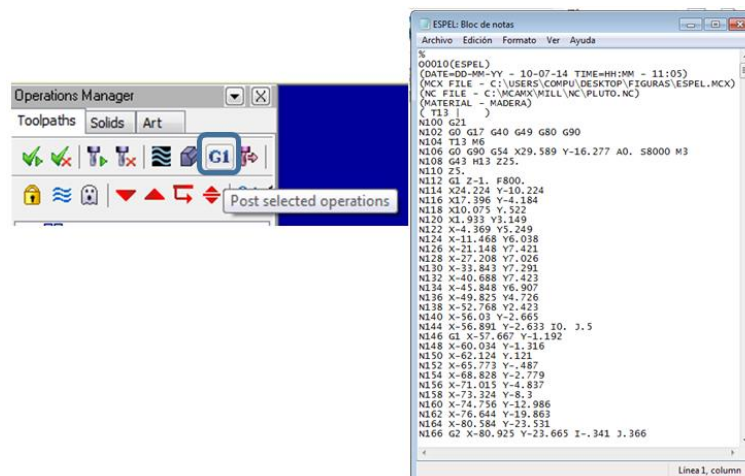


Figura 4. 34: Extracción de códigos G.

b. CAM para modelos 3D

Obtenido el modelo en 3D con el Art, seleccionar la máquina para realizar el mecanizado, luego, usar uno de los mecanizados específicos de Mastercam Art, el *Toolpath Art Base Surface*, como se indica en la Figura 4. 35.

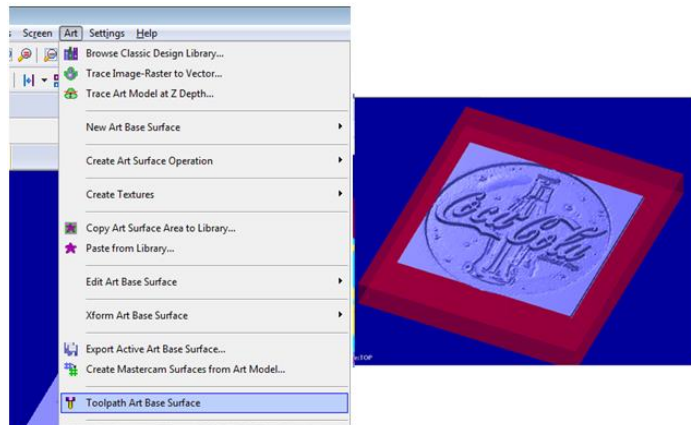


Figura 4. 35: Selección del mecanizado en el Art.

Para las operaciones de desbaste y acabado, seleccionar la herramienta y realizar los cálculos de los parámetros de corte necesarios para el mecanizado. Ingresar los datos obtenidos como se indica en la Figura 4. 36.

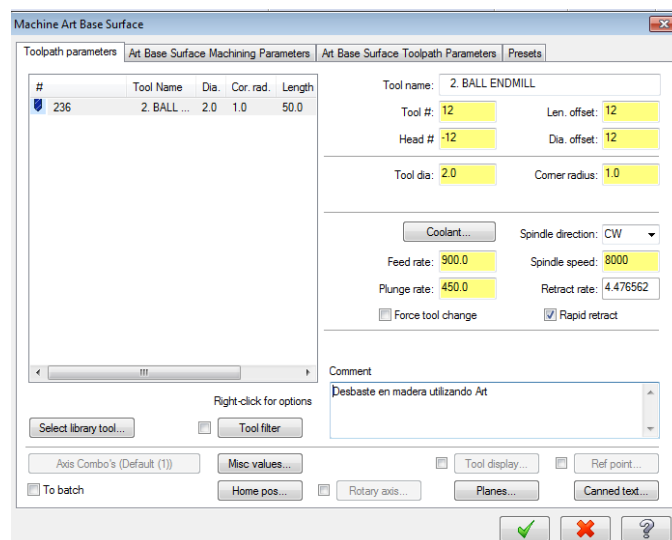


Figura 4. 36: Parámetros de corte para realizar desbaste.

Verificar las trayectorias de mecanizado y extraer los códigos G. La Figura 4. 37 muestra la pieza mecanizada Mastercam.



Figura 4. 37: Pieza 3D mecanizada con Art de Mastercam.

El modelo obtenido mediante escaneo y editado en el software CAD, se importa en Mastercam. El archivo debe tener extensión .stl, .x_t, .x_b (Parasolid) u otros compatibles.

Seleccionar la máquina a utilizar para iniciar el mecanizado del modelo escaneado, establecer las dimensiones del material en el cual se va a realizar la réplica y seleccionar una operación adecuada para el mecanizado. Luego, escoger el tipo de herramienta a trabajar, los parámetros de corte y crear las trayectorias de mecanizado como se aprecia en la Figura 4. 38.

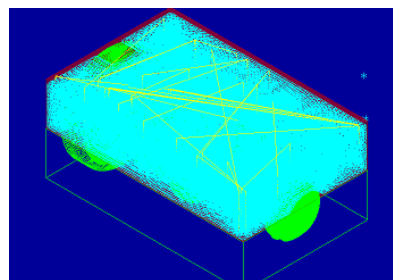


Figura 4. 38: Trayectorias de mecanizado en Mastercam.

Simular las trayectorias de fresado con el fin de detectar colisiones o fallas ocurridas durante la programación del proceso. Por último, extraer los códigos G, los cuales deben contener toda la información requerida para

lograr el maquinado de la pieza. La Figura 4. 39 muestra la pieza escaneada y mecanizada en Mastercam.

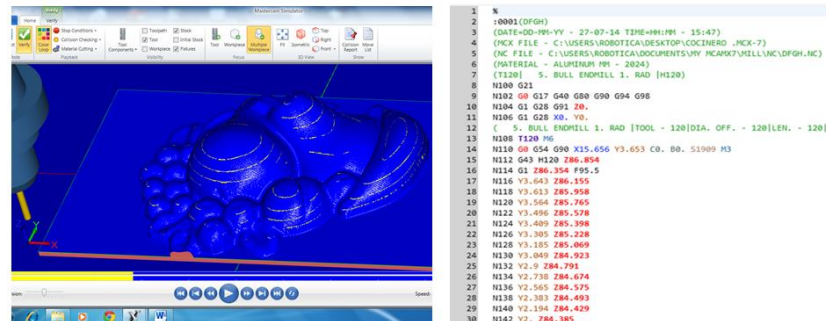


Figura 4. 39: Pieza mecanizada en Mastercam y Códigos G.

Para todas las operaciones que se realicen, revisar los códigos G, al existir interpolaciones circulares, éstos códigos deben ser modificados, ya que el CAM Rob no admite dichas interpolaciones. Para ello, Mastercam X7 permite convertir aquellos códigos, eliminando los G2 y G3.

Se debe convertir a 5 ejes las operaciones realizadas para eliminar las interpolaciones circulares. Para ello, seleccionar *Multiaxis* como indica la Figura 4. 40.

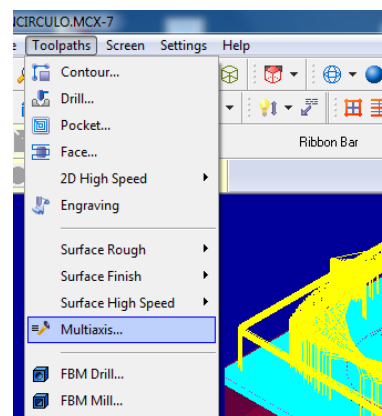


Figura 4. 40: Herramienta Multiejes.

En *Tool Box* seleccionar *Convert to 5 axes* como se muestra en la Figura 4. 41 y luego OK.

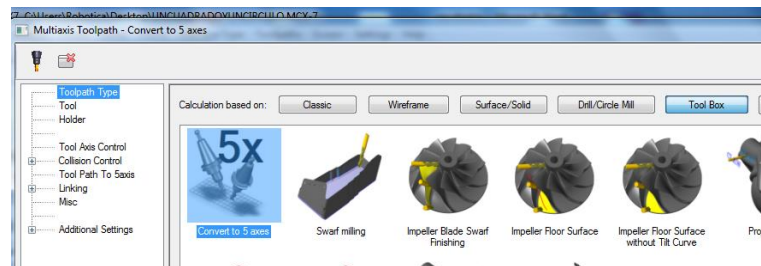


Figura 4. 41: Convertir a 5 ejes.

Aparece una ventana que pregunta si se desea cambiar la operación original, click en *Sí*.

Seleccionar la operación a convertir como indica la Figura 4. 42. Este paso repetir para cada una de las operaciones existentes en el mecanizado.

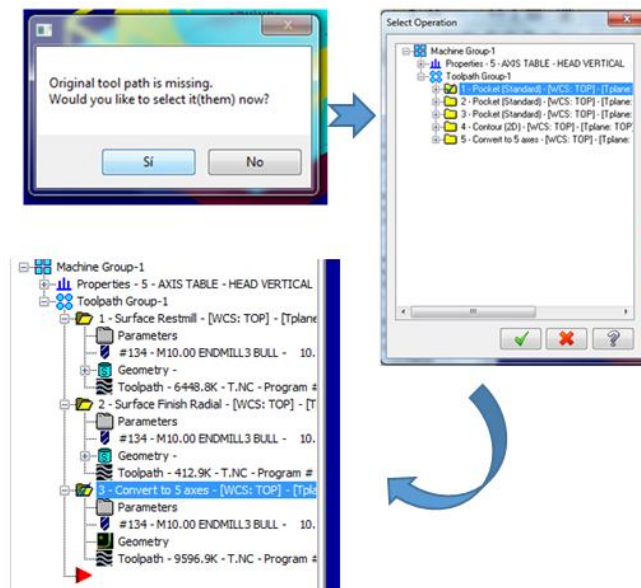


Figura 4. 42: Operaciones para convertir a 5 ejes.

Convertidas las operaciones de mecanizado a 5 ejes, generar el nuevo código G, entonces click en *No*, para no seleccionar todas las operaciones, solo aquellas convertidas. En la Figura 4. 43 se puede observar el cambio en los códigos CNC.

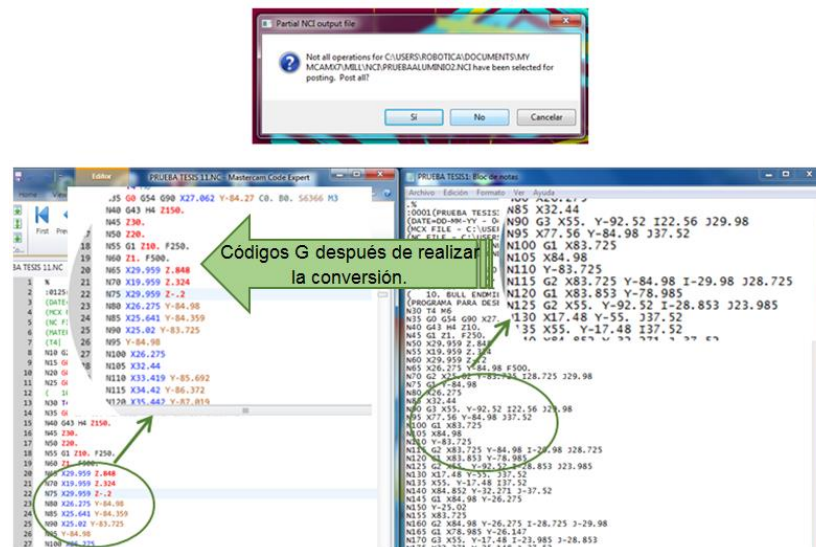


Figura 4. 43: Códigos G sin interpolaciones circulares.

A partir de los códigos G que se obtuvieron en el software CAM, se procede a la siguiente fase del proceso para la obtención de réplicas, el CAM Rob. En esta fase se realiza el mismo procedimiento para cualquier pieza que se desee mecanizar con el brazo robótico.

4.3.4 KUKA CAM Rob PC Y KUKA CAM Rob KRC

Los pasos generales del proceso a seguir son los siguientes:

- ✓ Modelar el layout de la celda de manufactura en el KUKA Sim Pro.
 - ✓ Configurar las herramientas y base del robot y sincronizar con las del CAM Rob de la PC.
 - ✓ Insertar los códigos CNC en el Job Map.
 - ✓ Simular el trabajo y generar el programa con el lenguaje del robot.
 - ✓ Cargar el programa en el KRC y ejecutarlo.
-
- ✓ Modelar el layout de la celda de manufactura en el KUKA Sim Pro.

El layout de la celda de manufactura realizado en KUKA Sim Pro que se menciona en la sección 2.5, es un modelo con las mismas características de los componentes que conforman la celda de manufactura robotizada y las

mismas dimensiones de la celda física. La precisión de la simulación del robot depende de la exactitud del layout.

La aplicación del KUKA CAM Rob, permite leer los códigos G, verificar e interpretar el programa CAM, para así, de manera virtual, observar las trayectorias a realizar con el robot mientras ejecuta el mecanizado, como se menciona en la sección 3.8.2, dando aviso sobre errores y colisiones que puedan ocurrir durante el proceso. El entorno del KUKA CAM Rob PC, se muestra en la Figura 4. 44 y se describen en la Tabla 4. 2.

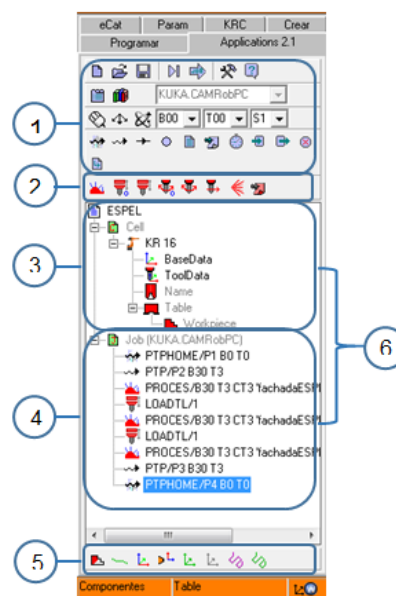


Figura 4. 44: Entorno del KUKA Sim Pro y KUKA CAM Rob PC.

Tabla 4. 2: Descripción del entorno del CAM Rob.

N°	Descripción
1	Herramientas del KUKA Sim Pro.
2	Botones del CAMRob.
3	Cell Map.
4	Comandos.
5	Barra de estado.
6	Job Map.

El objetivo principal de esta aplicación es el de simular el mecanizado de piezas, de forma rápida y sencilla, sin necesidad de utilizar las máquinas reales.

En la Tabla 4. 3 (Curso CAM Rob ESPE-L, 2012) se muestra una lista de los códigos CNC que admite el programa.

Tabla 4. 3: Códigos G admisibles en el CAM Rob.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
G0	Avance rápido.
G1	Interpolaciones lineal (avance de maquinado)
G40	Cancelar compensación en el corte.
G90	Coordenadas absolutas.
G94 Fxxxx	Velocidad de avance en mm / min.
SxxxxM3	Velocidad del husillo, sentido horario.
SxxxxM4	Velocidad del husillo, sentido anti-horario.
M05	Apagar el husillo.
M08	Refrigeración ON
M09	Refrigeración OFF
M30	Fin del programa; reset y reactivar el programa.

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la perfecta programación del CAM Rob PC y KRC. En el laboratorio de Robótica Industrial está instalado el software KUKA Sim Pro con su licencia, en la versión que se muestra en la Figura 4. 45.



Figura 4. 45: KUKA Sim Pro versión 2.1.0.

Abrir el layout de la celda, seguir la secuencia como se indica en la Figura 4. 46.

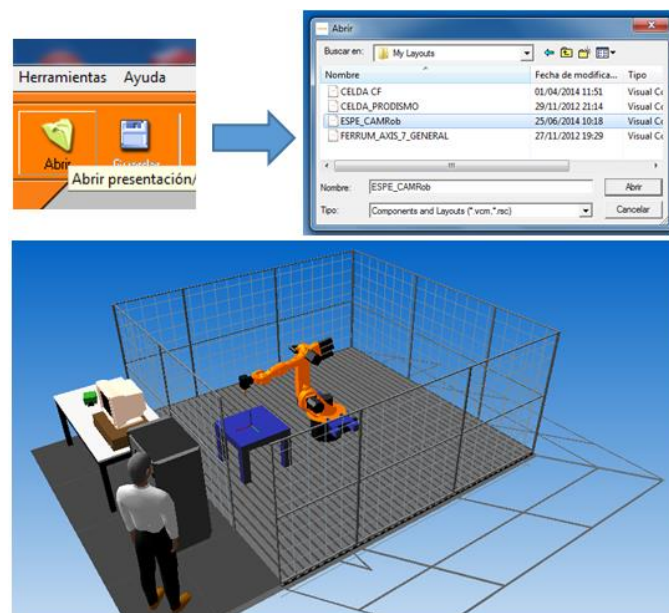


Figura 4. 46: Layout en KUKA Sim Pro.

En *Applications*, desplegar la ventana y escoger el complemento KUKA.CAM Rob PC, aparecen las herramientas a utilizar como se muestra en la Figura 4. 47.

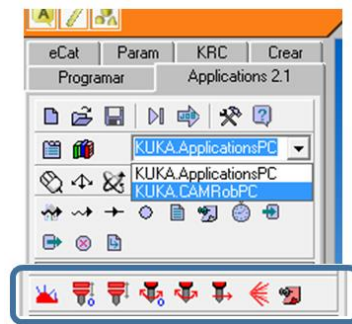


Figura 4. 47: KUKA CAM Rob PC.

Iniciar un nuevo proyecto, seleccionar *Inicializar Jobmap*, aquí se compila los datos de información de inicio de programa, como nombre del proyecto, autores, etc., como se indica en la Figura 4. 48. El proyecto creado se guarda en el disco C, en la carpeta *temp*.

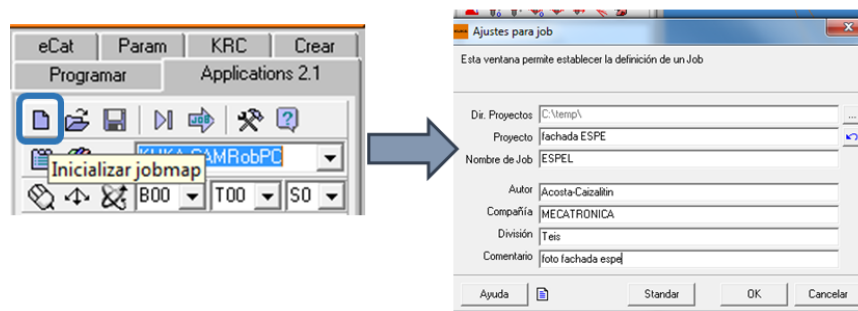


Figura 4. 48: Información del trabajo.

Al crear el nuevo proyecto, el job map muestra la estructura de la Figura 4. 49, que contiene los componentes de la celda y el proceso de mecanizado.

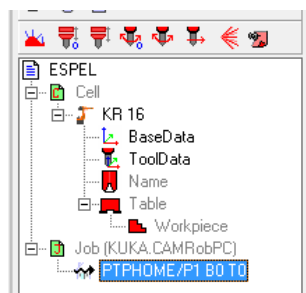


Figura 4. 49: Job Map.

- ✓ Configurar las herramientas y base del robot y sincronizar con las del CAM Rob de la PC.

En el CAM Rob, cargar el archivo *\$config.dat* del KRC con los datos de la configuración de las herramientas y base a trabajar, para así sincronizar el KUKA físico con el KUKA virtual del Sim Pro.

Para sincronizar las herramientas y base, seleccionar *Utilidades*, se abre la ventana *Herramientas y utilidades* y seleccionar *Sincronizar herramienta*, como se indica en la Figura 4. 50.

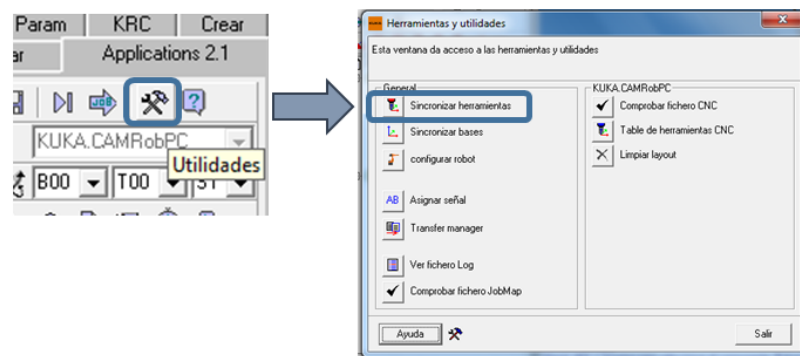


Figura 4. 50: Sincronizar herramientas.

En la ventana *Sincronizar utilidad para herramientas*, abrir la opción *Cargar datos desde archivo*, buscar el archivo de la *config.dat* descargada del KRC, abrir el archivo.

Pasar los datos por herramienta seleccionando cada una de las flechas color azul o todos los datos a la vez, dando click en la flecha azul que indica la Figura 4. 51.

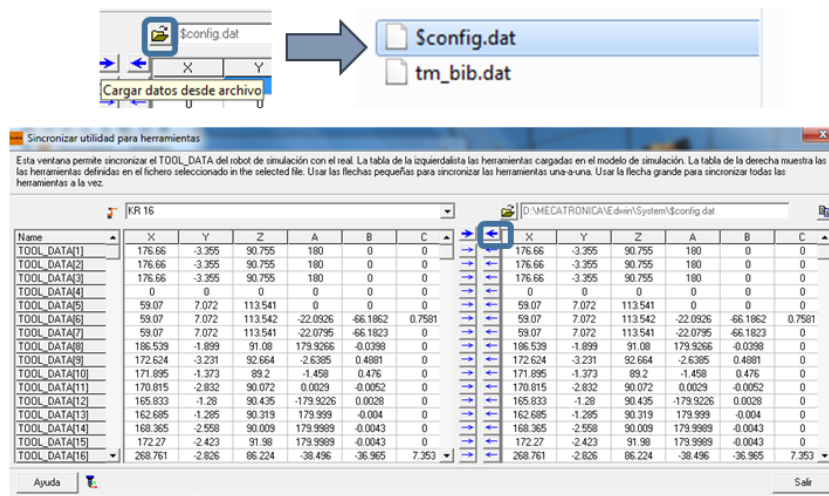


Figura 4. 51: Cargar el \$config.dat y sincronizar bases y herramientas.

De la misma manera, seleccionar *Sincronizar bases*, cargar el mismo archivo *config.dat* y tomar todos los datos, pulsar *Salir*. Escoger la opción que muestra la Figura 4. 52.

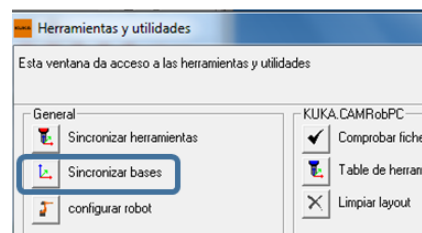


Figura 4. 52: Sincronizar bases.

- ✓ Insertar los códigos CNC en el Job Map.

Seleccionar *Add PROCESS command*, y añadir el archivo NC con los códigos G. De esta manera, se carga el proceso en el Job Map como se muestra en la Figura 4. 53.

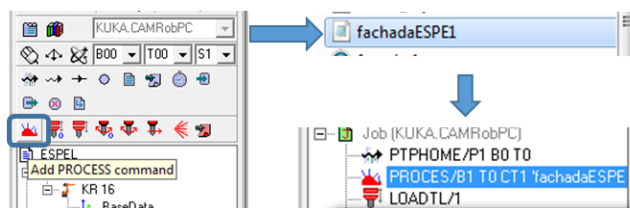


Figura 4. 53: Cargar el proceso con el archivo NC.

El primer paso es *Leer* el archivo con los códigos G, se necesita saber cuánto rápido va a trabajar el robot en [*mm / min*]. Las unidades a trabajar son [*mm*], las unidades de avance en [*MMPM*], *Aceptar* y *Aplicar*, aquí se ajustan parámetros para el proceso de fresado, como se muestra en la Figura 4. 54.

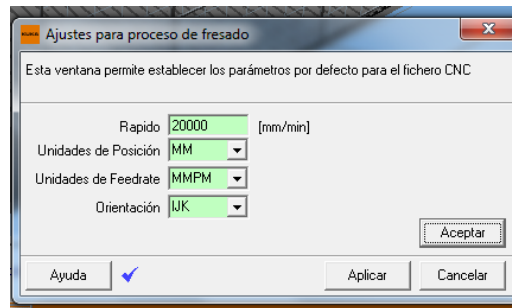


Figura 4. 54: Ajustes para el proceso de fresado.

En este paso, el CAM Rob acepta o rechaza ciertos códigos G del archivo NC, entonces, ir modificando los códigos no aceptados y guardar los cambios. Luego, agregar la base que se va a utilizar, como se muestra en la Figura 4. 55, pulsar *Enter*.



Figura 4. 55: Cargar número de base.

El siguiente paso es *Filtrado*, filtra, elimina y redondea los puntos de mecanizado que cree conveniente el sistema, permitiendo así, que éste trabaje más rápido, con un archivo más pequeño. Se recomienda no cambiar nada y seleccionar *Filtrado* para salir. Al filtrar se observa dónde se va a colocar la pieza mecanizada (las trayectorias en azul), como se aprecia en la Figura 4. 56.

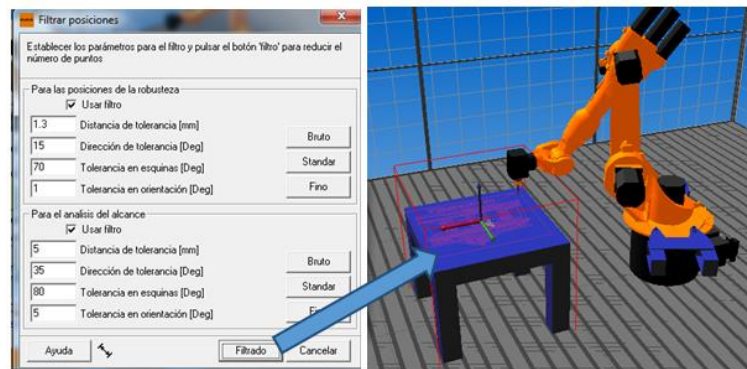


Figura 4. 56: Filtrado de puntos de mecanizado.

Otro de los pasos es *Parámetros*, especificar la herramienta a utilizar en el proceso, seleccionar *Tabla de herramientas CNC* y añadir la *herramienta* con la que se va a mecanizar, como se muestra en la Figura 4. 57, pulsar *Salir*.

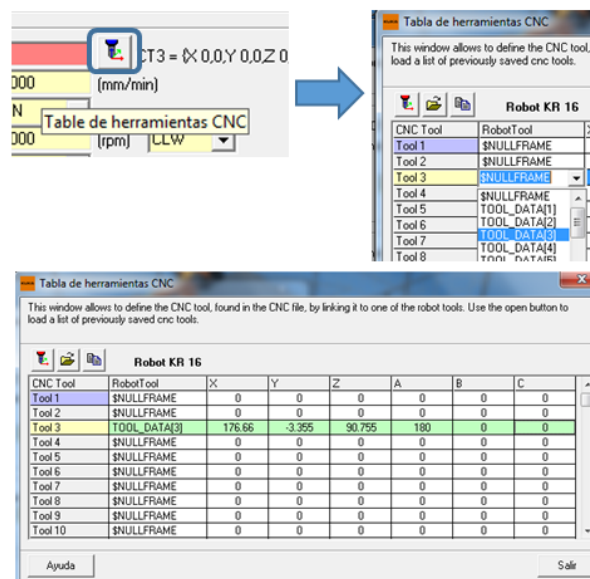


Figura 4. 57: Parámetros de la herramienta.

Escribir el número de herramienta seleccionada anteriormente, como se muestra en la Figura 4. 58, pulsar *Enter* y *Salir*. Compilar los parámetros de inicio de ciclo del programa, la Velocidad de avance (F), el husillo en *ON*, la velocidad del husillo va desde 3000 a 30000 [rpm], el husillo trabaja en sentido horario *CLW*, *OFF* para el refrigerante que no se usa en este

proyecto; *Aceptar*. A continuación los parámetros de fin de ciclo, husillo en *OFF*, velocidad final del husillo es 0, *Aceptar* y *Aplicar*.

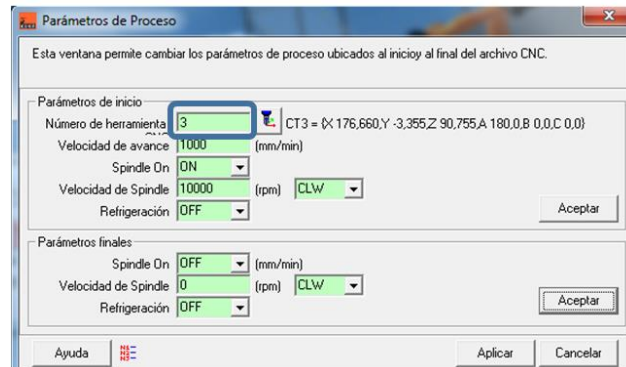


Figura 4. 58: Parámetros del proceso.

Cuando el tipo de trabajo es grabado o se mecaniza usando el Art, se añade un *offset* en *Z*, que representa la altura o espesor de la pieza y es la base de inicio de trabajo de la herramienta. Para los trabajos de desbaste y acabado, el software lo toma automáticamente. El *offset* se agrega antes de ir a *Estrategia*, viene dado en milímetros, se muestra en la Figura 4. 59.

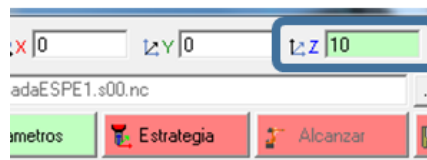


Figura 4. 59: Offset para la base.

NOTA: Se utiliza el *offset* para modificar la base luego de haber configurado.

En *Estrategia*, determinar el plano en el que trabajará la herramienta, añadir un ángulo de giro si es necesario. Usar estrategias para determinar el sexto grado de libertad del robot. Pulsar *OK*. En la Figura 4. 60 se muestra la estrategia seleccionada para los ejes y dirección de la herramienta.

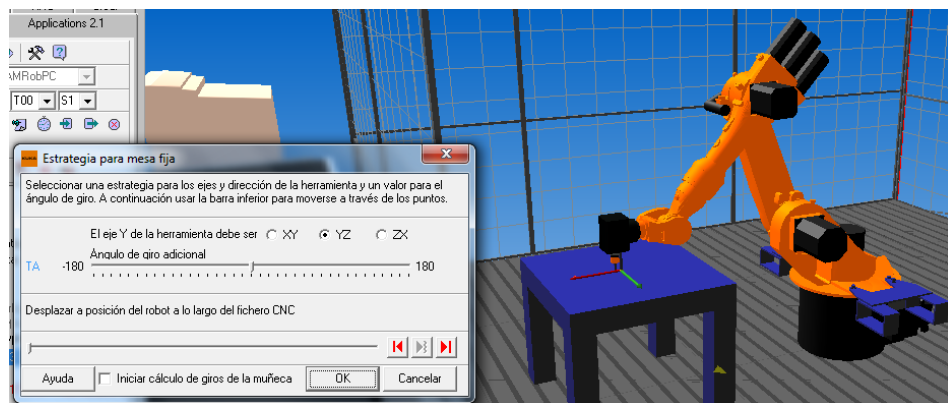


Figura 4. 60: Estrategia de la herramienta.

El siguiente paso es *Alcanzar*, aquí se establecen los parámetros de movimiento y simulación del robot, también se activan las ventanas de aviso de paro cuando el robot está en posición inalcanzable, existen puntos de singularidad o hay colisión. Una vez seleccionadas estas opciones, pulsar **OK**. Los parámetros establecidos se muestran en la Figura 4. 61.

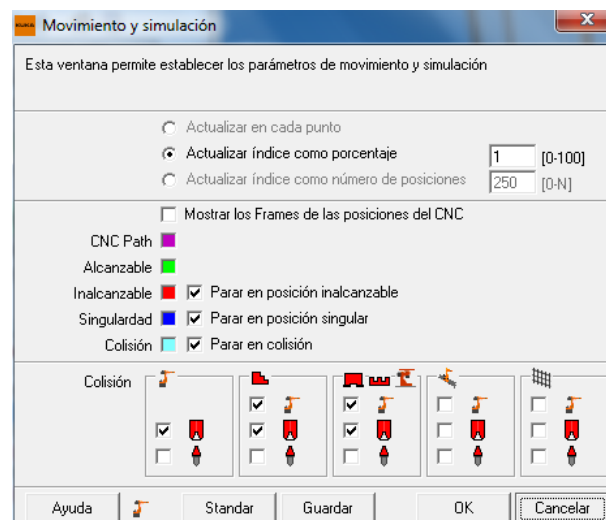


Figura 4. 61: Parámetros de movimiento y simulación.

El robot dibuja las trayectorias de mecanizado y el programa muestra si se han alcanzado todos los puntos, si ha existido alguna colisión u otro error en el proceso, presionar **OK**. En la Figura 4. 62 se indican los resultados del proceso.

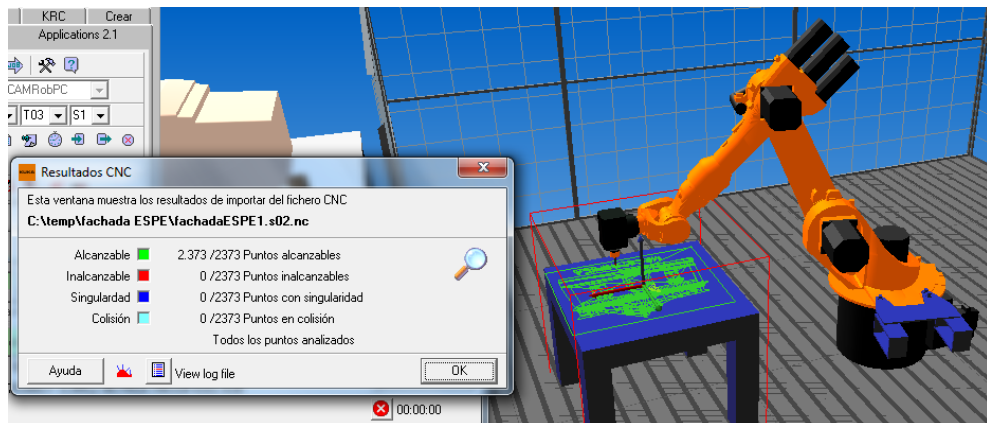


Figura 4. 62. Resultados del proceso.

Si no existieron errores y se han alcanzado todos los puntos de mecanizado, pulsar *Guardar*.

NOTA: Cada uno de los procesos a seguir deben pintarse de verde como se indica en la Figura 4. 63, esto confirma que los pasos y parámetros requeridos se han realizado correctamente.

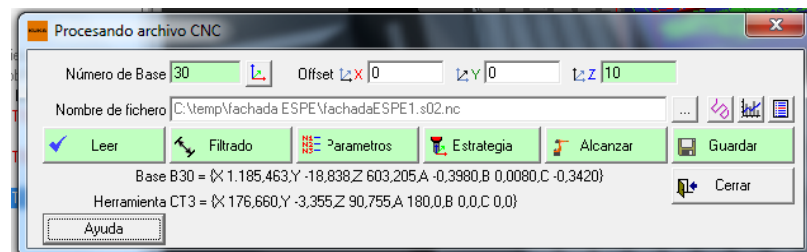


Figura 4. 63: Proceso concluido.

El proceso en el Job Map sigue de color rojo hasta agregar un punto PTP antes y al final del proceso, el punto debe tener la misma base y herramienta del proceso; para esto, ir a *Programar* y seleccionar el número de base y herramienta a trabajar como se indica en la Figura 4. 64.

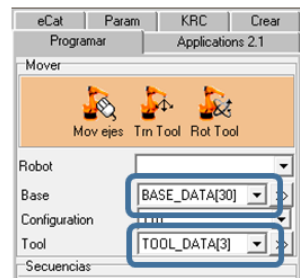


Figura 4. 64: Seleccionar base y herramienta para movimiento PTP.

Regresar a *Applications* y agregar los puntos de movimiento PTP como se muestran en la Figura 4. 65. Con estos pasos a seguir, el proceso cambia a color negro, confirmando que se ha concluido de manera correcta el trabajo.

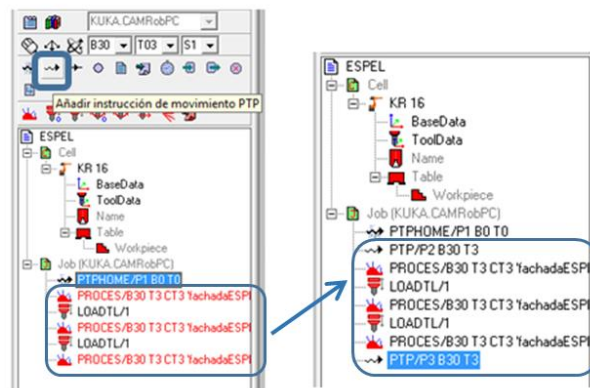


Figura 4. 65: Puntos PTP.

Al finalizar el mecanizado, el robot debe regresar a su Home, entonces, el último punto a agregar a este proceso es un *HOME* como se aprecia en la Figura 4. 66.



Figura 4. 66: Punto Home.

Es importante simular virtualmente el trabajo realizado antes de llevar al controlador del robot. Arrancar la simulación con la herramienta que se muestra en la Figura 4. 67.

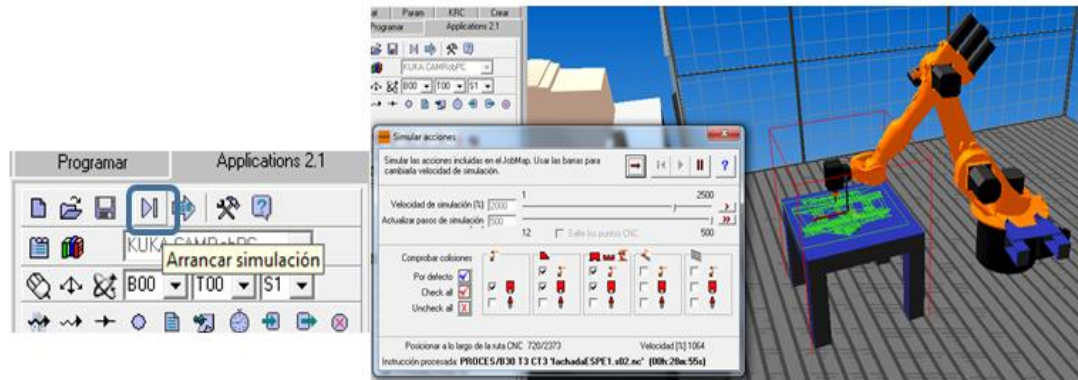


Figura 4. 67: Simular trabajo.

Concluido el trabajo, guardar y generar el programa con el código de trabajo y lenguaje del robot. El resultado de ésta fase es la correcta definición de las trayectorias de mecanizado. En el caso de existir colisiones, corregir el trabajo.

- ✓ Simular el trabajo y generar el programa con el lenguaje del robot.

Para generar los archivos de trabajo y transferir al controlador del robot, seleccionar *Generar código para Job*, como se observa en la Figura 4. 68. En la ventana *Transfer manager*, aparece el nombre del trabajo realizado.

Indicar dónde guardar los archivos para pasar al KRC. Por default se guardan también en la carpeta *Temp* del disco C:\.

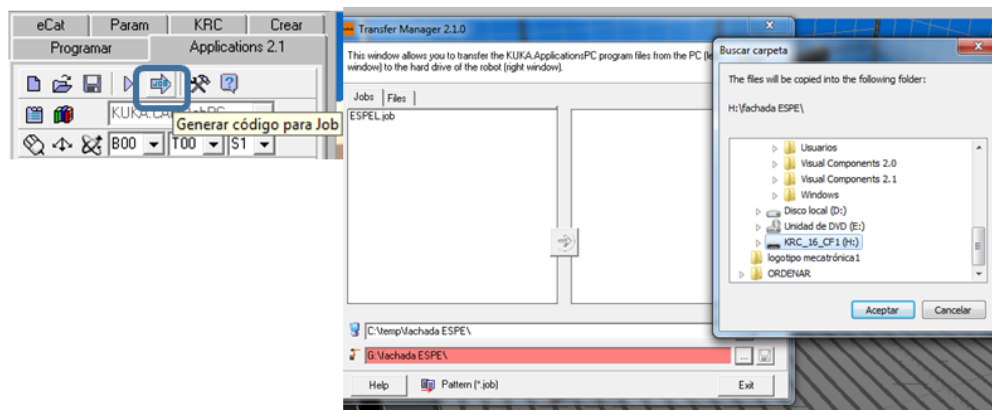


Figura 4. 68: Generación de código de trabajo para el robot.

Para transferir los archivos, dar click en la flecha verde de *Copy file*, como se indica en la Figura 4. 69. A continuación se observa todos los archivos que se generan. *Guardar* y *Exit*.

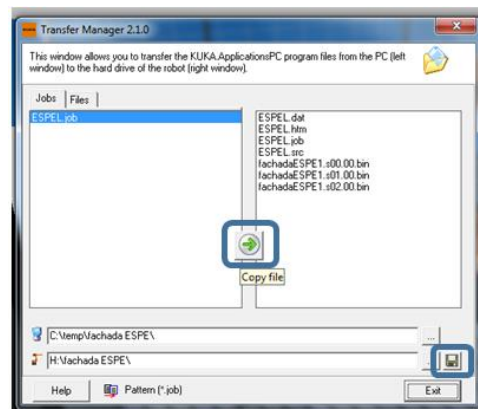


Figura 4. 69: Exportar archivo de trabajo.

Los archivos que se generan son: .src, .bin, .job y el .dat. Para concluir, guardar el trabajo realizado herramienta que indica la Figura 4. 70, como se ha mencionado anteriormente, el trabajo se guarda en la carpeta *temp* del *Disco C*.

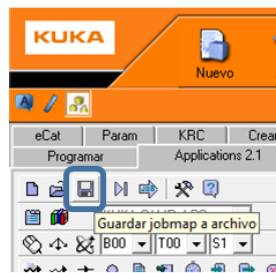


Figura 4. 70: Guardar Job Map.

- ✓ Cargar el programa en el KRC y ejecutar.

Para cargar los archivos del programa en el controlador del robot, se realizan los siguientes pasos:

En el controlador del robot abrir el Windows del equipo y copiar la carpeta con los archivos generados por el CAM Rob de la PC en la carpeta *Applications Data* del disco *D:*, como se indica en la Figura 4. 71.

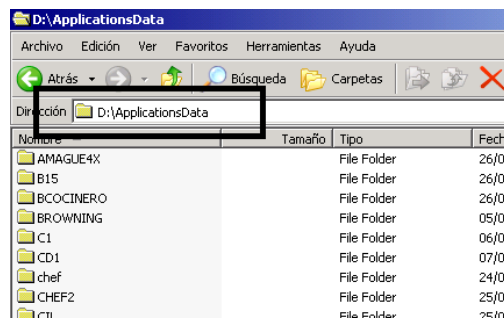


Figura 4. 71: Carpeta Applications Data.

Luego, en el HMI del KRC ir a la carpeta *Applications Data*, donde se copió la carpeta y copiar los archivos *.src* y el *.dat* que se exportaron del Cam Rob, como se indica en la Figura 4. 72.

Para encontrar el disco *D:* en el HMI, se cambia el *Grupo de usuario* al de *Programador experto*.

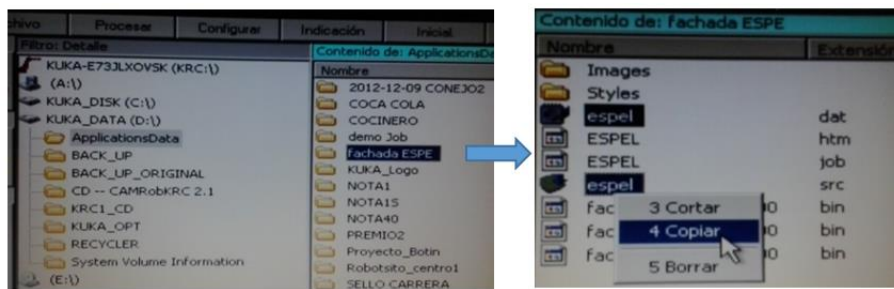


Figura 4. 72: Copiar archivos .src y .dat.

Insertar los archivos copiados en la carpeta donde se almacena los programas para el robot. Seguir la secuencia que indica la Figura 4. 73, de esta manera los archivos se insertan correctamente.

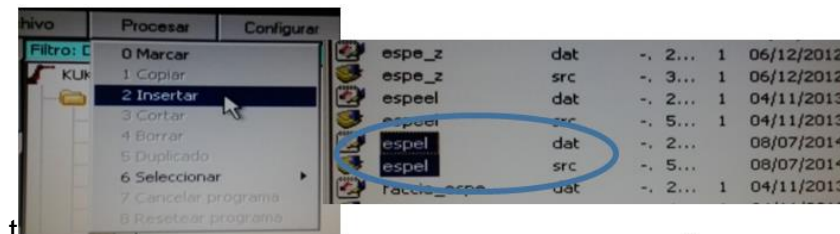


Figura 4. 73: Insertar archivos a ejecutar.

Finalmente, seleccionar el archivo .src y ejecutar el programa de mecanizado como se muestra en la Figura 4. 74, se recomienda correr previamente en vacío. Se muestra un ejemplo de archivo .src en el Anexo F: Archivo .src para el robot KUKA KR16.



Figura 4. 74: Ejecutar programa.

El programa KRL en el KCP se aprecia como se muestra en la Figura 4. 75.

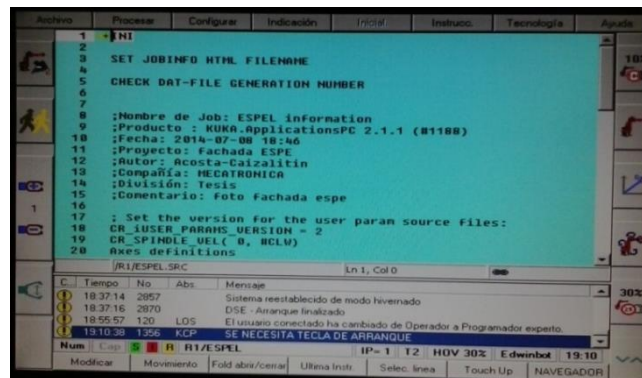


Figura 4. 75: Programa .src a ejecutarse.

En el KCP se muestra la ventana del CAM Rob del KRC como se observa en la Figura 4. 76, seleccionar *mpCAMRobProductionScreen*. Esta ventana indica los parámetros de mecanizado, la velocidad del husillo, la velocidad de avance, el tiempo de duración del mecanizado y las coordenadas de las líneas de programación que se ejecuta.

La velocidad del husillo y la velocidad de avance se varían al utilizar las teclas de estado del KCP que se indica en la Figura 4. 76.

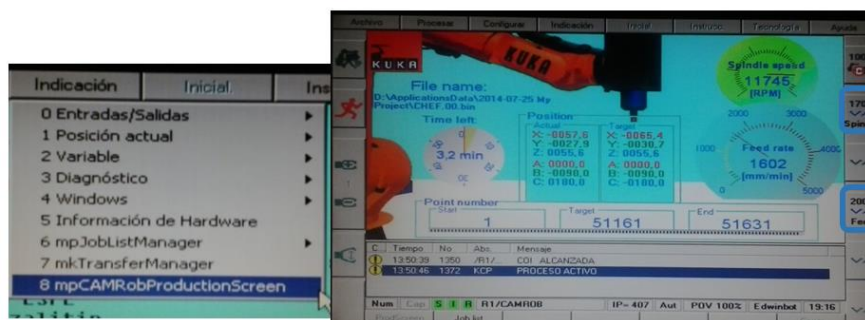


Figura 4. 76: Pantalla del CAM Rob en el KRC.

4.3.5 EJECUCIÓN DEL MECANIZADO

a. Ejecutar en vacío

Antes de realizar el fresado con el brazo robótico, ejecutar el programa en vacío (sin la pieza de trabajo), esto para evitar algún tipo de error de colisión

que se puede presentar, aunque ya se simuló los movimientos y trayectorias del robot en el KUKA Sim Pro sin presentarse errores. Con el KCP seleccionar el programa a ejecutarse y mandar a correr en modo manual hasta asegurarse que la herramienta llegue hasta la altura especificada sin chocar con la pieza.

b. Sujetar la pieza

Se usa sistemas de fijación de piezas que permita la sujeción adecuada del material, para evitar movimiento y vibración mientras el brazo robótico realiza su trabajo. Las herramientas de sujeción que se utilizan son las mencionadas en la sección 3.4.

c. Arrancar el programa de fresado

Con el KCP realizar los siguientes pasos:

- ✓ Seleccionar el archivo con el programa.
- ✓ Poner en Modo automático.
- ✓ Activar los accionamientos.
- ✓ Correr el programa.

La velocidad del husillo y el avance influirán en el tiempo de mecanizado, acabado y duración de la herramienta; por esta razón, es importante obtener correctamente los parámetros para el mecanizado.

En la Figura 4. 77, se observa varias réplicas que se mecanizaron con el brazo robótico y el cabezal fresador de la celda de manufactura.



Figura 4. 77: Réplicas mecanizadas con el brazo robótico y el cabezal fresador.

4.4 TIEMPO DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE RÉPLICAS

El diagrama de la Figura 4. 78 indica el tiempo promedio que se empleó para la obtención de réplicas 3D. El tiempo varía según el tipo de proceso realizado, dimensiones y detalles de la pieza a replicarse.

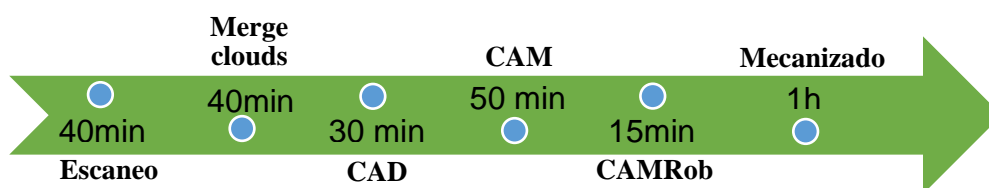


Figura 4. 78: Tiempo empleado para la obtención de réplicas 3D.

Estos valores de tiempo se tomaron en la reproducción de piezas pequeñas y de geometrías fáciles. En el caso de piezas de geometrías complejas el tiempo para cada proceso aumentará respectivamente.

4.5 PRUEBAS Y RESULTADOS

En la celda de manufactura implementada, se realizaron varias pruebas de fresado. Se maquinaron circunferencias y cuadrados de iguales dimensiones sobre grilon para determinar la precisión de mecanizado, de la misma manera se realizó en aluminio.

Se escaneó una pieza realizada en una máquina de precisión, con el fin de determinar el error en la obtención de objetos 3D, luego, se mecanizó el modelo adquirido para establecer las fallas del proceso de réplicas.

4.5.1 MECANIZADO EN GRILON

Para determinar la precisión en el mecanizado se realizó varias piezas, se maquinó cinco circunferencias y cinco cuadrados para facilitar las mediciones respectivas.

Se debe recalcar, que en cualquier proceso de producción, ningún producto es igual a otro, siempre va existir variabilidad en la medición. Las piezas mecanizadas se observan en la Figura 4. 79.

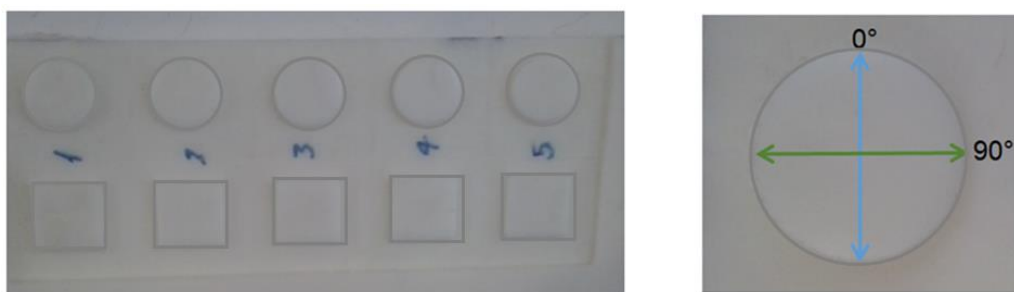


Figura 4. 79: Pruebas realizadas para determinar la precisión.

Los datos de las mediciones realizadas a las circunferencias, se indican en la Tabla 4. 4 y se representan gráficamente en la Figura 4. 80.

Tabla 4. 4: Mediciones del diámetro de las circunferencias.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
1 Circunferencia (ϕ 0°)	40,000	40,010	40,000	40,010	39,990	40,000
2 (ϕ 90°)	40,000	39,960	39,960	39,980	39,960	39,970
PROMEDIO	40,000	39,985	39,980	39,995	39,975	39,985

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

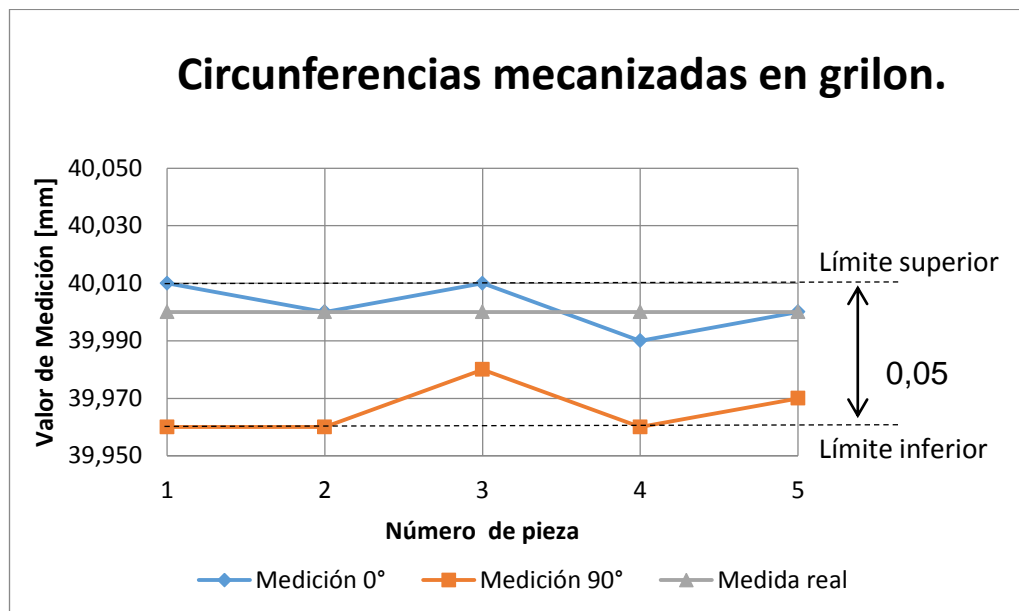


Figura 4. 80: Gráfico de mediciones de las circunferencias.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Se obtiene el error existente de las mediciones realizadas a cada de las circunferencias mecanizadas respecto a las medidas originales, los cuales se aprecian en la Tabla 4. 5.

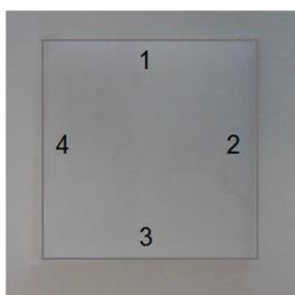
Tabla 4. 5: Error en las mediciones de las circunferencias.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5
Circunferencia 1 ($\phi 0^\circ$)	0,010	0,000	0,010	-0,010	0,000
2 ($\phi 90^\circ$)	-0,040	-0,040	-0,020	-0,040	-0,030
PROMEDIO	-0,015	-0,020	-0,005	-0,025	-0,015

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Según los datos de la Tabla 4. 5 se observa que: el error del límite superior es de 0,01 y del límite inferior es de -0,04. Entonces, se determina que la precisión del mecanizado varía en un 0,05mm para las trayectorias curvas.

Se tomó mediciones de los lados de los cuadrados mecanizados, de tal manera como se observa en la Figura 4. 81.

**Figura 4. 81: Cuadrado mecanizado.**

La Tabla 4. 6 muestra los datos obtenidos de las mediciones realizadas.

Tabla 4. 6: Mediciones de los lados de los cuadrados mecanizados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
1 Cuadrado (Lado 1)	40,000	39,980	39,981	39,980	39,980	39,981
2 (Lado 2)	40,000	40,015	40,013	40,013	40,015	40,015
3 (Lado 3)	40,000	39,980	39,980	39,982	39,982	39,980
4 (Lado 4)	40,000	40,020	40,019	40,020	40,018	40,020
PROMEDIO	40,000	39,999	39,998	39,999	39,999	39,999

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

La Figura 4. 82 muestra gráficamente los datos obtenidos de las mediciones realizadas a los cuadrados mecanizados en grilon.

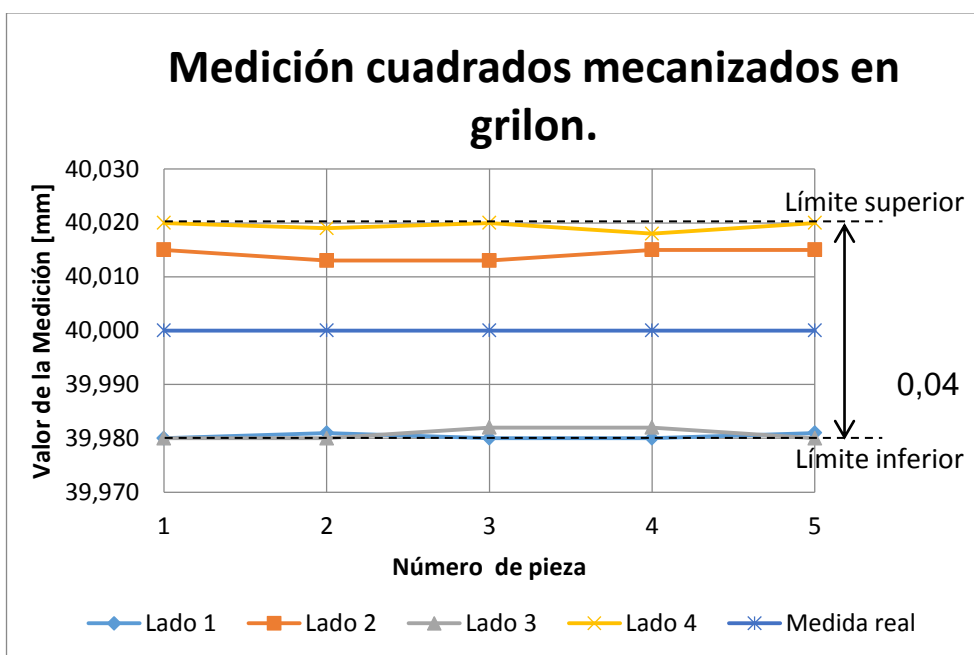


Figura 4. 82: Gráfico de mediciones de los cuadrados.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

El error obtenido de cada una de las mediciones realizadas se muestra en la Tabla 4. 7.

Tabla 4. 7: Error en las mediciones de los lados de los cuadrados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR PIEZA 1	ERROR PIEZA 2	ERROR PIEZA 3	ERROR PIEZA 4	ERROR PIEZA 5
1 Cuadrado (Lado 1)	-0,020	-0,019	-0,020	-0,020	-0,019
2 (Lado 2)	0,015	0,013	0,013	0,015	0,015
3 (Lado 3)	-0,020	-0,020	-0,018	-0,018	-0,020
4 (Lado 4)	0,020	0,019	0,020	0,018	0,020

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Según los datos de la Tabla 4. 7 se observa que: el error del límite superior es de 0,02 y del límite inferior es de -0,02. Entonces, la precisión de las trayectorias rectas varía en 0,04mm.

Las mediciones de las alturas de las circunferencias y cuadrados se muestran en la Tabla 4. 8.

Tabla 4. 8: Mediciones, alturas de las circunferencias y cuadrados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
1 (Altura cuadrado)	4,000	3,990	3,970	3,970	3,980	3,980
2 (Altura circunferencia)	4,000	3,980	3,970	3,980	3,970	3,980
PROMEDIO	4,00	3,99	3,97	3,98	3,98	3,98

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

El gráfico de la Figura 4. 83 muestra los datos obtenidos de las mediciones realizadas a las alturas de las circunferencias y cuadrados mecanizados en grilon. El error obtenido de las mediciones realizadas se muestra en la Tabla 4. 9.

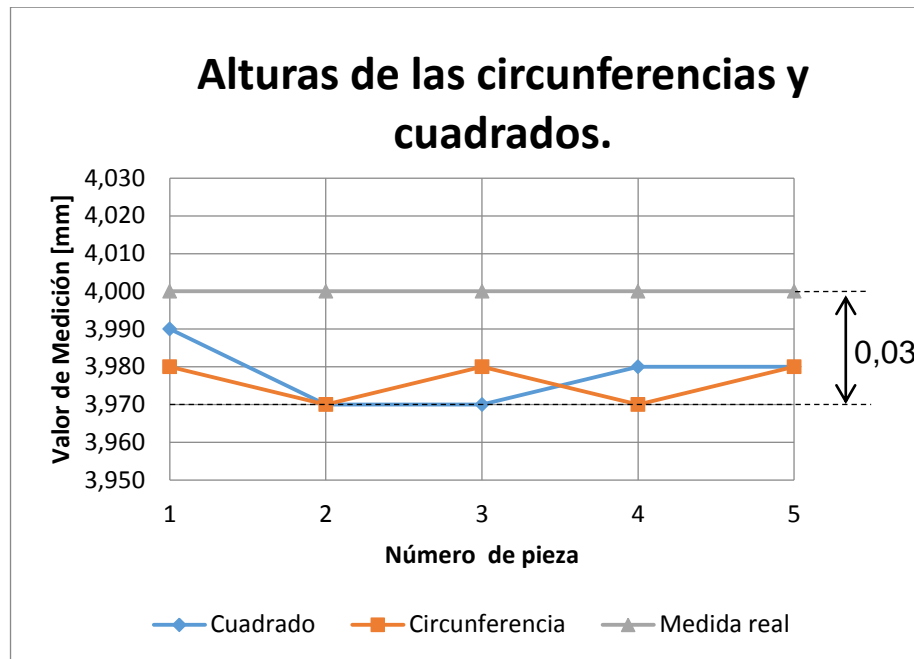


Figura 4. 83: Gráfico de mediciones, alturas de las circunferencias y cuadrados mecanizados en grilon.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Tabla 4. 9: Error de las mediciones, alturas circunferencias y cuadrados mecanizados en grilon.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR PIEZA 1	ERROR PIEZA 2	ERROR PIEZA 3	ERROR PIEZA 4	ERROR PIEZA 5
1 (Altura cuadrado)	-0,010	-0,030	-0,030	-0,020	-0,020
2 (Altura circunferencia)	-0,020	-0,030	-0,020	-0,030	-0,020

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Según los datos de la Tabla 4. 9 se observa que: el error es de 0,03, lo que indica que la precisión en altura varía en 0,03mm.

4.5.2 ESCANEEO

El modelo que se aprecia en la Figura 4. 84, fue escaneado, para luego realizar mediciones, compararlas con la original y así determinar el error de escaneo.



Figura 4. 84: Pieza en aluminio.

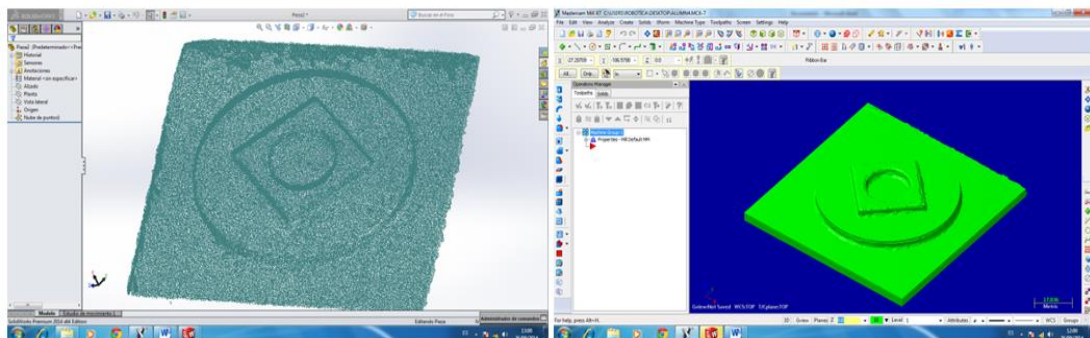


Figura 4. 85: Pieza escaneada y modelada.

Se realiza mediciones a cada una de las formas geométricas del modelo obtenido mediante escaneo que se muestra en la Figura 4. 85. Los valores obtenidos de las mediciones realizadas, se observan en la Tabla 4. 10.

Tabla 4. 10: Medición del modelo escaneado.

NÚMERO DE MEDICIÓN		MODELO	PIEZA ESCANEADA	ERROR PE - M
1	Cuadrado (lado 1)	90,000	89,822	0,178
	(lado 2)	90,000	91,266	1,266
	(lado 3)	90,000	89,662	0,338
	(lado 4)	90,000	90,490	0,490
PROMEDIO		90,000	90,310	0,310
1	Circunferencia grande (ϕ 0°)	65,000	64,500	0,500
	(ϕ 90°)	65,000	64,090	0,910
	PROMEDIO	65,000	64,295	0,705
1	Circunferencia pequeña (ϕ 0°)	20,000	19,833	0,167
	(ϕ 90°)	20,000	20,010	0,010
	PROMEDIO	20,000	19,922	0,078
1	Rombo (lado 1)	30,000	29,980	0,020
	(lado 2)	30,000	29,546	0,454
	(lado 3)	30,000	29,705	0,295
	(lado 4)	30,000	29,820	0,180
PROMEDIO		30,000	29,763	0,237

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

Los valores obtenidos de la Tabla 4. 10, se muestran gráficamente en las siguientes figuras: Lados del cuadrado (Figura 4. 86), diámetro de la circunferencia grande (Figura 4. 87), diámetro de la circunferencia pequeña (Figura 4. 88), lados del rombo (Figura 4. 89).

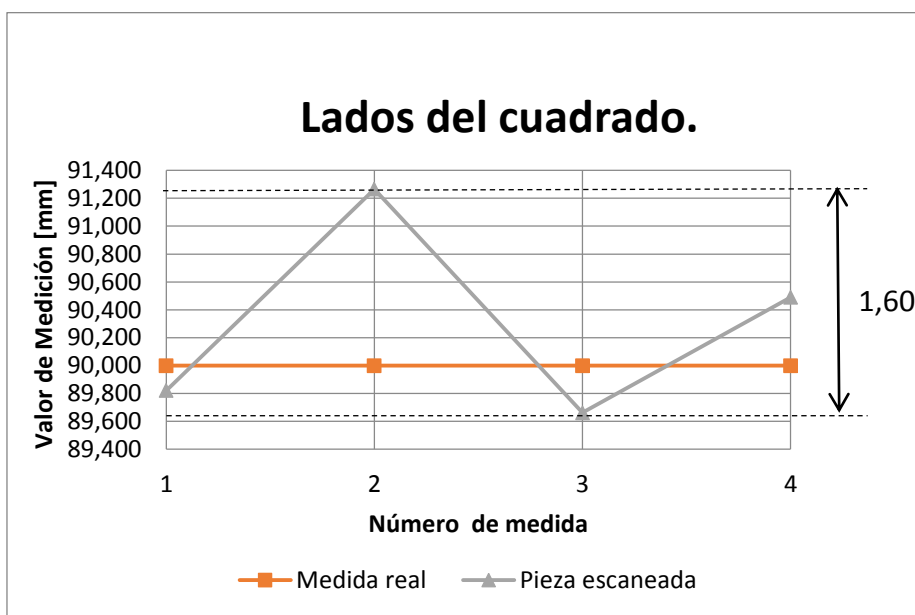


Figura 4. 86: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalitin Edwin

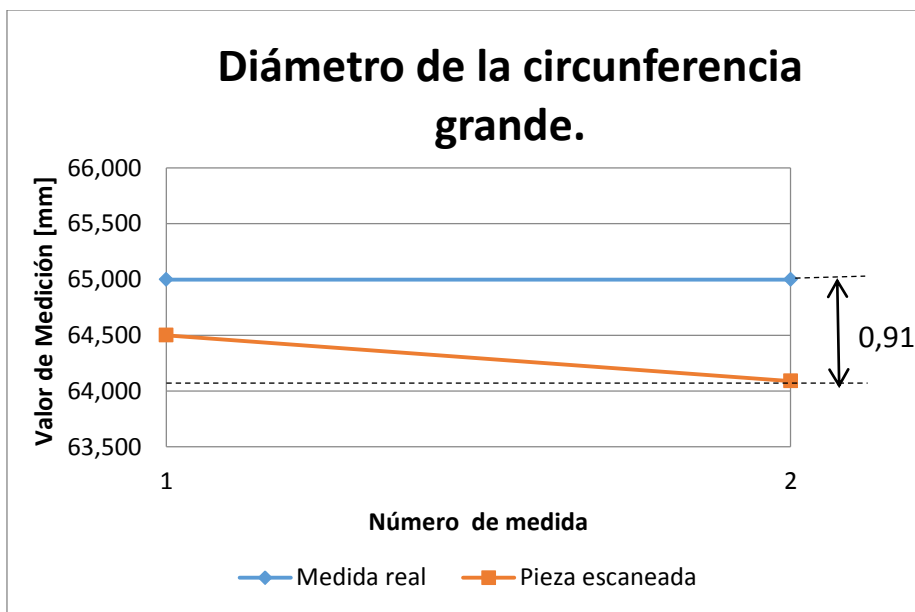


Figura 4. 87: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia grande.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalitin Edwin

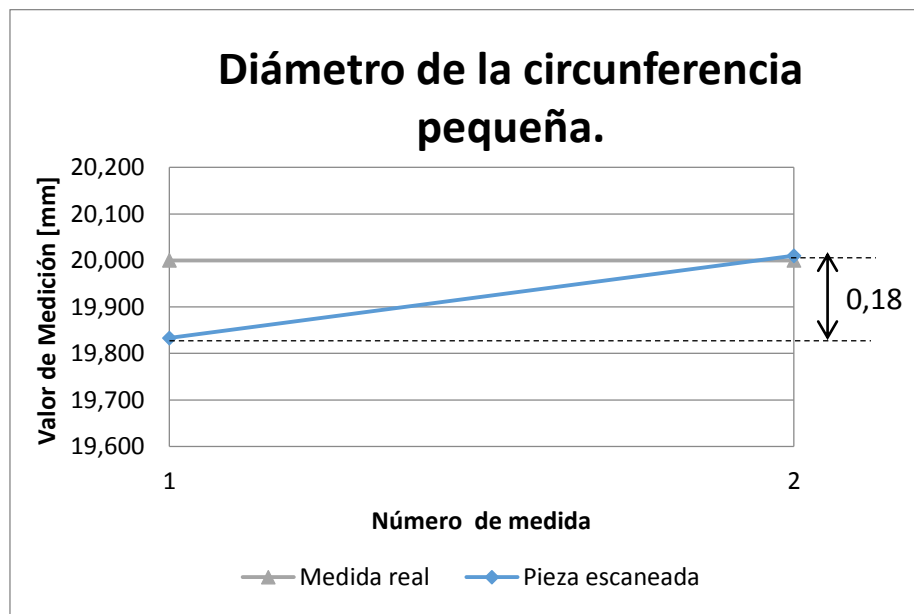


Figura 4. 88: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia pequeña.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

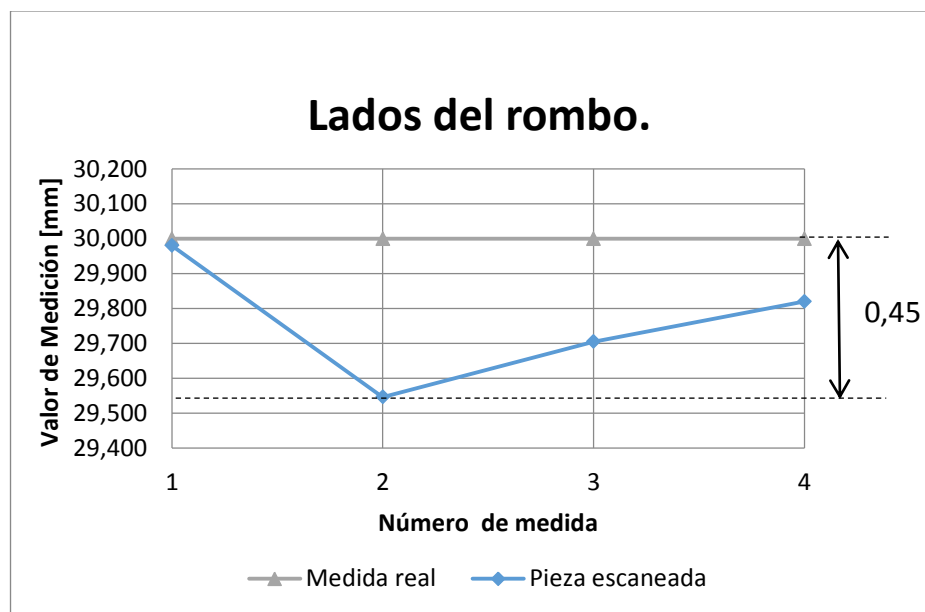


Figura 4. 89: Gráfico de mediciones, lados del rombo.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Con los datos obtenidos de la Tabla 4. 10 se determina el error relativo de la medición, expresado como:

$$E_r = \frac{\Delta x}{x}$$

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{valor verdadero}}$$

Para el error relativo porcentual, se multiplicará por 100:

$$E_{\%} = 100 * \frac{\Delta x}{x}$$

$$E_{\%} = 100 * \frac{|\text{valor medido} - \text{valor verdadero}|}{\text{valor verdadero}}$$

Calculado el error porcentual de las mediciones para cada figura del modelo se obtiene: 0,34% (cuadrado), 1,08% (circunferencia grande), 0,39% (circunferencia pequeña) y 0,8% (rombo); obteniendo un mejor resultado en piezas pequeñas que en piezas grandes.

Entonces, se concluye que: en el escaneo se tiene una variación de $\pm 0.705\text{mm}$ en relación a las medidas de la pieza original, con un error del 1,08%.

4.5.3 ESCANEADO Y MECANIZADO

El modelo que se aprecia en la Figura 4. 90 se escaneó y se mecanizó en aluminio. Se realizó mediciones al modelo fresado para determinar el error existente en el proceso de réplicas.

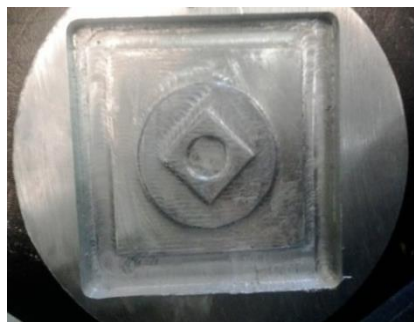


Figura 4. 90: Pieza mecanizada en aluminio.

Los valores obtenidos de las mediciones realizadas, se observan en la Tabla 4. 11.

Tabla 4. 11: Medición de la réplica mecanizada en aluminio.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MODELO	PIEZA ESCANEADA	PIEZA MECANIZADA	ERROR PE - M	ERROR PM - PE	ERROR PM - M
Cuadrado 1 (lado 1)	90,000	89,822	89,870	0,178	0,048	0,130
2 (lado 2)	90,000	91,266	91,310	1,266	0,044	1,310
3 (lado 3)	90,000	89,662	89,700	0,338	0,038	0,300
4 (lado 4)	90,000	90,490	90,530	0,490	0,040	0,530
PROMEDIO	90,000	90,310	90,353	0,310	0,042	0,352
Circunferencia grande 1 (ϕ 0°)	65,000	64,500	64,540	0,500	0,040	0,460
2 (ϕ 90°)	65,000	64,090	64,140	0,910	0,050	0,860
PROMEDIO	65,000	64,295	64,340	0,705	0,045	0,660
Circunferencia pequeña 1 (ϕ 0°)	20,000	19,833	19,830	0,167	0,003	0,170
2 (ϕ 90°)	20,000	20,010	20,140	0,010	0,130	0,140
PROMEDIO	20,000	19,922	19,985	0,078	0,063	0,015
Rombo 1 (lado 1)	30,000	29,980	29,932	0,020	0,048	0,068
				Continua		

2 (lado 2)	30,000	29,546	29,600	0,454	0,054	0,400
3 (lado 3)	30,000	29,705	29,740	0,295	0,035	0,260
4 (lado 4)	30,000	29,820	29,868	0,180	0,048	0,132
PROMEDIO	30,000	29,763	29,785	0,237	0,022	0,215

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

Los valores obtenidos en la Tabla 4. 11, se representan gráficamente en las figuras a continuación: Cuadrado (Figura 4. 91), circunferencia (Figura 4. 92), circunferencia pequeña (Figura 4. 93) y rombo (Figura 4. 94).

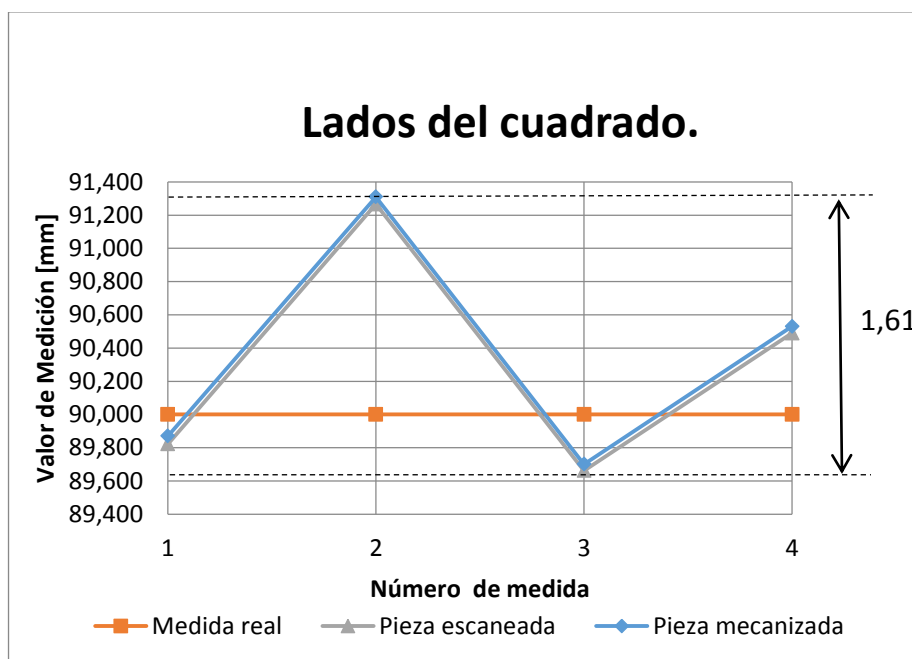


Figura 4. 91: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

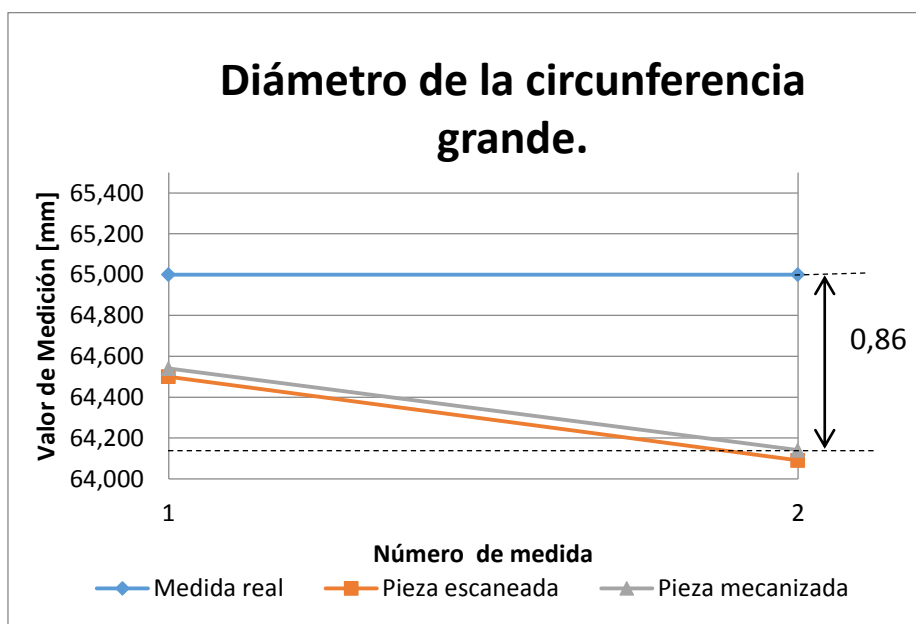


Figura 4. 92: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

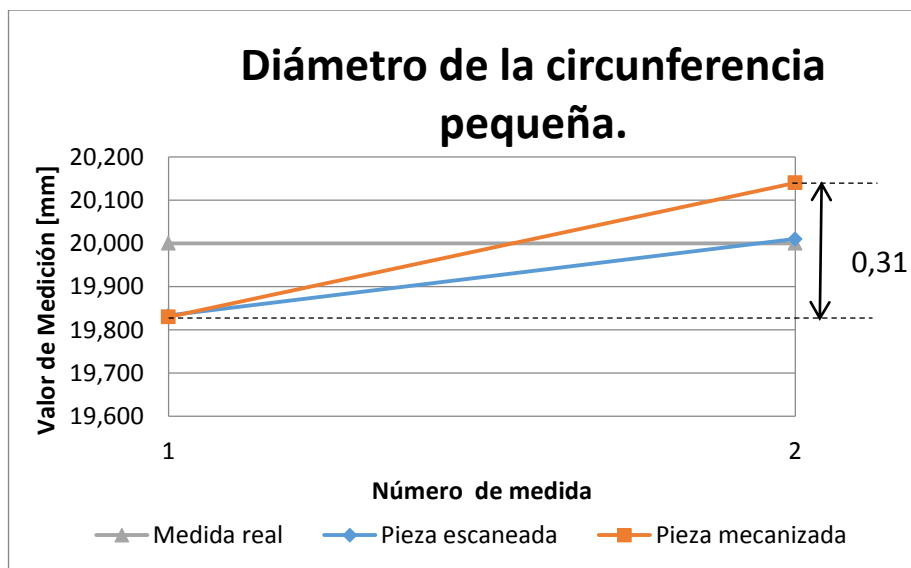


Figura 4. 93: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia pequeña.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítin Edwin

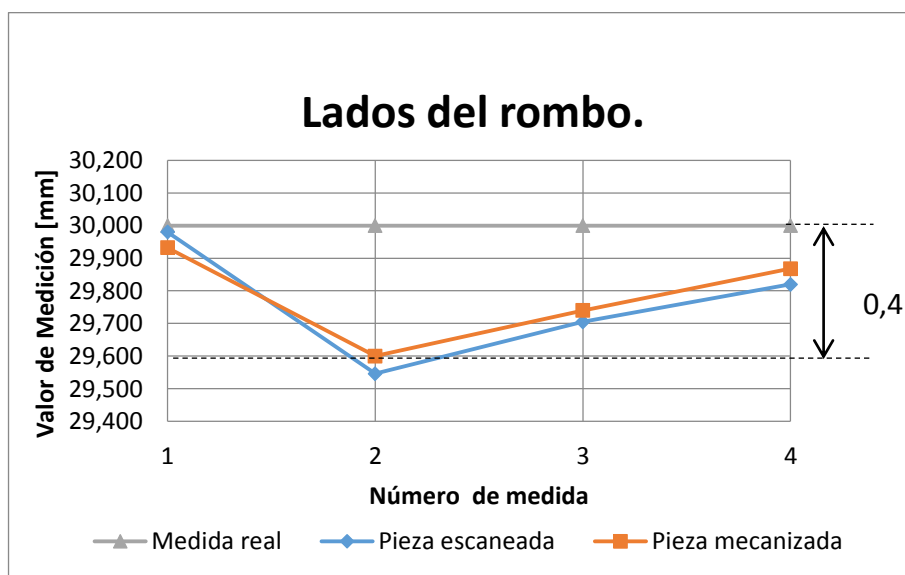


Figura 4. 94: Gráfico de mediciones, lados del rombo.

Elaborado por: Acosta Nora
Caizalítín Edwin

Se obtiene el error relativo porcentual de la réplica mecanizada, se realiza el mismo procedimiento que para el escaneado, se consigue: 0,39% de error en el cuadrado, 1,02% en la circunferencia grande, 0,075% en la circunferencia pequeña y 0,72% en el rombo.

Entonces, se determina que: en el mecanizado se tiene una variación de $\pm 0,66\text{mm}$ en relación a las medidas originales, se concluye que si se pueden realizar réplicas, pero con un margen de error del 1,02% ya que es el porcentaje más crítico obtenido en base a las mediciones realizadas.

En el proceso de réplicas, el mayor porcentaje de fallas se da en el escaneo, debido al ruido (iluminación del ambiente) presente al momento de las tomas, mientras que el mecanizado respecto al modelo escaneado tiene una variación de $\pm 0,063\text{mm}$.

4.6 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada para este proyecto fue:

¿Mediante el fresado automático que se dispone en el laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-EL se podrá diseñar e implementar una celda de manufactura para la réplica de piezas en 3D, en materiales blandos?

Se pudo diseñar e implementar la celda de manufactura para la réplica de piezas 3D mediante fresado, pero con un error del 1,02% en la obtención de las mismas. Este proyecto será útil para prácticas en el laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE extensión Latacunga.

4.7 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA

El manual de operación de la celda de manufactura robotizada, en el Anexo G: Manual de operación de la celda de manufactura.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- ✓ Se diseñó e implementó una celda de manufactura robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante fresado.
- ✓ Mediante pruebas realizadas se concluye que: se obtiene réplicas pero con un error del 1,02% respecto a la pieza original, donde la mayor parte de fallas se da en el escaneo, por tal razón, no se recomienda este proyecto para replicar piezas de precisión.
- ✓ Se mecanizó distintos tipos de piezas en varios materiales, determinando que se puede mecanizar aluminio con una precisión que varía en +/- 0.05mm y con una profundidad de 0.6mm. Sin embargo, para conservar el estado de la máquina se debe mecanizar sobre materiales con características similares o menores a las de los plásticos.
- ✓ A través del escaneo de piezas se consiguió modelos similares a los originales, con una variación de +/- 0.705mm. Optimizando el tiempo de diseño en un programa CAD. Esta aplicación es útil para realizar piezas y elementos complejos, permitiendo así la eficiencia en los procesos.
- ✓ La principal ventaja del mecanizado con brazo robótico industrial, es el de realizar diferentes procesos de mecanizado dentro de una misma celda, sobre diferentes mesas de trabajo, a través de la configuración de las bases correspondientes.

5.2 RECOMENDACIONES.

- ✓ Para réplicas de piezas de precisión, se recomienda utilizar otro tipo de escáner 3D apropiado para obtener detalles más exactos de las piezas escaneadas.
- ✓ En la recepción de datos escaneados, debe considerarse la iluminación del área de trabajo, es preferible que la pieza esté fija, es el escáner que debe moverse a su alrededor, también es aconsejable que la pieza a ser escaneada sea de color claro, de preferencia blanca y sobre una base oscura, caso contrario, existirá demasiado ruido y se tornará difícil su modelado posterior. Con éstas indicaciones se obtendrá un óptimo procesamiento de imagen.
- ✓ Para mantener el buen estado del cabezal fresador, se recomienda no mecanizar materiales con características superiores a las de los plásticos.
- ✓ Poseer conocimientos sobre el manejo de robots industriales, sistemas CAD-CAM y tomar en cuenta las normas de seguridad industrial para trabajar con celdas de manufactura.
- ✓ No insertar tildes y otros símbolos que no se encuentran en el alfabeto inglés en los nombres de archivos a usarse en este proyecto, ya que estos no son legibles para el software empleado.
- ✓ Tener activo el aire a presión mientras el robot mecaniza, para evitar que los restos de material ingresen en el cabezal fresador.

BIBLIOGRAFÍA

- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufctura Moderna*. México. Pearson Educación.
- Kalpakjian. (2003). En *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México. Pearson Educación. (pág. 101)
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México. Pearson Educación.
- Rivas, M., & Rentería, A. (2000). *Robótica Industrial*. España. McGraw-Hill.

LINKOGRAFÍA

- Accendi Solutions. (2013). *numisoft - accendi solutions*. Obtenido de <http://www.accendi.es/escaneres-3d/numisoft/> [Citado el 13-05-2013]
- Alberti, M. (02 de 07 de 2013). *Polímeros sintéticos y naturales*. Obtenido de <http://www.inoxidable.com/propiedades1.htm> [Citado el 18-11-2013]
- Berenguer et al. (2010). *Celda robotizada multipropósito para prototipado*. Obtenido de Celda robotizada multipropósito para prototipado: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/44095-Celda-robotizada-multiproposito-para-prototipado-aplicacion-nuevas-tecnicas-fabricacion.html> [Citado el 26-05-2013]
- Bernal et al. (2009). *SISTEMAS_CAD_CAM*. Obtenido de <https://docs.google.com/document/preview?hgd=1&id=1eN9UTBezDX43mh6X8z5xMrfGD5D0dHmc33wYrXDQ1wl&pli=1> [Citado el 18-05-2013]
- Cano, C. (2013). *Ingeniería Inversa, escaneado y reconstrucción by Camilo Cano*. Obtenido de <http://prezi.com/rjqr6mrx9osf/ingenieria-inversa-escaneado-y-reconstruccion/> [Citado el 19-05-2013]
- Díaz, J. G. (2013). *Informe Celdas de Manufactura Flexible (Fmc) - Scribd*. Recuperado el 12 de 10 de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/78763784/Informe-Celdas-de-Manufactura-Flexible-Fmc> [Citado el 13-05-2013]
- EUDI. (2013). *Fresas - Obradoiro e Shapeoko*. Obtenido de <http://obradoiroeshapeoko.wordpress.com/2013/11/10/tipos-de-fresas/> [Citado el 18-11-2013]
- Fac. Odontología UCV. (agosto de 2014). *odontología y gestión del conocimiento*. Obtenido de

- <http://www.actaodontologica.com/ediciones/2014/1/art25.asp> [Citado el 10-01-2014]
- González, V., & López, A. (2013). *Robots industriales*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzalez/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm [Citado el 18-11-2013]
- Ibarra, F. M. (2002). *Codigos de control numerico para la fresadora*. Obtenido de <http://www.tecnoedu.com/Denford/GM.php> [Citado el 22-10-2013]
- IMOCON. (s.f.). *Velocidades de corte*. Obtenido de <http://areamecanica.azc.uam.mx/Lab%20Procesos%20de%20Manuf%20II/Archivos/FORMULAS%20DE%20TORNEADO%20Y%20FRESADO.pdf> [Citado el 18-11-2013]
- ISA Ingeniería de Sistemas y Automática. (2007). *TEMA 5. FRESADO - ISA Ingeniería de Sistemas y Automática*. Obtenido de <http://isa.umh.es/asignaturas/tf/tema5.pdf> [Citado el 20-12-2013]
- Jäger. (2013). Obtenido de View All Alfred Jaeger HF Motor Spindles: <http://www.alfredjaeger.de/en/chopper/Chopper-1500-H-S5A.html?pdf=1> [Citado el 14-06-2013]
- KUKA. (2013). *KUKA Industrial Robots - KR 16 - Kuka Robotics*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PF0033_KR_6-2_KR_16-2_es.pdf [Citado el 02-06-2013] [Citado el 04-06-2013]
- KUKA Roboter. (2013). *KUKA Robots industriales - Software de aplicación*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/es/products/software/application_software/ [Citado el 04-06-2013]
- KUKA Robots. (2013). Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/spain/es/pressevents/news/NN_090907_Fundacion_Prodintec_Investigacion.htm [Citado el 06-06-2013]
- Logismarket. (2014). *Unidad de control para robots - Logismarket*. Obtenido de <http://www.logismarket.com.mx/kuka/unidad-de-control-para-robots> [Citado el 10-10-2013]
- Luis Gómez Martínez. (2012). *PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DE*. Obtenido de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/50a372d18a4b8.pdf> [Citado el 12-05-2013]
- Manufacturing Co. (2008). *Kits de sujeción*. Obtenido de <http://www.carrlane.com/catalog/index.cfm/2982F1D0F0F0F17510B10>

542A1B10172D0D171B03005E221E0107070F1A2717180F0A1E4A3
E111D081B00063327274F5F575B [Citado el 10-01-2014]

- Ramírez, G. (2014). *Técnicas para el modelado tridimensional de artefactos arqueológicos*. Obtenido de <http://remarq.ning.com/page/tecnicas-para-el-modelado-tridimensional-de-artefactos-arqueologi> [Citado el 16-05-2013]
- Ríos, C. (2013). *Prototipado 3D*. Obtenido de <http://todo3d.cl/que-es-un-archivo-stl/> [Citado el 22-05-2013]
- Ramos, J. J., Gonzáles, R. A., & Melendez, S. (2008). *Automatización y robótica - ROBOTEC Tecnología robotica*. Obtenido de <http://robotec11.tripod.com/id3.html> [Citado el 18-05-2013]
- Robot Worx. (2013). *Kuka KR 16 KRC2, KRC4 - RobotWorx*. Obtenido de <http://www.robots.com/kuka/controller/kr-c2> [Citado el 08-07-2013]
- Robotic Spot. (2004). *Historia de la Robotica - Robotic Spot*. Obtenido de <http://www.roboticspot.com/especial/historia/his2004a.php> [Citado el 08-07-2013]
- Robotiker. (2003). *Herramientas de Diseño e Ingeniería*. Obtenido de http://www.bizkaia.net/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca_GTcapitulo1.pdf?idioma=CA [Citado el 13-11-2013]
- Robots in Architecture. (2014). *Association for Robots in Architecture*. Obtenido de <http://www.robotsinarchitecture.org> [Citado el 03-12-2013]
- Solid Design. (s.f.). *Prototipado Rápido - Servicios CAD, CAM, CAE, CNC, diseño*. Obtenido de <http://www.soliddesign.com.ar/index.php?IDM=9&alias=Prototipado-rapido-Solid-Design> [Citado el 07-06-2013]
- SOLIDWORKS.(2010).Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/scanto3d.htm> [Citado el 08-06-2013]
- Taverna, M. (2009). *Grilon - Mario Taverna SRL*. Obtenido de <http://www.mariotavernasrl.com/index.php?go=Productos&r=Ferreteria&p=Semielaborados&sp=Grilon> [Citado el 16-10-2013]
- Tecnología de los plásticos*. (2011). Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/mecanizado-de-plasticos.html> [Citado el 18-01-2014]
- Universidad Politécnica de Wroclaw, Polonia. (s.f.). Obtenido de http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/6/Modul9_spanisch_komplett.pdf [Citado el 10-01-2014]

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

CNC.- Control Numérico Computarizado.

Códigos CNC.- Programación nativa de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado, se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G & M (Códigos G).

CPU.- Unidad Central de Procesamiento, o, procesador.

Grados de libertad.- Capacidad de un cuerpo aislado en el espacio de moverse libremente en éste, estos grados son definidos por los tres movimientos de translación y tres movimientos de rotación alrededor de los ejes coordenados.

HMI.- Las siglas son la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina.

Home.- Punto de descanso del robot al inicio y fin de un programa.

Job.- Un job contiene los archivos relevantes del proceso de mecanizado.

Job map.- El job map es una estructura de la visión general del proceso de mecanizado.

KCP.- Panel del Controlador KUKA.

KRC.- Controlador del Robot KUKA.

KRL.- Lenguaje del Robot KUKA.

Layout.- Nombre alternativo para representar un diseño o una escena de gráficos o animación 2D/3D por ordenador.

Mecanizado.- Proceso de transformación de una pieza por arranque o eliminación de parte de su material.

NC.- Archivo de Control Numérico.

PTP.- Movimiento Punto a Punto del robot.

TCP.- Punto de Centro de Herramienta (Tool Center Point).

2D y 3D.- modelos en 2 y 3 dimensiones.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Dimensiones y ejes del KUKA KR16.

Anexo B: Especificaciones técnicas del cabezal fresador Jäger 1500-H.

Anexo C: Dimensiones cabezal fresador JÄGER 1500-H.

Anexo D: Dimensiones bridas de sujeción.

Anexo E: Planos de la mesa de trabajo.

Anexo F: Archivo .src para el robot KUKA KR16.

Anexo G: Manual de operación de la celda de manufactura.