

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**APLICACIÓN DE UN BRAZO
ROBOTIZADO EN TAREAS DE CORTE Y
FRESADO**

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA
(RAMA INDUSTRIAL)

POR

LORENZO CANO GUTIÉRREZ

BADAJOS, JUNIO DE 2015

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor:

LORENZO CANO GUTIÉRREZ

Director o Directores:

CARLOS JAVIER GARCÍA ORELLANA

Tribunal de evaluación:

MIGUEL ÁNGEL JARAMILLO MORÁN

JOSÉ LUIS AUSÍN SÁNCHEZ

IGNACIO SUÁREZ MARCELO

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 Objetivos del trabajo 1

1.2 Introducción al problema..... 1

2 TECNOLOGIAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS..... 7

2.1 Lenguajes 7

2.1.1 G-code 7

2.1.2 Lenguaje APT 9

2.2 Programas utilizados 10

2.2.1 dxf2gcode 10

2.2.2 SurfCam 2014 R2 11

2.2.3 IRBCAM 2012B..... 13

2.3 Robot 15

2.3.1 Robot KUKA KR 60-3 16

2.3.2 KR C 2 28

2.4 Herramientas 29

2.4.1 Cortadora de plasma 29

2.4.2 Fresadora..... 32

3 PROCESO DE CORTE Y FRESADO 38

3.1 Flujo del proceso de corte..... 38

3.1.1 Diseño de la pieza 38

3.1.2 Obtención de las trayectorias de mecanizado..... 39

3.1.3 Obtención del programa en lenguaje KRL..... 43

3.2 Flujo del proceso de fresado..... 55

3.2.1 Fresado con 3 ejes de libertad..... 55

3.2.2 Fresado con 5 ejes de libertad..... 67

4 ENSAYOS Y RESULTADOS 86

4.1 Ensayo de fresado 1 86

4.2 Ensayo de fresado 2 87

4.3 Ensayo de fresado 3 88

5 CONCLUSIONES 90

6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS..... 92

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del trabajo

El trabajo que a continuación se presenta tiene como objetivo mostrar y explicar los pasos necesarios que debería dar un usuario inexperto en programación de robots CNC, para poder realizar con éstos tareas de corte y fresado.

Los pasos que abordaremos en el trabajo, abarcarán el proceso desde que tenemos la pieza ya diseñada, hasta que la mecanizamos físicamente por medio de un robot CNC.

Por tanto, el objetivo principal de este trabajo es que, cualquier persona, con mínimos conocimientos en robótica, pueda hacer frente a la programación de una amplia gama de robots CNC para aplicaciones, en nuestro caso, de corte y fresado. Las aplicaciones están delimitadas por el tipo de herramienta, pudiéndose realizar otras si se dispone de los medios requeridos, como podría ser impresión 3D, simulación de conducción o vuelo, implementación de PCB, etc.

1.2 Introducción al problema

Como bien se ha mencionado en el apartado anterior, este trabajo está orientado a tareas de corte y fresado, y para una mayor comprensión explicaremos de forma básica varios aspectos más relevantes de ambas tareas.

La tarea de corte, según la primera definición de la RAE [1], la podemos definir como la acción de dividir algo o separar sus partes con algún instrumento cortante, es una tarea sencilla, puesto que el requisito primordial que debe cumplir la herramienta es que sea capaz de cortar la materia prima utilizada. Esta tarea, aunque sencilla, es crucial en el día a día, de ahí que sea una de las primeras tareas que realizasen los primeros homínidos. En el ámbito industrial, esta tarea se torna, en la mayoría de las ocasiones, muy repetitiva, de ahí que se busque su automatización, eliminando un trabajo que para una persona puede provocar tedio y aburrimiento, eliminando por completo la capacidad intelectual de dicho trabajador. En la figura 1.1 podemos ver un ejemplo de corte automatizado.



Figura 1.1 Cortadora automatizada.

En la tarea de fresado, según la información aportada por el documento “Teoría de taller” [2], se utiliza una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes que se mueven lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta, el movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación y la velocidad la proporciona la fresa rotatoria, en la figura 1.2 podemos ver esquematizado el proceso de fresado. El fresado se diferencia del taladrado por la orientación entre el eje de la herramienta y la dirección de avance, en las figuras 1.3 y 1.4 podemos ver y comparar ambos procesos. Como antecedentes históricos a las fresas actuales, puede citarse el berbiquí, mediante el cual se podía aplicar manualmente el movimiento giratorio a la broca o fresa ya fuese para taladrar o desgastar, respectivamente, el material que se estuviese mecanizando. La tendencia a la automatización de esta tarea queda justificada mayoritariamente gracias al alto grado de precisión que podemos lograr con estas maquinas autónomas.

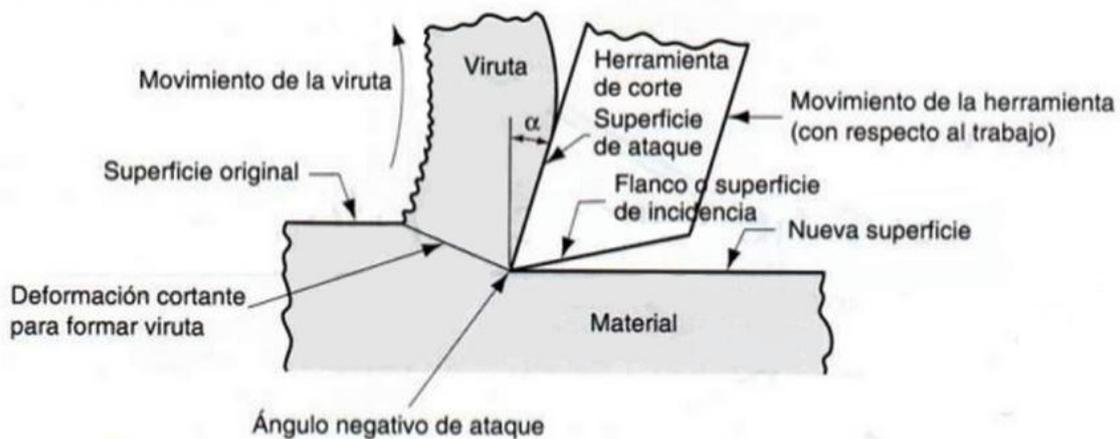


Figura 1.2 Esquema del proceso de fresado.

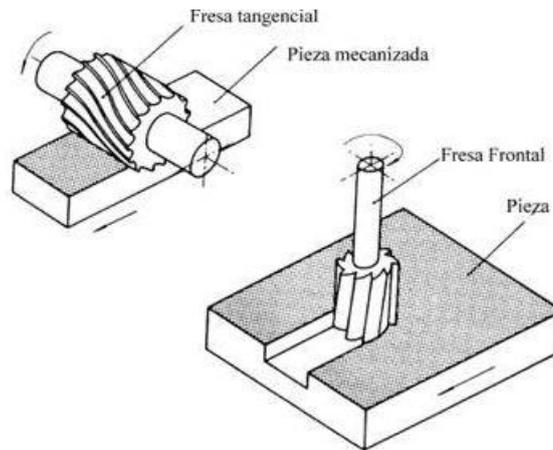


Figura 1.3 Fresado.

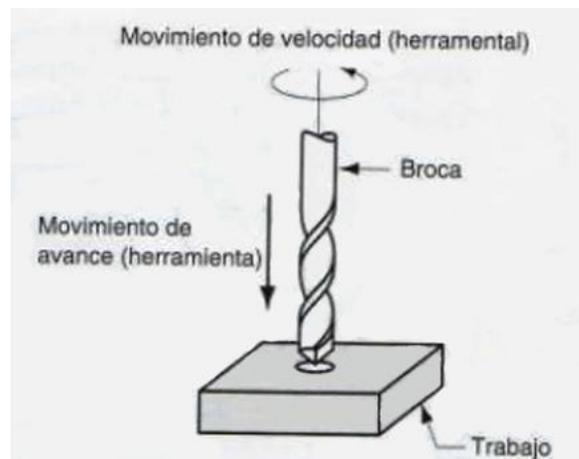


Figura 1.4 Taladrado.

Como bien se menciona anteriormente, las tareas que componen este trabajo, son tareas automatizadas. ¿Pero qué es automatizar?, pues bien, según un artículo de “Docsetool” [3], la automatización es el uso de máquinas, sistemas de control y tecnologías de la información para optimizar la productividad en la producción de bienes y prestación de servicios. Según el mismo artículo [3], existen ventajas y desventajas en la automatización de procesos:

Principales ventajas:

- El aumento de rendimiento y productividad.
- Mejora de la calidad o el aumento de la previsibilidad de la calidad.
- Mejora de la robustez de los procesos o productos.
- El aumento de la consistencia de la producción.

- Reducción de los costes directos de mano de obra humana y gastos.

Principales desventajas:

- Amenazas de seguridad/vulnerabilidad: Un sistema automatizado tiene un limitado nivel de inteligencia, por lo que son más susceptibles a cometer errores fuera de su ámbito de aplicación inmediata del conocimiento.
- Impredecible/coste de desarrollo excesivo: La investigación y la evolución de los costes de automatizar un proceso puede exceder el costo ahorrado por la propia automatización.
- Alto coste inicial: La automatización de un nuevo producto o una planta típicamente requiere una inversión inicial muy grande en comparación con el coste unitario del producto, aunque el costo de la automatización se puede propagar entre muchos productos y en el tiempo.

Para la automatización de estas tareas utilizaremos las denominadas máquinas CNC (Control Numérico Computarizado). A continuación daremos una pequeña introducción sobre el control numérico, extraído del libro "Mecanizado por Control Numérico" [4]. El Control Numérico (CN) es un método basado en el control de los movimientos de las máquinas-herramienta mediante el uso de órdenes o instrucciones codificadas en líneas de números y letras. Estas líneas de código numéricas son leídas e interpretadas por la máquina dando como resultado diferentes señales de salida. Estas señales de salida se dirigen a los diferentes componentes de la máquina para llevar a cabo la función u operación indicada (movimientos de las piezas de trabajo, movimientos de las herramientas, activación o desactivación del fluido de corte, cambio de herramienta...). Al principio las instrucciones se proporcionaban a las máquinas de control numérico mediante el uso de tarjetas o cintas perforadas, del mismo modo que se hacía en los ordenadores antiguos. Con el desarrollo de la tecnología, las máquinas-herramienta incorporaron sus propios ordenadores, a lo que se le denomina Control Numérico Computarizado (CNC). Por último podemos hablar de Control Numérico Adaptativo (CNA), mediante el cual se van analizando ciertas variables durante los trabajos y el control numérico puede ir variando los parámetros de salida en función de los valores que vayamos obteniendo en las variables de entrada, pudiendo adaptarse el proceso a las exigencias puntuales del trabajo en cada momento.

La máquina CNC que utilizaremos nosotros para el mecanizado de las piezas será un brazo robótico, marca KUKA y modelo KR-60-3, puede observarse en la figura 1.5, controlado mediante la estación de control programable KR C 2, acoplaremos dos tipos de herramientas, para la tarea de corte tendremos una cortadora de plasma mientras que para la tarea de fresado dispondremos de una amoladora marca Bosch dentro de una coraza metálica que actúa como sujeción y

protección, quedando fuera de ésta la parte donde se conectan a la amoladora las distintas fresas.



Figura 1.5 Robot KUKA modelo KR 60-3.

La finalidad de este trabajo es la de exponer qué pasos hay que dar para obtener la pieza físicamente mecanizada con la ayuda de un robot desde el archivo con el diseño de la misma. Para ello, ya se traten de piezas en 2D, generalmente para corte, o de piezas en 3D, seguiremos por regla general los siguientes pasos:

- 1 Partiremos desde el diseño obtenido mediante cualquier software CAD (Diseño Asistido por Computadora), en nuestro caso utilizaremos el AutoCAD 2013 para el diseño de piezas en 2D y el SolidWorks 2014 para el diseño de piezas en 3D. Por tanto, partimos de un archivo con extensión DXF donde tendremos el diseño de la pieza que queremos mecanizar, es importante tener en cuenta la extensión del archivo de salida que obtenemos del software CAD, ya que los programas que utilizaremos después no soportan cualquier tipo de extensión.
- 2 El primer proceso que debemos realizar sobre el diseño de la pieza será la configuración del mecanizado sobre la misma. Mientras que para la tarea de fresado deberemos configurar gran variedad de parámetros, que harán referencia a las múltiples características que podemos encontrar en este tipo de tareas (tipo de material de la pieza, tipo de material de la herramienta, velocidad de la herramienta, tipo de herramienta, etc.), para la tarea de corte solo será primordial conocer el espesor de la plancha de material y la profundidad del corte que produce sobre esta la herramienta, de esta forma

calcularemos el número de pases necesarios para realizar la tarea. Para la comprensión de este paso, debemos entender la pieza como un conjunto de puntos que, unidos por una trayectoria, forman nuestra pieza final. Esto es lo que conseguimos en el primer paso, encontrar la trayectoria óptima que debe completar el robot para obtener de la materia prima la pieza que deseamos. Para la tarea de corte utilizaremos un programa bastante simple llamado "dxf2gcode", mientras que para la tarea de fresado utilizaremos un programa más complejo llamado "SURFCAM 2014 R2".

- 3 Del punto dos obtenemos un archivo donde se especifican varios parámetros de control de la herramienta en el proceso de mecanizado, como pueden ser la trayectoria, velocidad de la herramienta, activación/desactivación de la herramienta, activación/desactivación del refrigerante, etc. Este archivo, en el caso del software "dxf2gcode", tendrá siempre la extensión NGC, identificando que el lenguaje de programación de la trayectorias que debe realizar la herramienta es el "g-code" o "Código G", mientras que en el caso del software "SURFCAM 2014 R2", la extensión del archivo que obtenemos será APT.
- 4 Una vez tenemos el archivos con la trayectoria detallada que debe seguir la herramienta, pasaremos a introducir este código en el robot, para poder implementar físicamente la pieza del diseño. El código que utilizamos en el robot posee un lenguaje de programación específico según la marca, en nuestro caso, como ya se ha mencionado, contamos para la implementación de las piezas con un robot marca KUKA modelo KR 60-3, los archivos de programas de mecanizado que introduzcamos en esta marca de robot deben tener la extensión SCR, que hace referencia al lenguaje KRL que es el lenguaje de programación propio de KUKA, para que puedan ser reconocidos por la estación de control y programación del estos robot. Por tanto, a partir de los archivos NGC y APT obtendremos los archivos SCR que utilizaremos en la estación de control y programación. Para ello usaremos el software "IRBCAM 2012B", donde especificaremos ciertos parámetros de control del robot, como son la velocidad de movimiento, cambios de herramienta, ángulo de actuación, etc.
- 5 Con todo esto, obtendremos finalmente el archivo SCR con el programa de mecanizado que introduciremos en la estación de control y programación del robot, en nuestro caso la estación KR C 2.

A continuación, describiremos cada elemento utilizado para llevar a cabo la mecanización de la pieza física a partir del archivo con el diseño de la misma.

2 TECNOLOGIAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.1 Lenguajes

En este apartado vamos a describir los lenguajes de programación utilizados en el trabajo: el lenguaje “g-code” y el lenguaje “APT”. En estos lenguajes se describen los parámetros de configuración de la herramienta, como la trayectoria, velocidad, activación/desactivación ..., y son validos para el control de la mayoría de maquinas CNC. A continuación describiremos individualmente cada lenguaje.

2.1.1 G-code

El lenguaje de programación “g-code”, según el libro “Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de virutas” [5], se utiliza para el control de maquinas del tipo CNC. Un programa escrito en este lenguaje es una lista secuencial de instrucciones que son ejecutadas por la máquina. Cada una de estas instrucciones representa un movimiento que debe realizar la máquina, el conjunto total de instrucciones representa todas las órdenes que se realizaran para el mecanizado de una pieza.

Existen dos tipos de código dentro del lenguaje de programación g-code, los códigos tipo G y los códigos tipo M. Los de tipo G representan funciones de movimiento de la máquina (avance, avance rápido, creación de arcos, pausas, etc.) y los de tipo M representan funciones que no son de movimiento (cambio de herramienta, activación de las herramientas, activación del refrigerado, etc.), son igual de necesario que los anteriores. En las tablas 2.1 y 2.2 se muestran los códigos más usuales en “g-code”.

Tabla 2.1 Código tipo G en g-code

Código tipo G	
G Code	Función
G00	Posicionamiento (recorrido rápido).
G01	Interpolación lineal.
G02	Interpolación circular (giro horario).
G03	Interpolación circular (giro antihorario).
G04	Tiempo de espera, parada precisa.
G20	Datos de entrada de tipo imperial, unidad de medida pulgada.
G21	Datos de entrada de tipo métrico, unidad de medida milímetro.
G28	Punto de referencia de retorno.
G40	Cancelar compensación de corte.
G41	Compensación de corte a la izquierda.
G42	Compensación de corte a la derecha.
G73	Ciclo de alta velocidad para taladros peck (modo “picotazos”).
G74	Contador de roscados.
G76	Bien perforado.
G80	Cancelar ciclo fijo.
G81	Ciclo de taladro, perforado.
G82	Ciclo de taladro, avellanado.
G83	Ciclo de agujeros profundos mediante perforados peck (modo “picotazos”).
G84	Ciclo tapping (cambio de sentido en el giro de la herramienta, al

Código tipo G	
G Code	Función
	extraerla).
G85	Ciclo boring
G86	Ciclo boring (a diferencia del anterior, la herramienta para al llegar al fondo del taladro).
G87	Ciclo back boring.
G89	Ciclo boring (a diferencia del código G85, al llegar al fondo del taladro se aplica un retardo antes de extraer la herramienta).
G90	Cero absoluto.
G91	Comando incremental.
G94	Avance por minuto.
G95	Avance por revolución.
G98	Volver al nivel inicial en ciclo fijo.
G99	Volver al nivel del punto R en ciclo fijo.
G170	Ciclo fijo de caja circular.
G171	Ciclo fijo de caja circular.
G172	Ciclo fijo de caja rectangular.
G173	Ciclo fijo de caja rectangular.

Tabla 2.2 Código tipo M en g-code

Código tipo M	
M code	Función
M00	Detener programa.
M01	Detener programa (solo si una llave de entrada se activa).
M02	Final de programa.
M03	Cabezal hacia adelante (sentido horario).
M04	Cabezal hacia atrás (sentido antihorario).
M05	Parada de cabezal.
M06	Cambio automático de herramienta.
M08	Refrigerante ON.
M09	Refrigerante OFF.
M10	Pinza de trabajo abierta.
M11	Pinza de trabajo cerrada.
M13	Cabezal de avance y refrigerante activados.
M14	Cabezal de retroceso y refrigerante activados.
M19	Orientación del cabezal.
M20	Mueve el brazo cambiador automático de herramientas debajo del cabezal.
M21	Mueve el brazo cambiador automático de herramientas lejos del cabezal.
M22	Mueve el brazo cambiador automático de herramientas hacia abajo.
M23	Mueve el brazo cambiador automático de herramientas hacia arriba.
M24	El cambiador automático de herramientas desamarra la pinza herramienta que ocupa actualmente el cabezal.
M25	El cambiador automático de herramientas amarra una pinza herramienta al cabezal.
M27	Restablecer carrusel a la posición uno.
M30	Reiniciar programa.
M32	Girar carrusel en sentido horario.
M33	Girar carrusel en sentido antihorario.
M38	Abrir puerta.
M39	Cerrar puerta.
M62	Salida auxiliar 1 en ON.
M63	Salida auxiliar 2 en ON.
M64	Salida auxiliar 1 en OFF.
M65	Salida auxiliar 2 en OFF.
M66	Esperar a que la salida auxiliar 1 esté en ON.
M67	Esperar a que la salida auxiliar 2 esté en ON.
M70	Espejo en X ON (respecto 0).
M71	Espejo en Y ON (respecto 0).
M76	Esperar a que la salida auxiliar 1 esté en OFF.
M77	Esperar a que la salida auxiliar 2 esté en OFF.
M80	Espejo en X OFF.
M81	Espejo en Y OFF.
M98	Llamar a subprograma.
M99	Fin de subprograma y devolución a programa principal.

2.1.2 Lenguaje APT

Para explicar el lenguaje APT, primero debemos explicar el concepto de programación asistida. Según el libro “Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de virutas” [5], la programación asistida por ordenador intenta que la realización de los programas de control numérico sea más cómoda, utilizando para ello un ordenador como herramienta de programación, que proporciona una ayuda muy versátil gracias a su potencia de cálculo y capacidad de procesamiento de la información. Recordemos que, en el caso de la programación manual, el programador debe realizar, entre otras, las siguientes operaciones:

- Descomponer el mecanizado en operaciones elementales, y determinar su orden.
- Calcular, en algunos casos, la corrección de herramientas.
- Determinar las condiciones de corte.
- Definir las curvas y superficies de mecanizado.
- Escribir el programa CN en formato correcto.
- Introducir el programa en el control de la máquina.

La realización de todas estas tareas puede resultar engorrosa y difícil, pudiendo además producir numerosos errores humanos. Los cálculos pueden alargarse extraordinariamente, siendo incluso imposibles la realización de algunos, sin contar con la ayuda de un ordenador.

Utilizando la programación asistida por ordenador, el papel del programador se limita a la elaboración de las órdenes de mando, quedando como tareas del ordenador todas aquellas que realiza a mucha más velocidad y con una probabilidad mínima de cometer errores.

Los primeros prototipos de sistemas de programación asistida por ordenador datan de finales de los años 60, cuando hace su aparición el APT (Automated Programming Tool). Y lo más reciente ha sido el desarrollo de los sistemas CAD/CAM, que dotan a la programación de control numérico de la capacidad de tomar información directamente de la geometría de la pieza.

Gracias a estos sistemas se pueden desarrollar programas de CN para geometrías complejas, con superficies y curvas de formas muy complicadas.

Lenguaje APT

En un principio, la programación asistida constaba de las siguientes fases:

- Definición del contorno de la pieza con los elementos geométrico que la componen (líneas, puntos, arcos, planos, cilindros, esferas, superficies regladas,...) y codificarlos según el lenguaje de programación utilizado.
- Definición del recorrido de la herramienta sobre los elementos geométricos definidos anteriormente.
- Introducción de los parámetros de corte.

El lenguaje más utilizado es el APT, lenguaje universal válido para mecanizados en 3, 4 y 5 ejes, en el que cada instrucción del programa está compuesta de palabras de vocabulario, valores numéricos y símbolos, separados por caracteres especiales como la barra (/) o la coma(,).

Se trata de un lenguaje cuya utilización resulta muy pesada, por la rigidez de sus reglas y ello provoca errores, de ahí que habitualmente sea más habitual utilizar g-code.

2.2 Programas utilizados

En este apartado vamos a describir los programas utilizados para obtener, a partir del archivo con el diseño de la pieza en formato DXF, el archivo o archivos con el código del programa de mecanizado que introduciremos en el robot.

2.2.1 dxf2gcode

El programa “dxf2gcode” es un software de licencia gratuita, compatible con los sistemas tanto de Linux como de Windows. Según la página web de los desarrolladores [6], “dxf2gcode” tiene por objeto apoyar al usuario a la hora de convertir archivos de dibujo 2D en formato DXF a lenguaje g-code compatible con máquinas CNC. Es decir, a partir del archivo DXF con el dibujo en 2D de la pieza que queramos mecanizar, este programa nos calculará y trazará las trayectorias necesarias que deba realizar la herramienta, obteniendo un archivo con formato NGC, donde se encuentran dichas trayectorias en código entendible por la máquina CNC, en “g-code”. En la figura 2.1 se puede ver el logotipo del programa.



Figura 2.1 Logotipo programa dxf2gcode.

La elección de este programa a favor de otros que nos puedan ofrecer más opciones en el proceso de mecanizado (dimensiones de la herramienta, piezas en 3D, tipos de material, etc.), ha sido debido a su simplicidad y rápida aplicación en la obtención de código compatible con máquinas CNC en tareas de corte, debido a la escasa configuración de parámetros que presenta para la obtención del archivo de mecanizado.

2.2.2 SurfCam 2014 R2



Figura 2.2 Logotipo programa SURFCAM.

El programa “SURFCAM 2014 R2” es un claro ejemplo de herramienta CAD/CAM (Diseño y Fabricación Asistidos por Computadora), podemos ver su logotipo en la figura 2.2, y nos basaremos en la definición de este tipo de programación para describir la funcionalidad de dicho programa. Según el documento “Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de virutas” [5], este tipo de programación, también denominada programación gráfica interactiva, viene a resolver los problemas que presenta la programación con lenguajes tipo APT de superficies complejas.

Las posibilidades de los sistemas de Diseño y Fabricación Asistidos por ordenador (CAD/CAM) permiten generar toda la geometría de la pieza mediante un módulo de diseño y/o dibujo y, a continuación, definir el recorrido de la herramienta mediante un módulo de CN. Todo ello con las facilidades de visualización en pantalla con colores y desde diversos puntos de vista de las piezas, las trayectorias de mecanizado y las herramientas.

En la pantalla del ordenador se visualiza la trayectoria, se sitúa la herramienta con sus formas y dimensiones y se simula el mecanizado a velocidad normal o acelerada, permitiendo la comprobación del mecanizado y las interferencias entre la herramienta y la pieza o sus amarres.

Partiendo del modelo geométrico de la pieza creado por el CAD, procedente de otro sistema y trasladado al nuestro en formato neutro (IGES o DXF, generalmente), o bien introduciendo la geometría si se trabaja a partir de un plano, se define el contorno a mecanizar identificando los elementos geométricos que lo constituyen para que puedan ser utilizados por el módulo de CN (CAM).

Estos módulos de CN permiten la programación interactiva, utilizando menús en pantallas o tablas gráficas, de las trayectorias de mecanizado o de las operaciones más frecuentemente usadas (contorneados, taladrado, roscado, etc.). Algunos de ellos disponen de programación paramétrica, que permite programar de una sola vez mecanizados de piezas con formas semejantes.

La información de salida es un fichero en lenguaje simbólico (APT o similar) o bien un fichero CLDATA, con los recorridos de las herramientas. Por último solo queda, al igual que en la programación APT, el postprocesado.

Por tanto, el programa "SURFCAM 2014 R2" nos permite realizar, entre otras, las siguientes tareas:

- Diseño de piezas y sólidos en 2D y 3D.
- Programar el mecanizado que realizaremos en la pieza, aplicando medidas de stocks reales sobre la misma.
- Visualización de las trayectorias de mecanizado.
- Visualización de la simulación del proceso de mecanizado, con dimensiones reales de la herramienta y especificación del tipo de material utilizado.

La ventaja de este programa, al poder ver la simulación del proceso real que se llevara a cabo en el mecanizado, contando ya con las dimensiones reales, tanto de

herramienta como de stock en la pieza, reside en que podemos detectar fácilmente errores en la programación del mecanizado, como puedes ser:

- Colisiones de la herramienta con el stock, debido a intrusiones no deseadas.
- Distancia elevada a la zona de retirada, donde el robot efectúa movimientos de posicionamiento a velocidad más elevada y con la herramienta desconectada, ya que durante estos movimientos la herramienta no mecaniza la pieza.
- Acabado de la pieza, nos ayuda a ver si la herramienta que hemos seleccionado es la más adecuada.
- Movimientos de la herramienta no realizables por nuestro robot, prevención de posibles puntos singulares.
- Conocido el volumen de trabajo del robot, podemos comprobar que las dimensiones en el proceso de mecanizado son adecuadas.

En definitiva, con el “SURFCAM 2014 R2” podemos obtener el mecanizado de piezas, tanto en 2D como en 3D, asegurando y optimizando el proceso para el robot que llevara a cabo dicha tarea. El archivo con el código de mecanizado podemos obtenerlo con diferentes extensiones, dependiendo del tipo de robot que vayamos a utilizar, para la marca KUKA, al no venir la extensión propia de estos robot, sacaremos los archivos con la extensión APT.

Este programa lo utilizaremos para la configuración de mecanizado de piezas en 3D, aunque podría llevar a cabo también la mecanización de las tareas de corte, no se usará para este fin, ya que su utilización es mas laboriosa que con el programa “dxf2gcode”, que tiene una aplicación mucho más rápida para este tipo de tareas.

2.2.3 IRBCAM 2012B

El programa “IRBCAM 2012B” nos permitirá obtener los códigos en formato compatible con nuestro robot a partir del archivo de mecanizado en g-code o APT.

Según el manual de usuario del programa [7], el software IRBCAM es una interfaz entre el lenguaje g-code y APT-CL y el lenguaje del robot; RAPID para ABB, KRL para KUKA, PDL2 para COMAU, Informar III (JPI) para Motoman, Karel y LS para FANUC y JOB para Hyundai. El formato APT-CL es uno de los formatos más comunes en CAM, y la mayoría de los software CAM pueden exportar a dicho formato independientemente de la maquina CNC que vayamos a utilizar, aunque IRBCAM también puede trabajar en g-code. IRBCAM ha sido ampliamente

probado en SURFCAM, AlphaCam y CATIA v5, ProEngineer y Visualmill, que son algunas de las plataformas CAM más comunes, de ahí que para la realización de este trabajo se haya optado por el software SURFCAM.

IRBCAM combina las poderosas opciones de las modernas plataformas CAD/CAM con la flexibilidad, precisión y velocidad de los robots de tipo IRB de ABB, los robots de tipo KR de KUKA, robots inteligentes de COMAU, así como los robots de Motoman, Hyundai y FANUC.

Los volúmenes totales de espacio de trabajo que se pueden lograr, depende del tipo de modelo de robot y varia de 0'5x0'5x0'5 metros cúbicos a mas de 2x2x2 metros cúbicos. Al colocar el robot en un eje externo lineal, como por ejemplo montar el robot sobre un carril móvil, el espacio de trabajo puede extenderse a distancias muy grandes, llegándose a construir sistemas con más de 100 metros de espacio de trabajo. También existe la opción de incluir un eje rotatorio externo, permitiendo al robot mecanizar grandes piezas por todos sus lados.

Por tanto, el software "IRBCAM 2012B" nos permite realizar, entre otras las siguientes tareas:

- Obtener, a partir del formato g-code o APT el archivo o archivos con el lenguaje de programación propio del robot que vayamos a utilizar.
- Visualización y simulación de los movimientos del robot para llevar a cabo el mecanizado.
- Selección de rutinas referentes a cambio de herramienta y activación/desactivación de la herramienta.
- Selección del número de líneas de código que debe haber en cada archivo de salida.
- Selección de la velocidad de mecanizado.
- Construcción del modelo real del espacio de trabajo, pudiendo meter cuerpos sólidos que hagan referencia a objetos próximos al robot en el espacio de trabajo real.
- Configuración de los ángulos de partida en el robot, con el fin de que sean realizables todos los movimientos y se llegue a todas las coordenadas con la orientación descrita en el programa.

Este software no nos permite obtener el programa de mecanizado en el lenguaje propio del robot a menos que dicho robot pueda realizar todos los movimientos que

se especifican en el programa, por tanto a la hora de configurar la posición de trabajo del robot, deberemos asegurarnos de que pueda llevar a cabo todas las trayectorias calculadas, de no ser así el programa nos indicará el primer punto en la trayectoria de mecanizado que el robot no puede alcanzar, pudiendo observar la posición del robot en ese punto y tomar las decisiones oportunas para salvarlo. Una vez verificado que el robot puede completar toda la trayectoria de mecanizado, el programa nos permitirá obtener el programa de mecanizado en lenguaje KRL.

2.3 Robot

En este apartado pasamos a detallar las características más importantes de la máquina que controlará la herramienta en las tareas de corte y fresado.

Para el control de la herramienta en las tareas de corte y fresado utilizaremos una máquina CNC, esta máquina está compuesta por un robot y su controlador. El robot será el encargado de ejecutar los movimientos y al que estará acoplada la herramienta, y el controlador será el encargado de transmitirle la información al robot de dichos movimientos, a partir de los programas que le introduciremos en lenguaje KRL. El conjunto está formado por un robot marca KUKA modelo KR 60-3 y por un controlador KR C 2, en las figuras 2.3 y 2.4 podemos ver respectivamente robot y controlador.



Figura 2.3 Robot KUKA modelo KR 60-3.



Figura 2.4 Controlador KUKA KR C 2.

2.3.1 Robot KUKA KR 60-3

En este apartado detallaremos el robot KUKA modelo KR 60-3 con la información proporcionada por su hoja de características [8].

2.3.1.1 General

El robot descrito, puede verse en la figura 2.5, es un robot industrial de seis ejes con brazo articulado para tareas que implican trayectorias continuas controladas. Sus principales áreas de aplicación son:

- Manipulación
- Ensamblés
- Aplicaciones con adhesivos, selladores o conservantes.
- Mecanizado

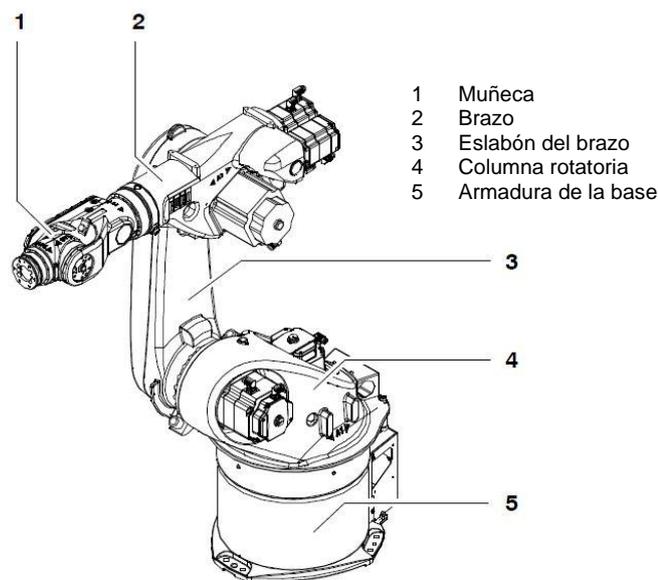


Figura 2.5 Principales componentes del robot.

El robot KR 60-3 puede instalarse en una posición variable, pero solo está previsto para instalarse en el suelo.

Las cargas nominales y adicionales, sección 2.3.1.6 “Datos Técnicos”, se pueden mover a la máxima velocidad, incluso con el brazo totalmente extendido.

Todas las piezas principales que forman parte del armazón del robot que se mueven están hechas de aleación ligera. Este concepto ha sido optimizado mediante CAD (Diseño Asistido por Computadora) y FEM (Método de los Elementos Finitos) en materia de costes para la construcción ligera eficaz y la alta torsión y rigidez a la flexión. Como resultado el robot tiene una alta frecuencia natural y por tanto se caracteriza por un buen rendimiento dinámico y alta resistencia a las vibraciones. Las articulaciones y engranajes están virtualmente libres de juego; todas las piezas móviles están cubiertas. Todos los ejes son accionados por servomotores sin escobillas de AC, por diseño, no requieren mantenimiento y ofrecen una protección fiable contra sobrecarga. Los ejes principales tienen una vida útil de lubricado de 20.000 horas de funcionamiento como mínimo.

Todos los componentes del robot son intencionadamente de configuración simple y directa, su número se ha reducido al mínimo y todos son fácilmente accesibles. El robot también puede ser remplazado como una unidad completa sin que se requieran grandes correcciones del programa. Estos y otros muchos detalles hacen que el robot sea rápido, fiable y fácil de mantener. Ocupa muy poco espacio en el suelo y puede estar situado muy cerca de la pieza de trabajo debido a la geometría estructural espacial del mismo. Al igual que todos los robots KUKA, tiene una vida útil de 10 a 15 años.

Cada robot está equipado con un controlador, cuyo control y electrónica de potencia se encuentran integrados en un armario común. El controlador es compacto y de fácil uso, se ajusta a los requisitos de seguridad especificados en la directiva de máquinas UE y las normas pertinentes.

Los cables de conexión entre el robot y el controlador contienen todas las líneas de suministro de energía y señales pertinentes. Las conexiones de los cables en el robot son del tipo plug-in, como también lo son la de energía y la de suministro de fluido para el funcionamiento de los actuadores finales (accesorio “suministro de energía integrado para los ejes del 1 al 3”, puede verse en la figura 2.6). Estas líneas se instalan permanentemente dentro del eje principal A1 del robot. Si es necesario, las líneas de energía y de suministro de fluido pueden ser guiadas aguas abajo a lo largo de los ejes hasta el actuador final con la ayuda de los interface del sistema.

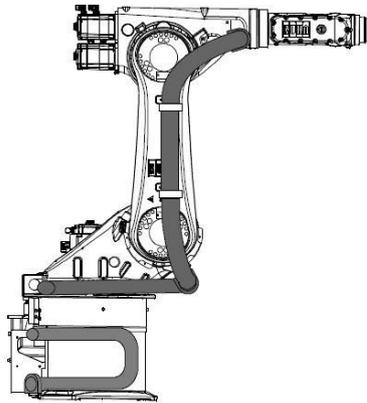


Figura 2.6 Sistema de suministro de energía; ejes A1, A2 y A3.

2.3.1.2 Diseño del robot

El robot se compone de una estructura de base fija, en la que una columna rotatoria gira alrededor de un eje vertical junto con el brazo articulado, brazo y muñeca, véase figura 1.10.

La muñeca, figura 2.7, está provista de una brida de montaje para la fijación de los actuadores finales, por ejemplo, en nuestro caso la cortadora de plasma o la fresadora.

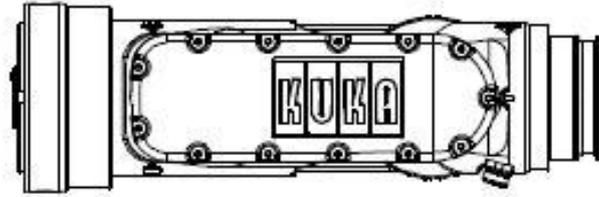


Figura 2.7 Muñeca del robot.

Los posibles movimientos del robot se representan en la figura 2.8.

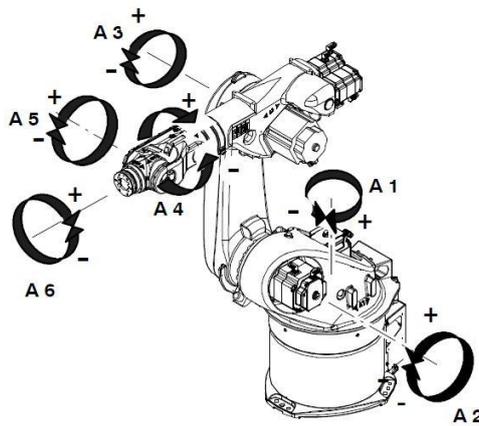


Figura 2.8 Ejes de rotación y sentidos de giro del movimiento del robot.

Las posiciones de los ejes principales (A1, A2, A3) y ejes de la muñeca (A4, A5, A6) se detectan por medio de un sistema de detección de posición cíclica absoluta que ofrece una resolución para cada eje.

Cada eje es accionado por un transistor que controla un servomotor AC de baja inercia. El freno y la resolución en el espacio están eficazmente integrados en la unidad del motor.

El área de trabajo del robot está limitada por medio de los finales de carrera en todos los ejes. Los rangos de carrera de los ejes 1, 2, 3 y 5 están limitados mecánicamente por topes con una función de amortiguación.

Se pueden suministrar como accesorios topes mecánicos para los ejes 1, 2 y 3 como limitación en tareas relacionadas con un trabajo específico.

2.3.1.3 Instalación

Hay varios métodos de montaje:

- Variante 1: (montaje del armazón del robot).

Esta variante está disponible con pasadores y pernos. El robot se coloca en una estructura preparada de acero y se sujeta con seis pernos, véase figura 2.9. Su posición de montaje se fija por medio de dos pasadores de fijación, lo que les permite ser cambiados repetidamente.

- 1 Pasador de ajuste, largo
- 2 Tornillo hexagonal
- 3 Robot
- 4 Superficie de montaje (gris)
- 5 Pasador de ajuste, corto

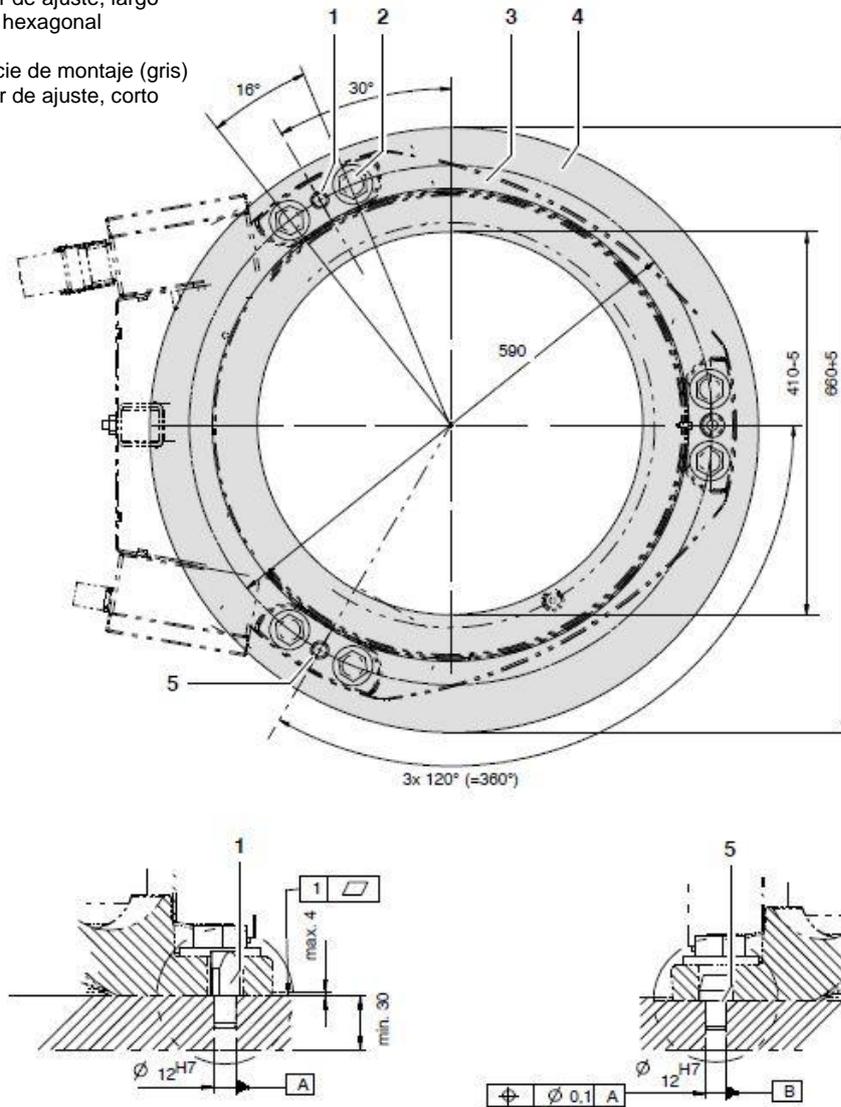


Figura 2.9 Instalación del robot, variante 1.

- Variante 2: (montaje de la base).

Esta variante está disponible con placas intermedias, pasadores de fijación, fijaciones químicas y pernos. El robot está montado en el taller junto con tres placas intermedias preparadas, véase figura 2.10. Su posición de montaje se fija por medio de dos pasadores de fijación, lo que les permite ser cambiados repetidamente. El robot se fija a las placas intermedias con seis pernos.

Cada una de las placas intermedias se sujeta a la planta de producción con tres fijaciones químicas antes de que el robot se monte en ellas.

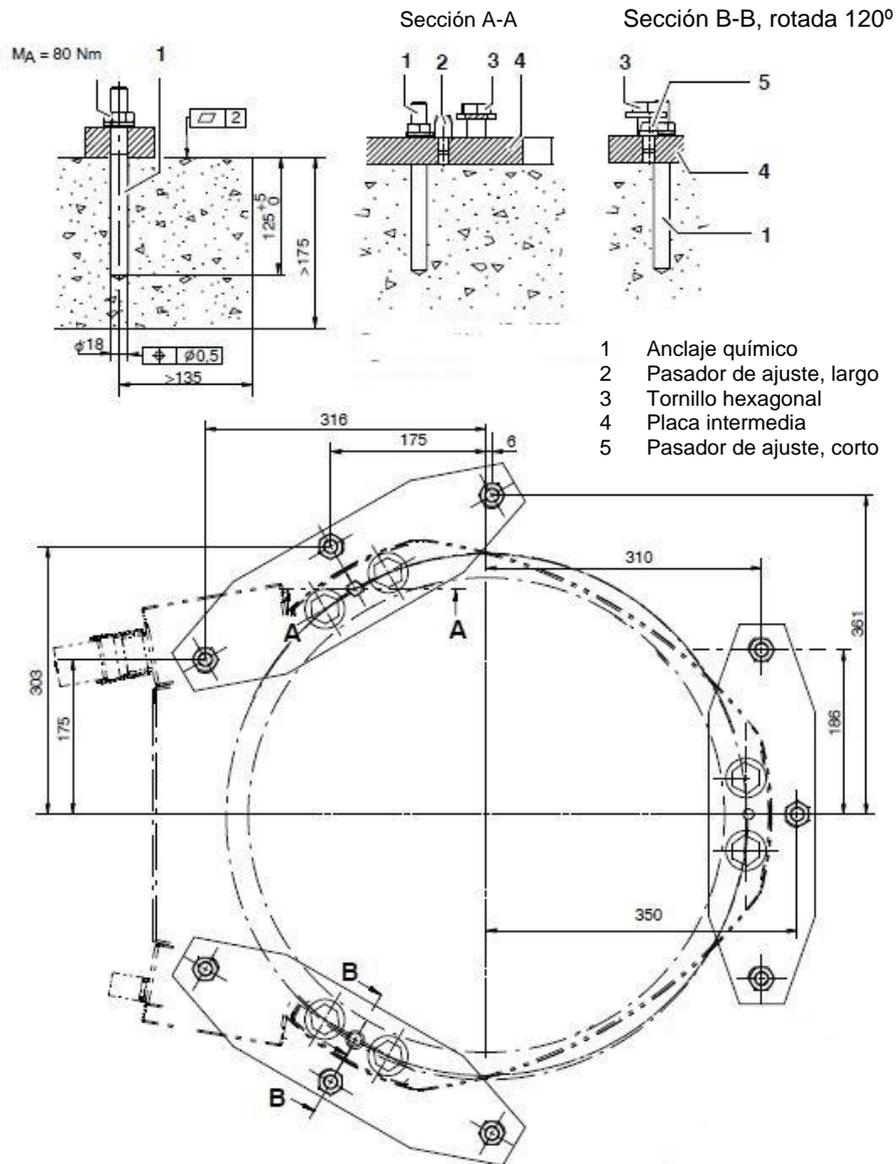


Figura 2.10 Instalación del robot, variante 2.

- Variante 3: (placa adaptadora).

Esta variante está disponible con una placa intermedia, pasadores y pernos. La placa intermedia se fija en una estructura de acero preparada o a una unidad de transporte lineal con ocho tornillos hexagonales antes de que el robot se monte en ella. El robot está fijado a la placa intermedia con seis

Después del servicio y el trabajo de mantenimiento, en la muñeca y los motores por ejemplo, es necesario establecer la coincidencia entre las posiciones cero eléctrico y mecánico del robot, es decir, realizar su calibración. Un cartucho de calibración está montado por el fabricante en cada eje del robot para este propósito.

Estos cartuchos de calibrado son fijados por el fabricante cuando el robot se calibra antes de su envío. El hecho de que las mediciones sobre cada eje siempre se realizan utilizando el mismo cartucho significa que se consigue la máxima precisión tanto para el primer calibrado de la posición de cero mecánico como cuando posteriormente se reubica la misma.

La posición de la sonda mecánica montada en el cartucho de calibrado puede mostrarse con el atornillamiento de una sonda electrónica (conjunto KTL mastering), disponible como accesorio en el cartucho. El sistema de detección de posición se ajusta automáticamente a cero eléctrico cuando la sonda pasa por la muesca de referencia durante el proceso de ajuste. El robot puede reanudar la operación una vez que los ajustes a cero se han llevado a cabo en todos los ejes.

Los procedimientos descritos hacen posible que los programas, una vez definidos, sea transferidos en cualquier momento a cualquier otro robot del mismo tipo.

2.3.1.5 Transporte

Hay dos métodos para transportar el robot, véase la figura 2.12.

- Con levantamiento a bordo de una grúa: El robot puede ser suspendido del gancho de una grúa mediante el levantamiento de aparejos unidos a tres pernos de anilla en la columna giratoria.
- Con carretilla elevadora: Para el transporte mediante carretilla elevadora, puede instalarse como accesorio dos ranuras para las horquillas en la columna giratoria.

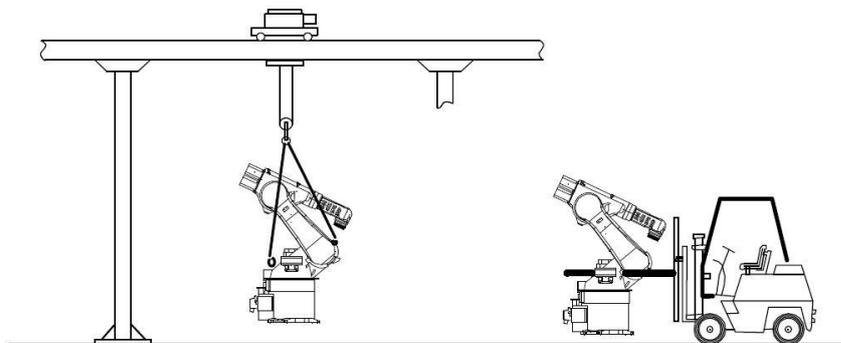


Figura 2.12 Transporte del robot.

- Antes de ser transportado el robot de ser llevado a su posición de transporte, en la tabla 2.3 se muestran dichos valores en cada eje, véase también la figura 2.13.

Tabla 2.3 Valores de los ejes para transporte

A1	A2	A3	A4	A5	A6
0°	-135°	+155°	0°	+90°	0°

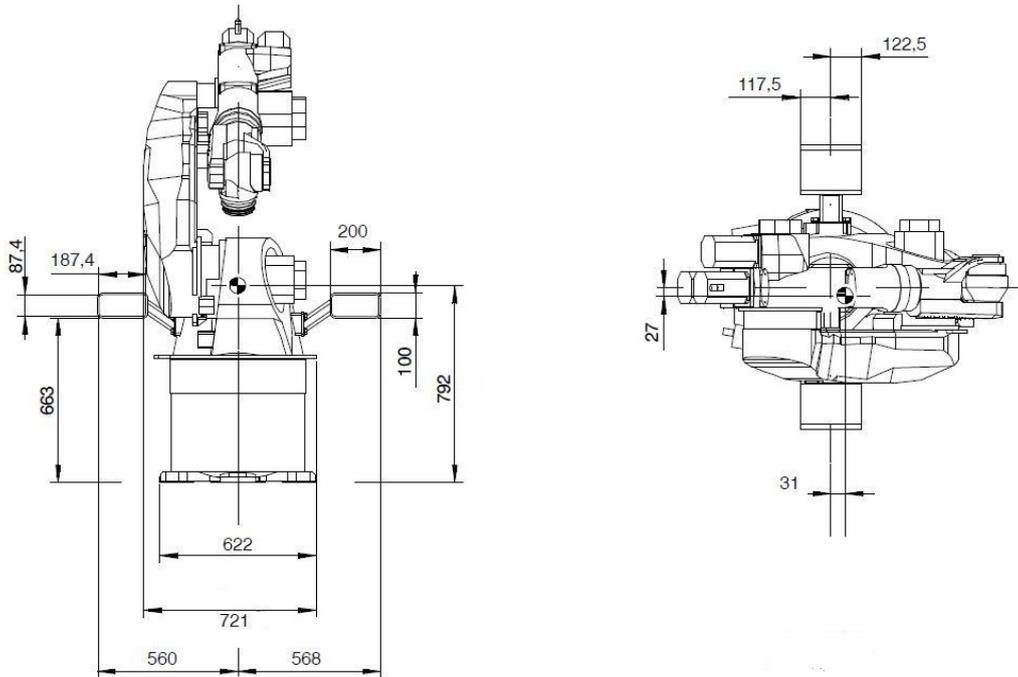


Figura 2.13 Dimensiones del robot en posición de transporte.

2.3.1.6 Datos técnicos

- Tipo: KR 60-3.
- Número de ejes: 6, ver figura 2.8.
- Carga límite: La tabla 2.4 muestra dichos valores, véase también la figura 2.14.

Tabla 2.4 Valores de carga nominal

Muñeca	45 kg
Carga útil nominal	60 kg
Máx. carga complementaria con carga útil nominal	35 kg
Máx. carga total	95 kg

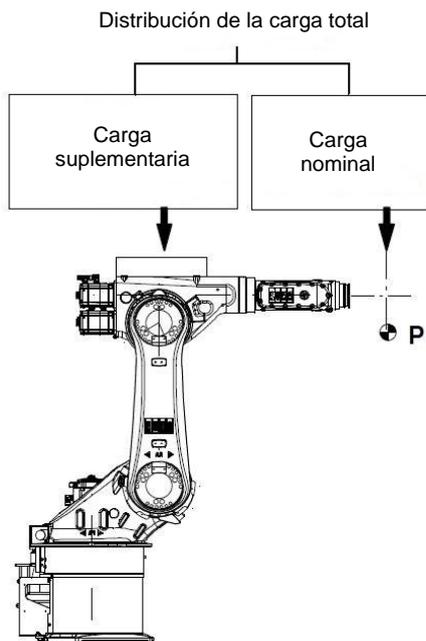


Figura 2.14 Distribución total de la carga.

La relación entre su carga útil y su centro de gravedad puede observarse en la figura 2.15.

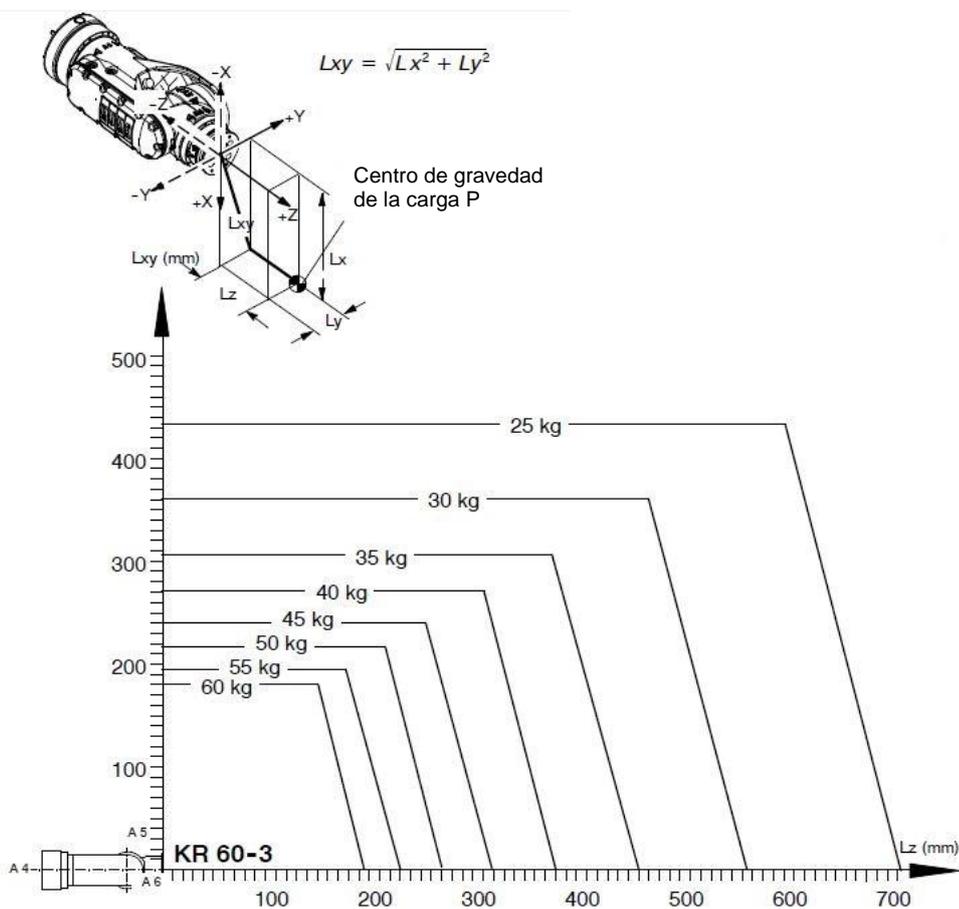


Figura 2.15 Centro de gravedad de la carga P y curvas de carga para el KR 60-3.

- Datos de los ejes: Los datos de los ejes se pueden observar en la tabla 2.5. Los ejes y sus posibles movimientos se representan en la figura 2.8. Ejes 1, 2 y 3 son los ejes principales, ejes 4, 5 y 6 son los ejes de la muñeca.

Todas las especificaciones en la columna “rango de movimiento” se refieren a la posición cero electrónico y para la visualización en el KCP del eje del robot en cuestión.

Tabla 2.5 Datos de los ejes para carga útil nominal de 60 kg

Eje	Rango de movimiento	Velocidad
1	± 185°	128°/s
2	+ 35° a - 135°	102°/s
3	+ 158° a - 120 °	128°/s
4	± 350°	260°/s
5	± 119°	245°/s
6	± 350°	322°/s

- Repetibilidad (ISO 9283): ± 0.06 mm.
- Sistema de conducción: Electromecánico, con servomotores AC controlados por un transistor.
- Potencia de los motores instalados: Aproximadamente 14.9 kW.
- Dimensiones principales: Ver figura 2.16.

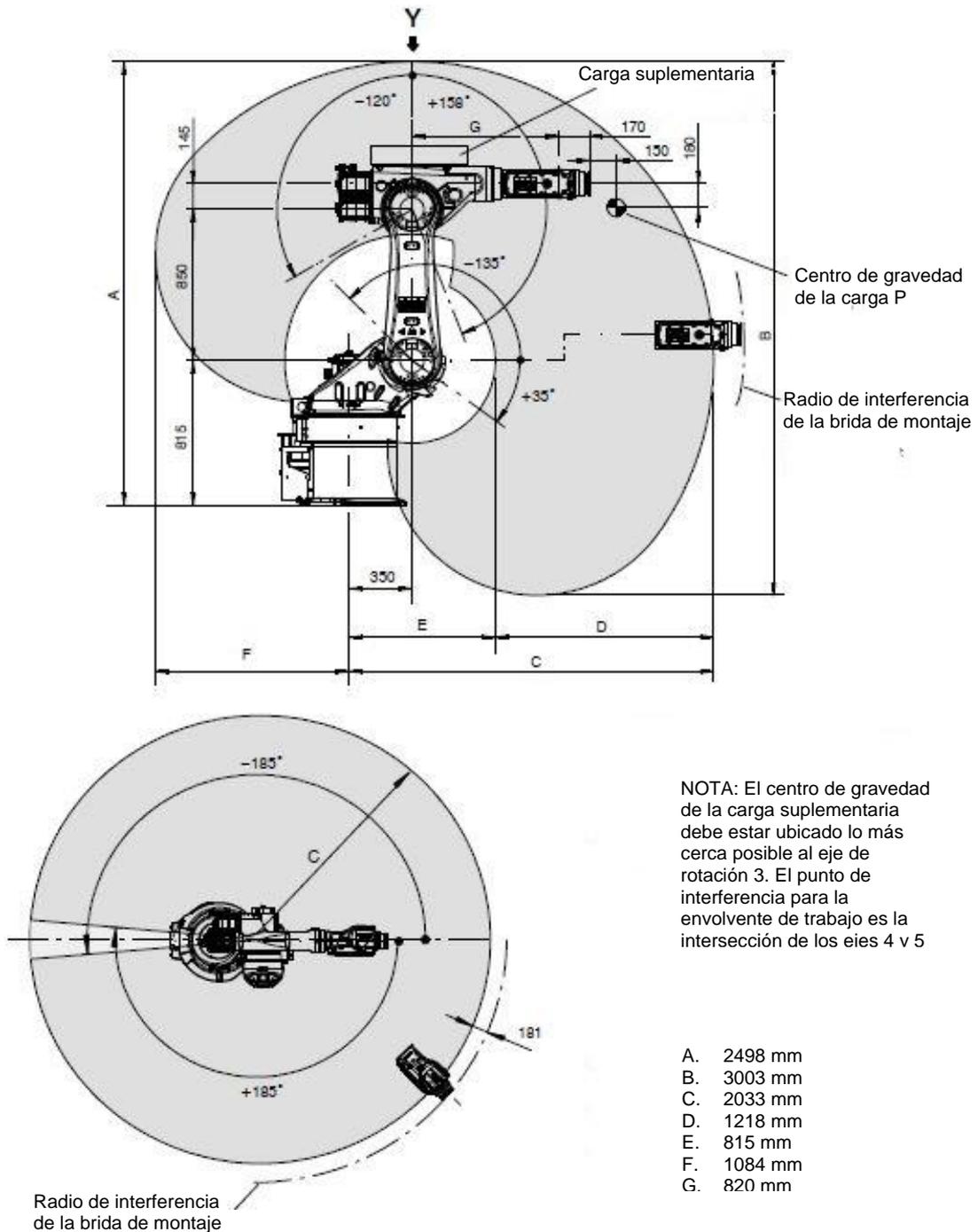


Figura 2.16 Dimensiones principales y envolvente de trabajo (valores de software).

- Peso: 665 kg.
- Nivel de sonido: Menor a 75 dB (A) fuera de la envolvente de trabajo.
- Instalación: Ver sección 2.3.1.3 “Instalación”.

- Centro de gravedad de la carga P: Ver figura 2.15. Para todas las cargas útiles nominales, la distancia horizontal (Lz) del centro de gravedad de la carga útil P a la cara de la brida de sujeción es 150 mm (distancia nominal).

La distancia vertical (Lxy) del eje de rotación seis es de 180 mm (distancia nominal).

- Zona de trabajo: La forma y dimensiones de la envolvente de trabajo se pueden observar en la 2.16.
- Volumen del espacio de trabajo: Aproximadamente 27.2 m³. El punto de referencia es la intersección de los ejes 4 y 5.
- Temperatura ambiente: Véase la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Datos de temperatura ambiente límite del robot

Durante la operación	283 K hasta 328 K	10 °C hasta 55 °C
Durante operaciones con seguridad	283 K hasta 323 K	10 °C hasta 50 °C
Durante el almacenamiento y el transporte	233 K hasta 333 K	-40 °C hasta 60 °C

Se pueden solicitar al fabricante otros valores límites de temperatura.

2.3.2 KR C 2

Según lo detallado en el documento [9], el KR C 2 es una unidad de control programable universal, dispone de funciones básicas de movimiento del robot y permite generar movimiento punto a punto, movimientos circulares y movimientos lineales. Dispone de 4096 entradas y salidas para comunicarnos. Dispone también de puertos RS232 y puertos Ethernet y comunicación DeviceNet estándar en el armario de control. Posee también de manera opcional la posibilidad de disponer de otros buses de comunicación, tales como Profibus o Interbus.

El controlador KR C 2 está equipado con un panel de control denominado KCP ergonómicamente diseñado. Se utiliza para la operación de control del robot y nos proporciona una interfaz visual y sencilla entre el hombre y el robot. En la KCP disponemos de botones; como selector de modo, accionamiento on-off, además de seta de emergencia. Juntamente incorpora un teclado numérico y un teclado QWERTY para dar las órdenes al robot de los movimientos e instrucciones necesarias.

Las características adicionales están disponibles cuando se utiliza con transceptores K2, K2/100, K3 y K3/100. La entrada del menú ACC se puede utilizar para controlar directamente los accesorios de salida del KR C 2. Cuatro botones en la parte superior se pueden utilizar como “hot keys” para el acceso instantáneo a mensajes de buffers CW, el cambio rápido de la RXANT jack, u otras funciones.

En la tabla 2.7 podemos ver las especificaciones del controlador sacadas de su hoja de características [9].

Tabla 2.7 Especificaciones controlador KR C 2

Especificaciones	
Salidas	32 (16 sumideros, 16 fuentes)
Ratio del controlador de salida	500 mA máx., 50 V máx. (sumideros y fuentes)
Entrada analógica	0-5 V (1 entrada), 0-10 V (2 entradas)
Formato de decodificación de banda	Elecraft, Icom, Yaesu, Kenwood
Consumo de corriente	Approx. 20 mA (excluye la corriente del controlador de salida)
Dimensiones	5.5"(L) x 3.5"(D) x 1.5"(H) (14 x 11.4 x 4 cm)

2.4 Herramientas

Para la realización de las tareas que se contemplan en este trabajo, se han especificado dos tipos de herramienta: una cortadora de plasma para la tarea de corte en 2D y una fresadora para la tarea de fresado en 3D. A continuación detallaremos con detenimiento como funcionan y como trabajan sobre el material a procesar, obviando cualquier información comentada ya en la sección 1.2 “Introducción al problema”.

Antes de nada, decir que aunque estas tareas están pensadas para llevarse a cabo con estos dos tipos de herramientas, podríamos utilizar cualquier otra que nos diese el resultado que buscamos, únicamente deberíamos tener cuidado en variar las dimensiones que posee la misma y comprobar, normalmente de forma experimental, que el resultado de la herramienta sobre el material se produce en las condiciones y con los resultados requeridos.

2.4.1 Cortadora de plasma

La siguiente información sobre el corte por plasma está escrita en base a los fundamentos teóricos proporcionados por el enlace [10], en la figura 2.17 podemos ver la imagen de una cortadora de plasma.



Figura 2.17 Cortadora de plasma.

Funcionamiento:

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma muy localizada y por encima de los 30.000 °C, llevando el gas utilizado hasta el cuarto estado de la materia, el plasma, estado en el que los electrones se disocian del átomo y el gas se ioniza (se vuelve conductor).

El chorro de plasma lanzado, penetra la totalidad del espesor a cortar, fundiendo y expulsando el material.

El comienzo del corte es prácticamente instantáneo y produce una deformación mínima de la pieza.

Una de las características más importantes es que consiguen cortes de alta calidad y muy buen acabado.

Esta tecnología se usa para el corte de cualquier material metálico conductor, y más especialmente en acero estructural, inoxidables y metales no férricos.

En la figura 2.18 podemos ver un esquema con las partes más importantes que componen la punta de acción de la cortadora de plasma.

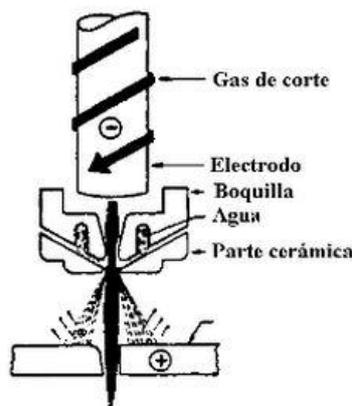


Figura 2.18 Partes de la cortadora de plasma.

Corte por plasma por aire:

En el año 1963 se introduce el corte por plasma por aire. El oxígeno del aire aumenta las velocidades de corte en un 25 por ciento en relación con el corte tradicional por plasma seco, sin embargo, también conlleva una superficie de corte

muy oxidada y una rápida erosión del electrodo que está dentro de la boquilla de corte.

Corte con inyección de agua:

En 1968, Dick Couch, presidente de Hypertherm, inventa el corte con inyección de agua, un proceso que implica inyectar radialmente agua en la boquilla. El resultado final fue un corte mejor y más rápido, así como con menos escorias. Este proceso también utiliza como gas nitrógeno pero como protector utiliza una capa de agua.

Corte con inyección de oxígeno:

En 1983 se desarrolla una nueva técnica que implica la utilización de oxígeno como gas de corte y la introducción de agua por la punta de la boquilla. Este proceso denominado “corte por plasma con inyección de oxígeno” ayuda a solucionar los problemas del rápido deterioro de los electrodos y la oxidación del metal.

Corte con doble flujo:

Este es el sistema convencional o estándar, de alta velocidad que utiliza como gas-plasma nitrógeno y como gas-protector puede emplearse dióxido de carbono o bien oxígeno.

Las variables del proceso son:

- Gases empleados.
- El caudal y la presión de los mismos.
- Distancia boquilla pieza.
- Velocidad del corte.
- Energía empleada o intensidad del arco.

Ventajas:

- La ventaja principal de este sistema radica en su reducido riesgo de deformaciones debido a la compactación calorífica de la zona de corte.

- También es valorable la economía de los gases aplicables, ya que a priori es viable cualquiera, si bien es cierto que no debe de atacar al electrodo ni a la pieza.
- Su costo operativo es sensiblemente inferior al oxicorte y la facilidad de su operación hace posible trabajar en corte manual con plantillas de chapa con un acabado de la pieza prácticamente definitivo.
- El PAC (Plasma Arc Cutting) tiene la ventaja de iniciarse inmediatamente, sin necesidad de precalentamiento. El inicio instantáneo resulta especialmente ventajoso en aplicaciones que implican interrupción del corte, como en el corte de mallas.

Desventajas:

- No es recomendable el uso de la cortadora de plasma en piezas pequeñas debido a que la temperatura es tan elevada que la pieza llega a deformarse.
- En comparación con la mayor parte de los métodos de corte mecánicos, presenta peligros como son incendio, choque eléctrico, luz intensa, humo y gases, y niveles de ruido que probablemente no estén presentes en los procesos mecánicos.

Debido a que la tarea de fresado ofrece un mayor abanico de posibilidades y variantes en el mecanizado de piezas, todos los esfuerzos prácticos se han enfocado en esta tareas, no habiendo podido desarrollar en la práctica ensayos de corte, debido a que no contábamos con el tiempo y los recursos necesarios. Por tanto, al no haberse realizado en la práctica ningún ensayo de corte con la cortadora de plasma, se desconoce como estaría sujeta al robot y las dimensiones que tendría la herramienta final.

2.4.2 Fresadora

A continuación, pasamos a describir la herramienta de fresado, para más información, podemos consultar el enlace [11].

Funcionamiento:

Una fresadora es una máquina-herramienta cuya función es crear piezas de determinadas formas, a través de un proceso de mecanizado de las mismas, con el uso de una herramienta giratoria llamada fresa. El mecanizado es un modo de manufactura por remoción de material tanto por abrasión como por arranque de viruta.

Una fresadora puede utilizarse en una variedad amplia de materiales: usualmente se aplica a metales, como el acero y el bronce y también en maderas y plásticos.

Se reconoce como la primera de estas máquinas la inventada por Eli Whitney en 1818, figura 2.19, para poder cumplir el encargo del gobierno de Estados Unidos de América de producir 10.000 rifles de manera masiva a un precio bajo. Para la época, la producción de armas se realizaba artesanalmente con gran cantidad de trabajo manual. En cambio con el uso de la fresadora las partes constituyentes de las armas se podían fabricar siguiendo un patrón y así acelerar la producción.

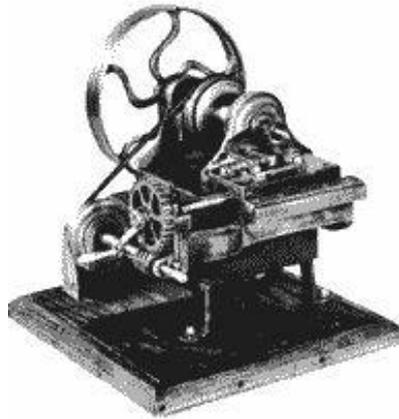


Figura 2.19 Fresadora de Eli Whitney.

Posteriormente, ese tipo de máquina-herramienta evolucionó permitiendo realizar distintas clases de mecanizado, y en consecuencia nacieron diferentes fresadoras para poder cubrir las necesidades crecientes:

- Por orientación de la fresa.
- Por el número de ejes.
- Especiales.

Fresadora por Orientación de la Fresa:

Las fresadoras horizontales constan de una columna donde una fresa cilíndrica es soportada en un extremo y en el otro por un rodamiento. La función principal de este aparato es la producción de ranuras de distinto grosor, como así también varias de aquellas al mismo tiempo con fresas especiales paralelas, que se conocen como “tren de fresado”, mejorando de esta manera la productividad del trabajo.

Las fresadoras verticales por su parte poseen el husillo portaherramientas de modo que la fresa gira sobre su eje horizontal y perpendicular a la pieza. Una característica de esta herramienta es la posibilidad de moverse verticalmente, pues sube la mesa con la pieza o el cabezal desciende hacia aquella.

Se conocen dos subtipos de esta máquina. Por un lado se encuentra la fresadora vertical de banco fijo, cuya particularidad es que su cabezal se encuentre sin más movimiento que el de la fresa, entonces los movimientos que crean el mecanizado sólo proceden de la mesa.

Por otro lado, está la fresadora vertical de torreta, que se diferencia de la anterior porque su cabezal puede hacer un movimiento horizontal de 180° con respecto al eje horizontal de la pieza.

Por último, hallamos las fresadoras universales, cuya particularidad es que tienen dos portaherramientas: el primero se halla en el cabezal, donde se encuentra el husillo para la fresa, con un amplio rango de movimientos en distintas direcciones, tanto horizontales como verticales. El segundo está en su mesa con el parecido de un torno, donde se coloca la pieza a mecanizar. Con ambos portaherramientas juntos funcionando, se puede crear piezas de una complejidad asombrosa. Se destaca esta fresadora de las anteriores por su versatilidad a la hora del trabajo.

Fresadoras por Eje:

Dependiendo de su capacidad de mover la fresa a través de la pieza, las fresadoras se dividen en las siguientes familias, en la figura 2.20 vemos un ejemplo de fresadora por ejes.

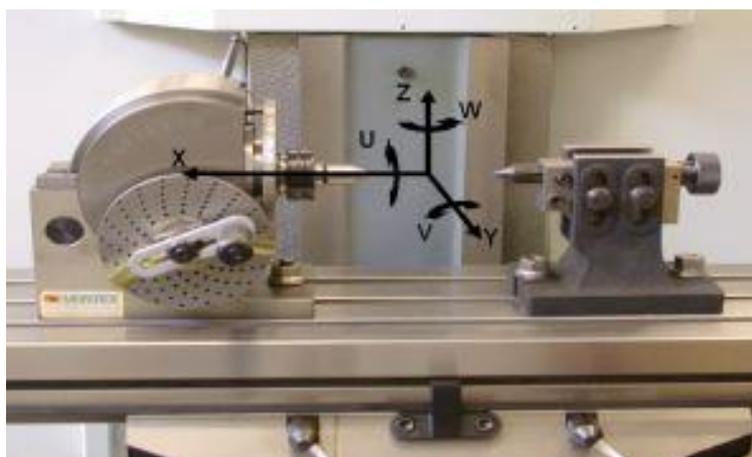


Figura 2.20 Fresadora por ejes.

Fresadoras de tres ejes: estas máquinas se caracterizan porque su capacidad de mecanizado se orienta a través de los tres planos del eje cartesiano. En la fotografía que más arriba aparece, se evidencian los cinco ejes por los que una

fresadora puede mecanizar, una de tres ejes puede hacerlo de costado (X), en profundidad (Y) y en movimiento vertical (Z), sea este producido por el cabezal que desciende como la mesa que sube hacia aquél.

Las de cuatro ejes: en este caso el aparato puede fresar a través de los tres ejes anteriores, más un eje circular desde el centro del cabezal con la fresa trabajando en vertical que puede ir hacia la derecha (W) como hacia la izquierda (V).

Las de cinco ejes: las de este tipo poseen los mismos ejes de movimiento que las anteriores, pero incluye un movimiento rotatorio horizontal de la pieza para que sea combinado con los otros para crear mecanizados de mayor complejidad.

Fresadoras especiales:

Cabe destacarse que el universo de las fresadoras no se limita a las familias antes aludidas, sino que existe una variedad de las mismas para alcanzar objetivos de mecanizado puntuales.

Un modelo particular es la fresadora para madera, se utiliza en bricolaje y carpintería especialmente para hacer ranuras en superficies planas o colas de milano. Usa fresas para madera con la particularidad que sus dientes son más grandes y espaciados con respecto a las de metal, debido a que tienen que evacuar viruta.

Otro modelo es la copiadora. Aquí existen dos mesas, en una se posiciona un modelo y hay un “palpador”, en la otra mesa se posiciona la pieza a mecanizar y la fresa. El palpador contornea al modelo y la forma de este se replica en la pieza gracias a la acción de la fresa.

Las fresadoras circulares tienen la particularidad que su mesa giratoria permite hacer operaciones de mecanizado con un cabezal con uno o más portaherramientas.

Para trabajar con piezas grandes en tamaño, se diseñaron fresadoras de puente móvil, cuyo cabezal se mueve como si fuera una grúa para alcanzar distintos puntos a mecanizar.

Finalmente, se hallan las fresadoras de control numérico por computadora (**CNC**) cuya característica es que el ordenador posee un modelo diseñado digitalmente y que luego lo copia a la pieza. Son máquinas destinadas a producir altísima cantidad de piezas con un elevado nivel de precisión pues los movimientos son guiados por el modelo en la memoria de la máquina.

Dentro de este último grupo podemos encuadrar nuestra fresadora, ya que se trata de una máquina CNC. El conjunto de la herramienta se encuentra constituido por dos partes, podemos ver dicho conjunto en la figura 2.21:



Figura 2.21 Fresadora especial utilizada en el trabajo.

- Por una parte tenemos una amoladora recta marca BOSCH, modelo GGS 28 CE Profesional [12], que producirá el movimiento giratorio sobre la fresa y que ira situada en el extremos del robot CNC, podemos ver una imagen de ella en la figura 2.22. A continuación, en la tabla 2.8 se detallan las características más relevantes de dicha herramienta:

Tabla 2.8 Datos técnicos amoladora BOSCH

Datos técnicos: GGS 28 CE Profesional	
Velocidad de giro en vacío	10.000 – 28.000 rpm
Portaherramientas	Pinzas de sujeción hasta 8 mm de diámetro
Potencia absorbida	650 W
Potencia útil	380 W
Diámetro del cuello del husillo	43 mm
Peso	1'4 kg
Diámetro máx. de pinza de sujeción	8 mm
Diámetro máx. de muela abrasiva	50 mm
Cara de la tuerca tensora	19 mm ²
Cara del usillo amolador	19 mm ²
Interruptor	2 vías



Figura 2.22 Amoladora recta BOSCH modelo GS 28 CE Professional.

- La segunda parte del conjunto de la herramienta estaría formado por una carcasa de acero inoxidable que recubre la amoladora, y que podemos ver en la figura 2.23. Esta carcasa se encuentra fijada al extremo del robot y dentro de esta fijamos la amoladora, de este modo proporcionamos cierta protección a la amoladora frente a impactos y acumulación de polvo y virutas que se puedan desprender del material fresado. Otra ventaja que nos ofrece esta carcasa, es que poseemos una base fija sobre la que hacer cambios de herramienta o amoladora, que nos ayuda a no variar las dimensiones del conjunto, manteniendo el sistema de coordenadas que actúa sobre el material sin variaciones.



Figura 2.23 Carcasa de la amoladora.

3 PROCESO DE CORTE Y FRESADO

En este apartado detallaremos los pasos llevados a cabo para el mecanizado de piezas, tanto en tareas de corte como de fresado, mediante un robot KUKA KR 60-3. Para recoger todas las posibilidades que podamos encontrar a la hora de realizar este tipo de tareas, explicaremos estas tareas mediante tres ejemplos prácticos que serán:

- Proceso de corte en plancha de material, utilizando 3 ejes del robot.
- Fresado de pieza a partir de bloque cubico de material, utilizando 3 ejes del robot.
- Fresado de pieza a partir de bloque cilíndrico de material, utilizando 5 ejes del robot con eje externo rotatorio.

3.1 Flujo del proceso de corte

En este apartado trataremos los procedimientos llevados a cabo por el robot KUKA KR 60-3 para el corte de piezas en dos dimensiones mediante cortadora de plasma, desde la fase de diseño de la pieza hasta el mecanizado físico de la misma.

3.1.1 Diseño de la pieza

Para diseñar la pieza usaremos cualquier programa de diseño que nos permita dar como formato de salida al archivo el formato DXF. En nuestro caso hemos usado el programa de diseño AutoCAD 2014, mediante el cual hemos diseñado el conjunto de piezas que podemos observar en la figura 3.1.

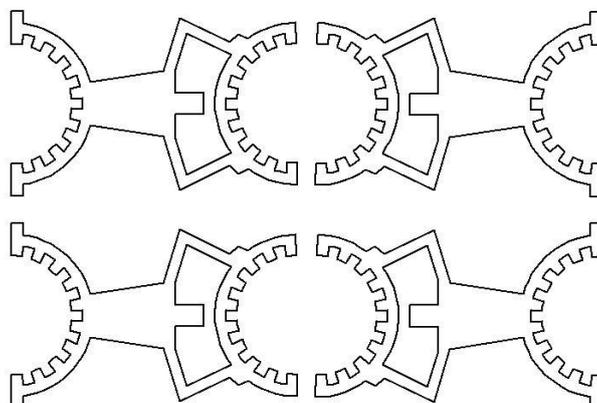


Figura 3.1 Conjunto de piezas para corte.

Observando la figura 3.2 podemos ver la dimensión en mm de cada pieza e intuir la de su conjunto, de esta forma podremos verificar que el espacio de trabajo elegido es el adecuado para que el robot pueda realizar la ejecución de la tarea sin poner en riesgo cualquier objeto que se encuentre a su alrededor.

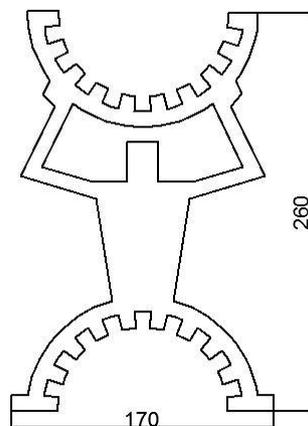


Figura 3.2 Dimensiones de cada pieza.

Fijándonos en la figura 3.2 podemos afirmar que el espacio de trabajo que escojamos deberá contar al menos, para el conjunto de cuatro piezas, de unas dimensiones en el plano XY de 340 x 520 mm.

3.1.2 Obtención de las trayectorias de mecanizado

Para la obtención de las trayectorias de mecanizado utilizaremos el software “dxf2gcode”, que nos proporcionará un archivo en formato NGC con las trayectorias de mecanizado en lenguaje de programación g-code.

Para obtener el archivo NGC con el programa “dxf2gcode” a partir del DXF, seguiremos los pasos siguientes:

- 1 Al abrir el programa, buscamos el archivo DXF donde se encuentra el diseño de la pieza que deseamos mecanizar, para ello nos iremos a la pestaña de “File” y seleccionaremos “Load File”, buscamos nuestro archivo DXF y lo abrimos. Al abrir el archivo nos aparecerá la imagen del diseño de la pieza a la derecha y a la izquierda nos mostrará el número de pases que debe realizar el robot para mecanizar la pieza, en la figura 3.3 podemos ver lo descrito anteriormente. Cada pase, llamado por defecto “Shape”, indica el movimiento con la herramienta activada que aplica el robot a la pieza de forma continua, es decir, un pase comenzará cuando la herramienta empieza a actuar sobre la pieza y acabará al elevar la herramienta para dejar de actuar sobre la misma, ya sea para desplazarse por la pieza sin actuar sobre esta o porque el mecanizado de la pieza ya haya finalizado.

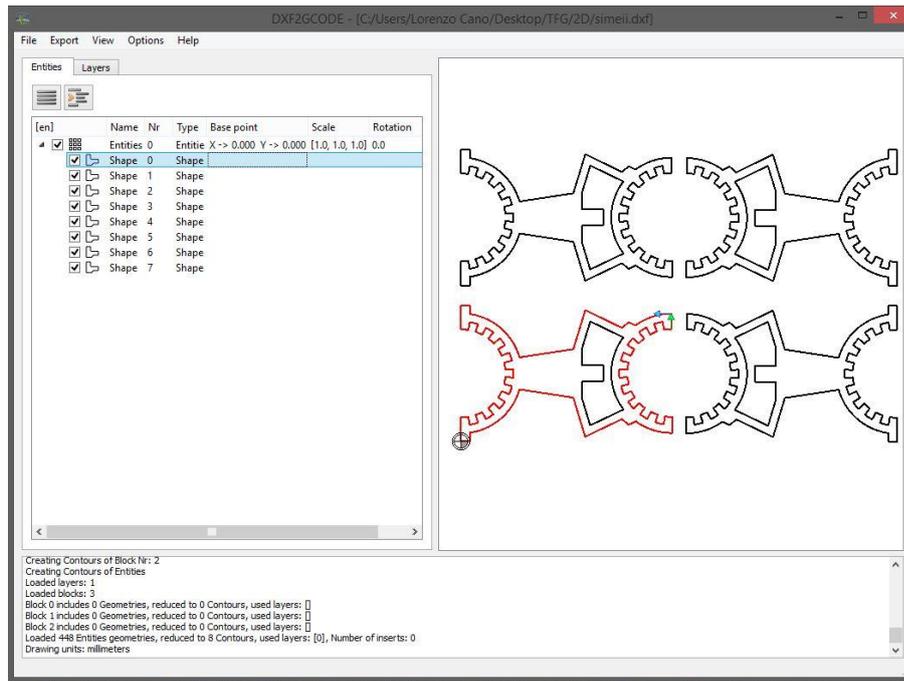


Figura 3.3 Programa dxf2gcode con archivo DXF abierto.

2 Ajustaremos una serie de parámetros del programa; con los cuales definiremos el espesor de la plancha sobre la que se van a obtener las piezas, la profundidad del corte y la longitud de retracción de la herramienta. En la figura 3.4 vemos los parámetros descritos anteriormente y algunos más, los parámetros no especificados se dejarán por defecto, ya que al meter el programa en el simulador, estando este compuesto por parámetros bien definidos, donde tendremos restricciones de velocidad y diámetros para el tipo de robot y herramienta seleccionados, este ya nos calculará la velocidad óptima de mecanizado. Los parámetros a modificar serán los siguientes:

- Z Retraction area [mm]: Posición de retirada, el robot desconecta la herramienta y se desplaza la longitud indicada (en nuestro caso 25 mm) a la máxima velocidad.
- Z Workpiece top [mm]: Cota superior del espesor de la plancha sobre la que se realizarán los cortes (en nuestro caso 10 mm).
- Z Infeed depth [mm]: Profundidad de penetración, se refiere a la profundidad del corte que hace la herramienta (en nuestro caso 11 mm).
- Z Final mil depth [mm]: Cota inferior del espesor de la plancha sobre la que se realizarán los cortes (en nuestro caso 0 mm). El espesor de la plancha lo podemos obtener restando al valor de “Z Workpiece top” el

valor de “*Z Final mil depth*”. Dependiendo de este espesor y de la profundidad de corte, valor de “*Z Infeed depth*”, el programa calculará el número de pasadas necesarias para conseguir el corte completo de la pieza.

- Feed rate XY [mm/min]: Velocidad en el plano XY (en nuestro caso 400 mm/min).
- Feed rate Z [mm/min]: Velocidad en la dirección Z (en nuestro caso 150 mm/min).

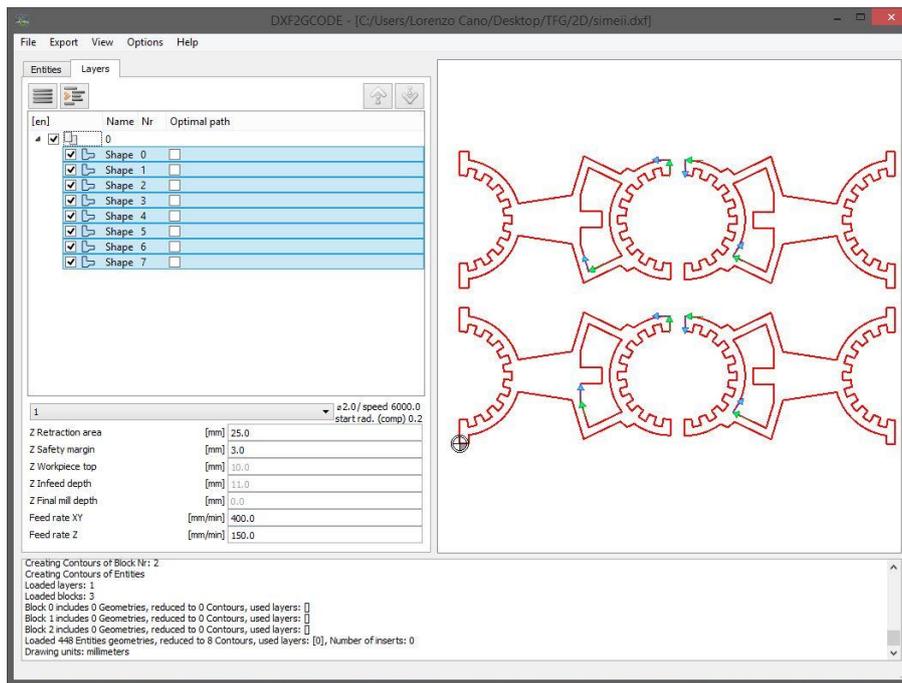


Figura 3.4 Parámetros de corte dxfrcode.

- 3 Por último, una vez configurados los parámetros descritos en el punto anterior, nos iremos a la pestaña “*Export*” y seleccionaremos “*Export shapes*”, de esta forma obtendremos el archivo NGC donde se encontrará nuestro programa en G-code. Una vez exportado el archivo, el interface del programa nos muestra el camino que seguirá la herramienta cuando esté desactivada para pasar de un pase a otro, como se puede ver en la figura 3.5.

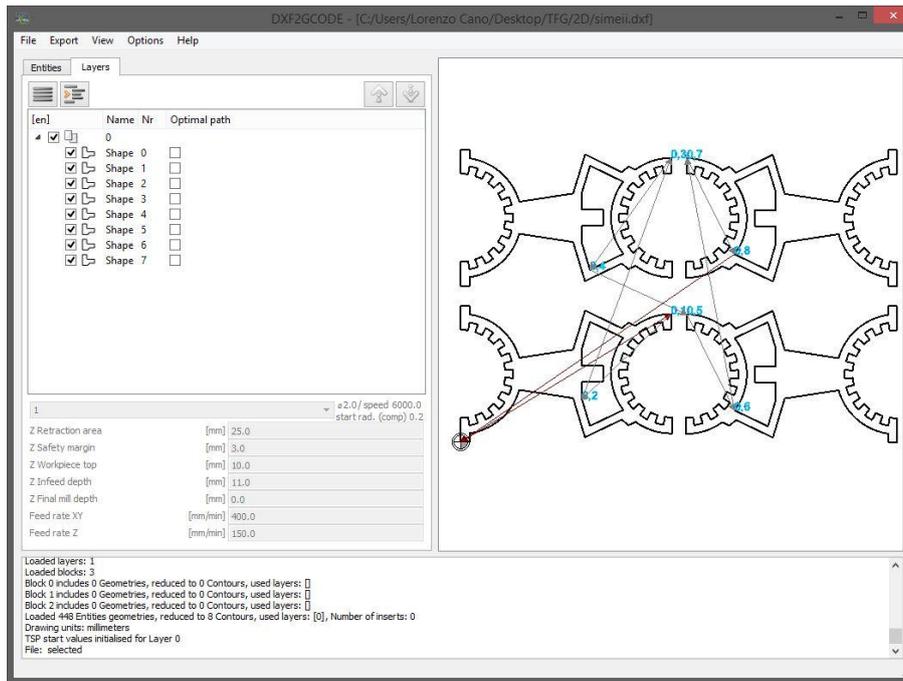


Figura 3.5 Interface dxf2gcode una vez exportado a NGC.

El archivo NGC que obtenemos, puede ser abierto por un editor de texto y modificarlo siempre que sigamos correctamente las normas del lenguaje de programación G-code, en la tabla 3.1 podemos observar un fragmento comentado del programa obtenido.

Tabla 3.1 Archivo NGC

G0 X 260.092 Y 159.680	Posicionamiento rápido a las coordenada X, Y
M3 M8	Activación de herramienta y refrigerante
G0 Z 13.000	Posicionamiento rápido a la coordenada Z
F150	Velocidad al 150%
G1 Z 0.000	Movimiento lineal a la coordenada Z
F400	Velocidad al 400%
G3 X 215.986 Y 144.926 I 0.419 J -74.558	Movimiento circular antihorario, punto final X,Y y punto inicial I,J
G1 X 207.499 Y 149.069	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 199.416 Y 141.887	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 153.835 Y 164.137	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 139.038 Y 115.307	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 72.284 Y 105.000	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G3 X 10.699 Y 159.233 I -72.284 J -20.000	Movimiento circular antihorario, punto final X,Y y punto inicial I,J
G1 X 10.699 Y 170.000	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 0.000 Y 170.000	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 0.000 Y 160.000	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 0.000 Y 150.000	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G1 X 0.000 Y 140.000	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G2 X 9.053 Y 139.250 I -0.000 J -55.000	Movimiento circular horario, punto final X,Y y punto inicial I,J
G1 X 10.699 Y 149.113	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G2 X 21.105 Y 146.478 I -10.699 J -64.113	Movimiento circular horario, punto final X,Y y punto inicial I,J
G1 X 17.858 Y 137.020	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G2 X 26.177 Y 133.371 I -17.858 J -52.020	Movimiento circular horario, punto final X,Y y punto inicial I,J
G1 X 30.937 Y 142.166	Movimiento lineal a las coordenadas X, Y
G2 X 39.924 Y 136.294 I -30.937 J -57.166	Movimiento circular horario, punto final X,Y y punto inicial I,J

3.1.3 Obtención del programa en lenguaje KRL

Una vez tenemos el programa de mecanizado de nuestra pieza en g-code, pasamos a introducirlo en el robot.

Recordemos que para ello utilizaremos el programa IRBCAM 2012B, que nos permitirá pasar del lenguaje de programación G al lenguaje de programación específico del robot, que para el caso de los robots KUKA se trata del lenguaje KRL. En el programa crearemos un entorno de trabajo equivalente al que tendremos en la realidad, de forma que podamos simular correctamente el mecanizado de la pieza.

Para crear el modelo de simulación, compuesto por el robot y el entorno de trabajo, seguiremos los pasos siguientes:

- 1 Al ejecutar el programa, deberemos elegir entre dos opciones, una “*open save station*” (abrir estación guardada) y otra “*new station wizard*” (asistente para crear nueva estación). Elegiremos “*new station wizard*” como muestra la figura 3.6.

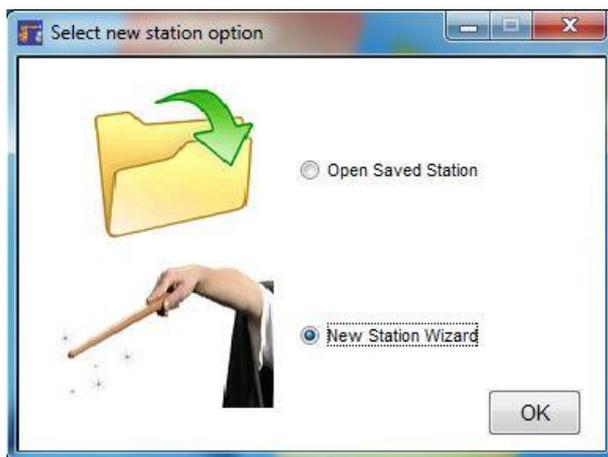


Figura 3.6 Elección de estación de simulación.

- 2 A continuación nos da la opción de poner el robot sobre un carril guía, para poder desplazar la base del robot de forma lineal. En nuestro caso, como muestra la figura 3.7, elegiremos la opción “*station without linear track*”, ya que queremos que la base del robot para nuestro caso sea fija.

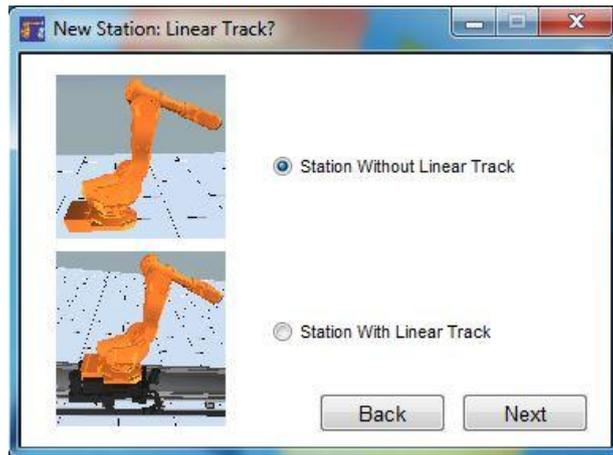


Figura 3.7 Elección de carril guía.

3 El siguiente paso será la elección del robot, especificando para el modelo elegido la localización de la base y la orientación del robot. En nuestro caso, como muestra la figura 3.8, elegiremos el robot KUKA-KR60-3 especificando los siguientes parámetros:

- Robot Position: X: 0,00 mm; Y: 0,00 mm; Z: 0,00 mm.
- Robot Angles: RX: 0,00 deg; RY: 0,00 deg; RZ: 0,00 deg.

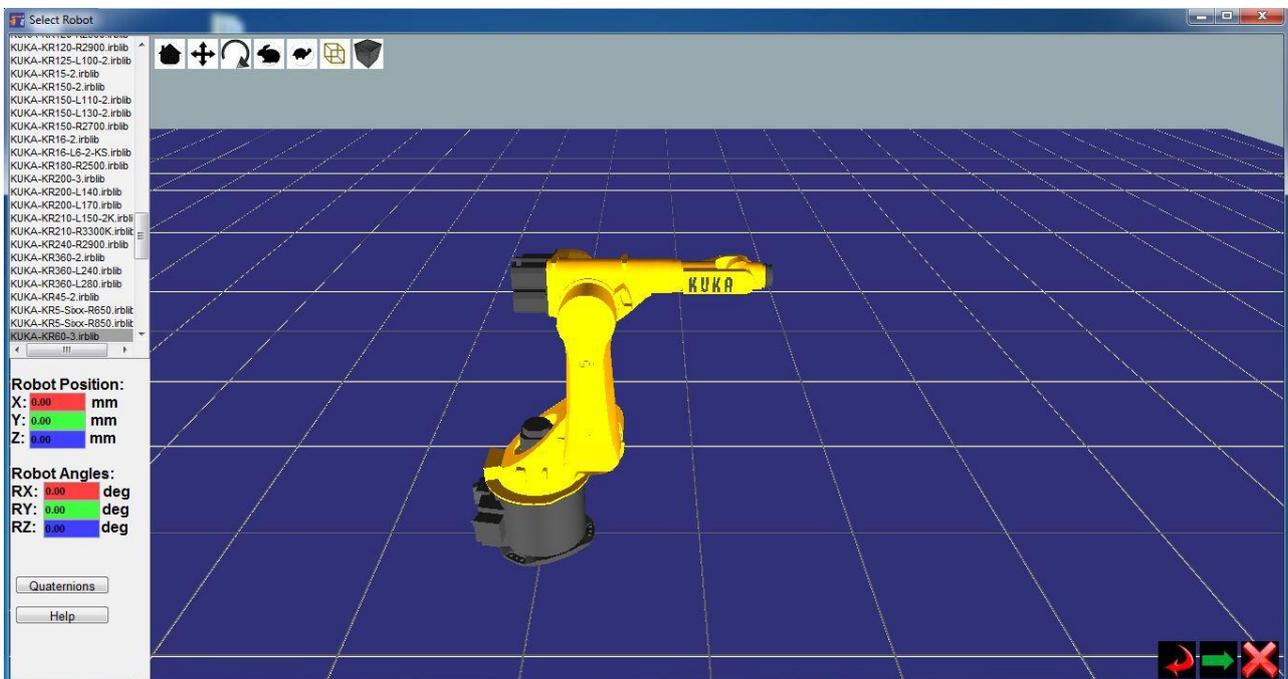


Figura 3.8 Elección y situación del robot.

4 Una vez especificado el robot, pasaremos a la elección de la herramienta, en este paso detallaremos las dimensiones de la herramienta, que para nuestro

caso, solo nos interesa especificar el extremo de la herramienta, que será la parte que actúe en el proceso. Para ello, como se puede observar en la figura 3.9, elegiremos como tipo de herramienta la opción “*Spindle-Generic*”, que se trata de una herramienta genérica a la cual le damos nosotros las dimensiones que queramos, con el fin de aproximar las dimensiones de dicha herramienta con las dimensiones de la herramienta real, consiguiendo que en el modelo de simulación el punto de actuación del robot sobre la plancha tenga las mismas coordenadas respecto a la base del robot que en el sistema real. Los parámetros que modificaremos serán los siguientes, los valores son intuitivos debido a que no conocemos medidas reales de la herramienta:

- Tool position: X: 0,00 mm; Y:0,00 mm; Z: 300,00 mm.
- Tool Angles: RX: 0,00 deg; RY: 0,00 deg; RZ: 0,00 deg.

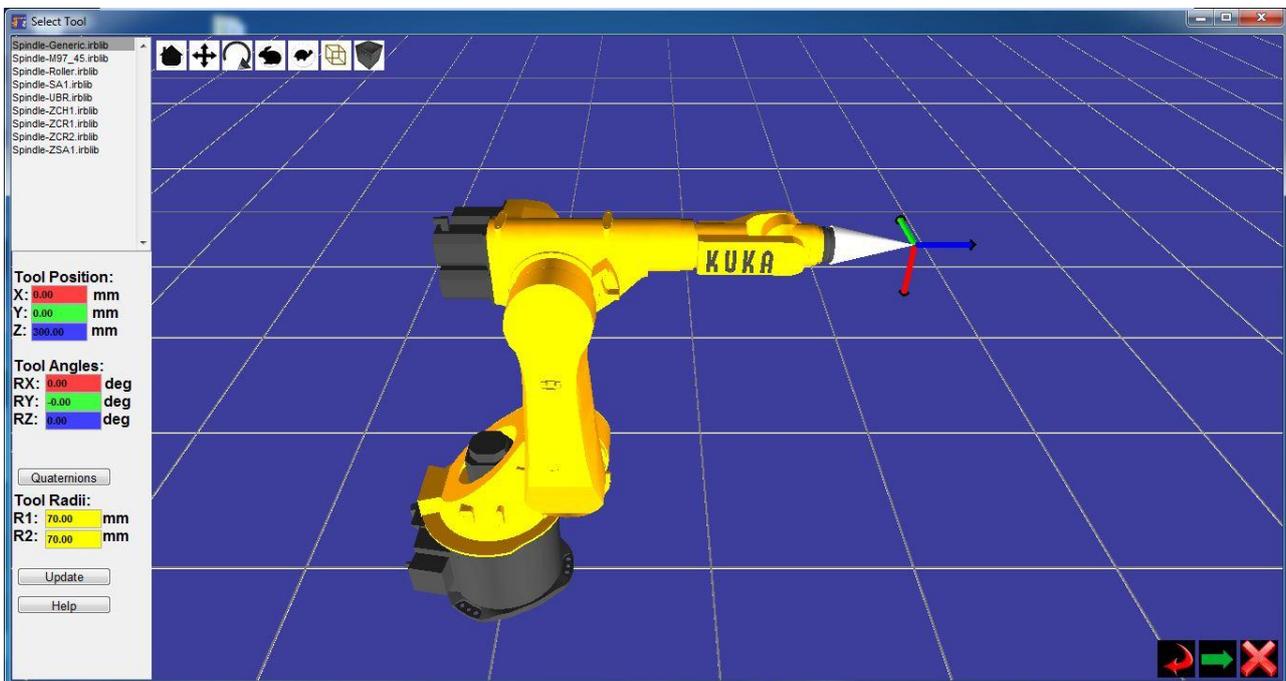


Figura 3.9 Elección y especificación de la herramienta.

- 5 A continuación el programa nos pregunta si queremos definir un eje externo, que puede ser una base rotatoria sobre la que colocar la pieza o una base plana sobre la que se mecanizará la pieza. En nuestro caso dispondremos de una base plana sobre la que colocaremos las planchas para mecanizado, por tanto, como se muestra en la figura 3.10, elegimos la opción de “*Station With Actuated Table*”. Una vez elegida la mesa de trabajo, como se observa en la figura 3.11, especificaremos la dimensión, situación y orientación de la misma mediante la especificación de los siguientes parámetros, que hace referencia a una mesa de 2x2 m de superficie y 0,8 m de altura:

- Table Position: X: 2000,00 mm; Y: 0,00 mm; Z: 800,00 mm.
- Table Angles: RX: 0,00 deg; RY: 0,00 deg; RZ: 0,00 deg.
- Width: 2000,00 mm; Length: 2000,00 mm; Height: 800,00 mm.

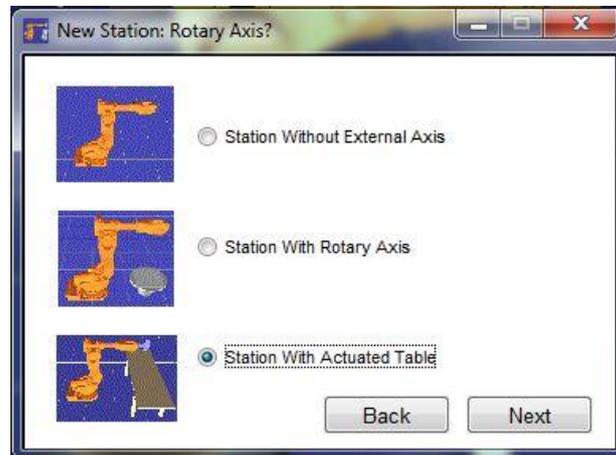


Figura 3.10 Elección mesa de trabajo.

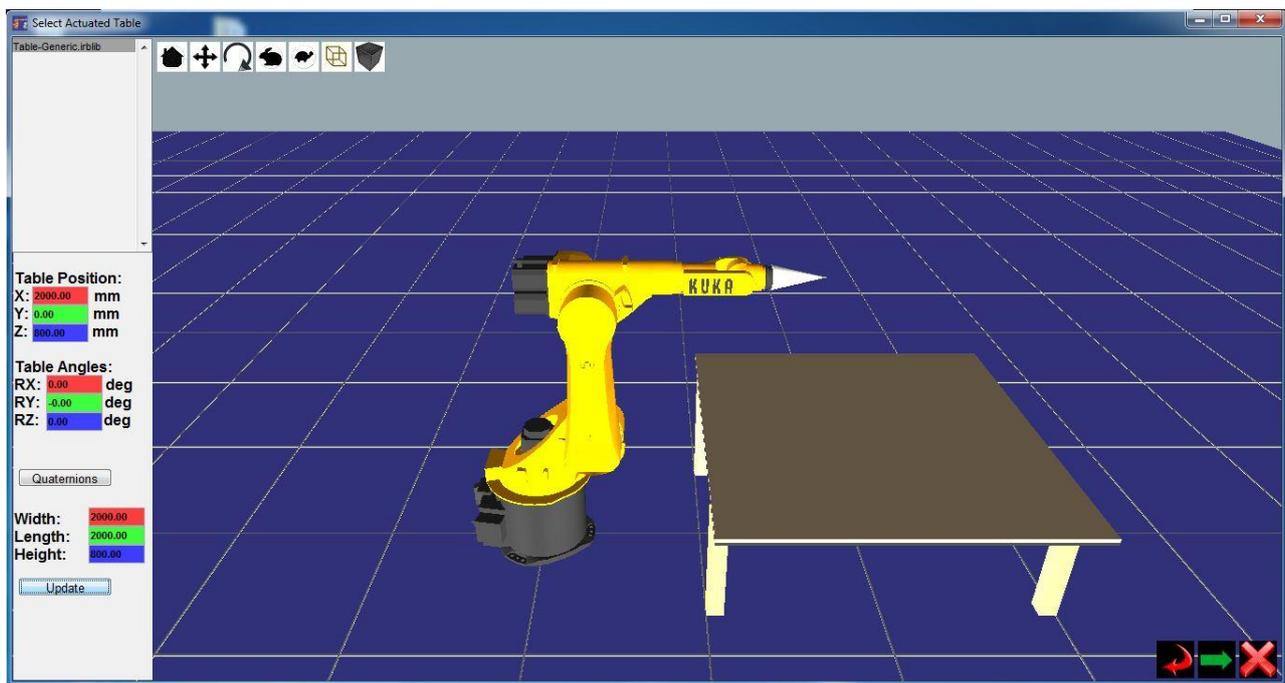


Figura 3.11 Especificación parámetros de la mesa de trabajo.

6 Lo siguiente que nos pregunta el programa es si queremos implantar un objeto de usuario, estos objetos ayudan a la visualización del mecanizado de la pieza, para ello el objeto diseñado debe estar en un tipo de formato específico llamado "irbllib", para nuestro caso elegiremos la opción sin objeto

de usuario, como se muestra en la figura 3.12 corresponde a la opción “*Station Without Object*”.

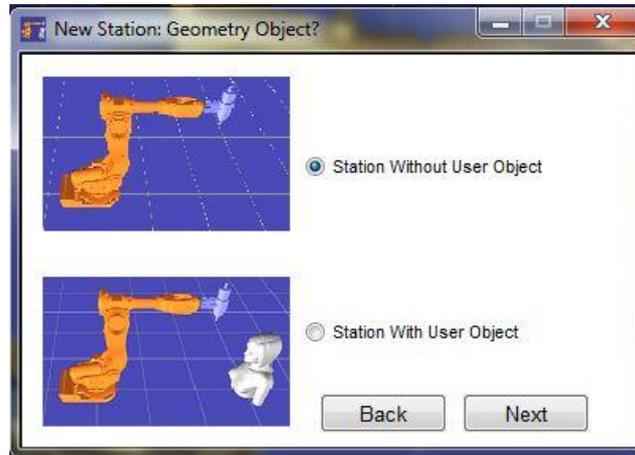


Figura 3.12 Elección objeto de usuario.

- 7 A continuación, el programa nos pregunta si queremos definir algún cubo, estos cubos nos ayudarán a aproximar más el sistema simulado al sistema real, ya que con los cubos podremos colocar en el entorno de simulación cuerpos rígidos (vallas de seguridad, mesas, cajas, muebles fijos, etc.) que se encuentren en el entorno de trabajo real. En nuestro caso no definiremos ningún cubo, seleccionaremos la opción “*No More Cubes*” como muestra la figura 3.13. Con la definición de los cubos, finalizamos la configuración del entorno de trabajo en el sistema de simulación.

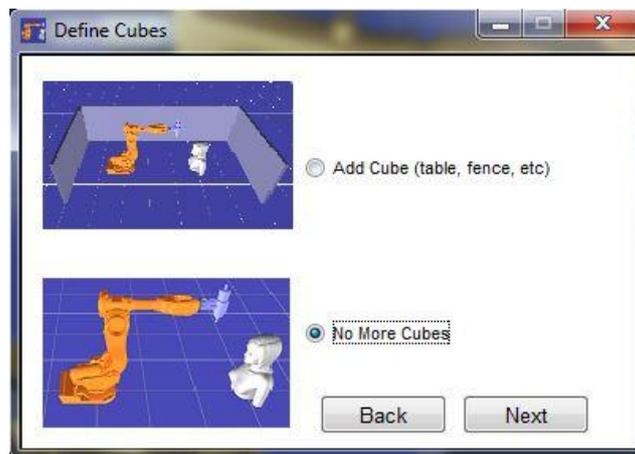


Figura 3.13 Elección de cubos.

- 8 Una vez terminado el sistema de simulación para nuestro entorno de trabajo, pasamos a abrir el fichero que contiene el programa para mecanizar nuestra pieza mediante máquinas CNC. Este programa no utiliza los archivos NGC, que recordemos tienen las trayectorias de la herramienta de mecanizado en lenguaje de programación G, sino que utiliza un tipo de archivo APT para

definir dichas trayectorias. Para pasar el archivo NGC al formato APT, el propio programa nos facilita la conversión, para ello nos iremos a la pestaña “File”, seleccionamos “APT” y seguido escogemos la opción “G-Code to APT”, con esta función crearemos un archivo APT a partir de nuestro archivo NGC. El archivo APT se puede abrir como archivo de texto, en la tabla 3.2 podemos visualizar un fragmento comentado del contenido de dicho archivo, que equivaldría al fragmento visto en g-code en la tabla 3.1.

Tabla 3.2 Archivo APT

RAPID	Posicionamiento
GOTO/260.09,159.68,15.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
SPINDL/RPM,0,CLW	Velocidad de herramienta 0
RAPID	Posicionamiento
GOTO/260.09,159.68,13.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
FEDRAT/MMPM,150.00	Velocidad de avance en mmpm ¹ al 150%
GOTO/260.09,159.68,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
FEDRAT/MMPM,400.00	Velocidad de avance en mmpm ¹ al 400%
CIRCLE/260.511000000,85.122000000,0.000000000,0.000000,0.000000,1.000000,74.559	Movimiento circular antihorario
GOTO/215.99,144.93,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/207.50,149.07,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/199.42,141.89,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/153.84,164.14,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/139.04,115.31,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/72.28,105.00,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
CIRCLE/0.000000000,85.000000000,0.000000000,0.000000,0.000000,1.000000,75.000	Movimiento circular antihorario
GOTO/10.70,159.23,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/10.70,170.00,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/0.00,170.00,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/0.00,160.00,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/0.00,150.00,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/0.00,140.00,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
CIRCLE/0.000000000,85.000000000,0.000000000,-0.000000,-0.000000,-1.000000,55.000	Movimiento circular horario
GOTO/9.05,139.25,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/10.70,149.11,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
CIRCLE/0.000000000,85.000000000,0.000000000,-0.000000,-0.000000,-1.000000,65.000	Movimiento circular horario
GOTO/21.11,146.48,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/17.86,137.02,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
CIRCLE/0.000000000,85.000000000,0.000000000,-0.000000,-0.000000,-1.000000,55.000	Movimiento circular horario
GOTO/26.18,133.37,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
GOTO/30.94,142.17,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal
CIRCLE/0.000000000,85.000000000,0.000000000,-0.000000,-0.000000,-1.000000,65.000	Movimiento circular horario
GOTO/39.92,136.29,0.00,0.000000,0.000000,1.000000	Movimiento lineal

¹ mmpm: milímetros por minuto.

- Para abrir el archivo APT, nos iremos a la pestaña de “File”, seleccionamos “APT” y elegimos la opción “Load APT”. Al abrir el archivo, el programa nos pregunta que distancia mínima queremos entre los puntos, mediante una ventana como la que se puede observar en la figura 3.14, estos puntos son creados por el programa teniendo en cuenta las trayectorias especificadas en el archivo APT, podremos modificar el número de puntos que conformarán nuestro mecanizado variando la distancia entre los puntos, con esto conseguimos modificar tiempo y calidad en el mecanizado de la pieza, ya que, por ejemplo, al tener mayor distancia entre puntos, tendremos menos puntos necesarios para completar la trayectoria completa de mecanizado, esto posibilita que pueda disminuir la calidad de la pieza producida, debido a que al haber menos puntos en las trayectorias y mayor distancia entre ellos, aumenta la posibilidad de que se cuele algún detalle de la pieza entre dos de los puntos.

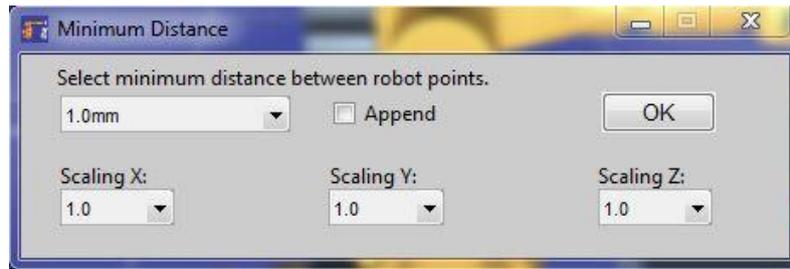


Figura 3.14 Distancia mínima entre puntos.

10 Elegida la distancia mínima entre los puntos, nos aparecerá a la izquierda una lista numerada en color rojo, esta lista hace referencia a todos los puntos que el programa ha creado para completar la trayectoria de mecanizado, el color rojo indica que no ha sido verificada la posibilidad de que la herramienta del robot pueda situarse en ese punto.

Antes de verificar el programa, ajustaremos el sistema de coordenadas donde se situará la pieza a mecanizar, que por defecto se encuentra en el centro de la mesa. Para cambiar los valores de los parámetros del sistema de coordenadas del objeto a mecanizar nos vamos a la pestaña “*Edit*” y seleccionamos “*User Frame*”, donde configuraremos los siguientes parámetros:

- X: -800,00 mm; Y: 0,00 mm; Z: 0,00 mm.
- RX: 0,00 deg; RY: 0,00 deg; RZ: 0,00 deg.

En la figura 3.15 podemos ver lo descrito anteriormente.

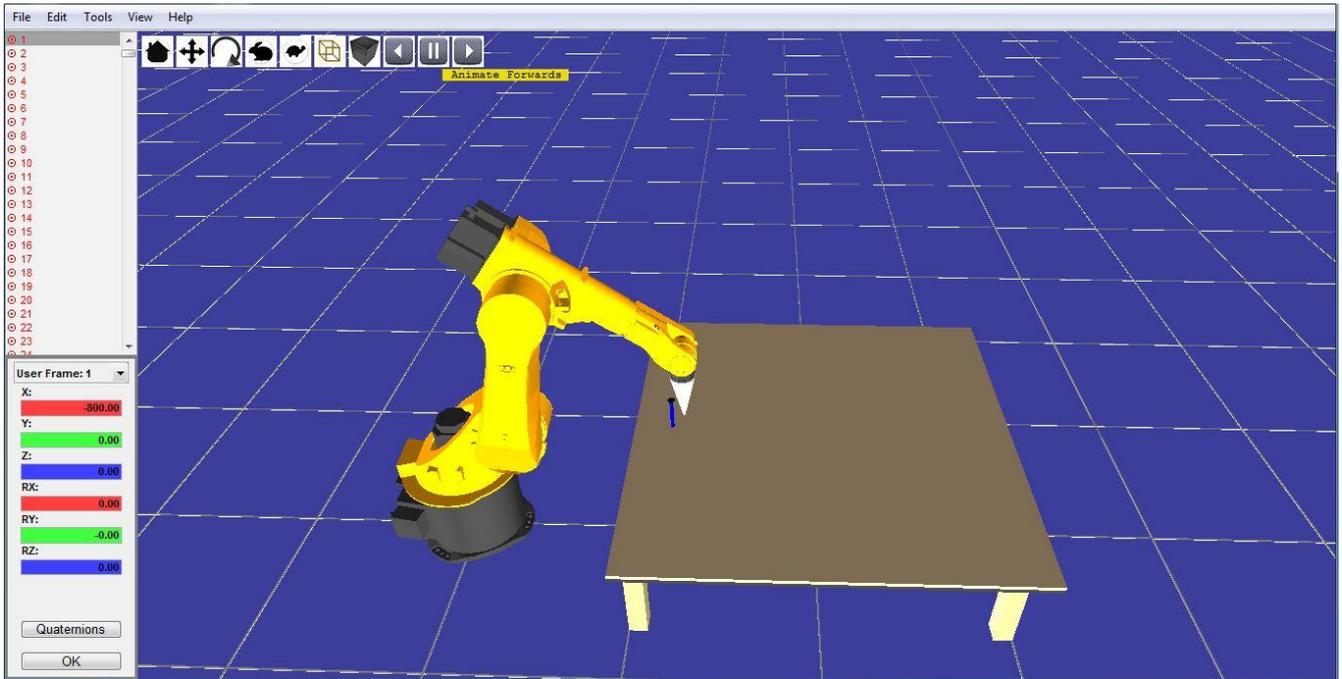


Figura 3.15 Configuración de la base del objeto a mecanizar.

11 Llegados a este punto, pasaremos a verificar que los puntos de las trayectorias son alcanzables por la herramienta del robot en el sistema de simulación descrito. Para ello nos vamos a la pestaña “Tools” y seleccionamos “Configure Path”, a continuación nos aparecerá un menú de configuración como el de la figura 3.16 donde podemos modificar parámetros como el ángulo de mecanización de la herramienta, para verificar de forma práctica el mecanizado en todos los puntos de la trayectoria. Como nuestra pieza es en 2D y la atacaremos siempre desde arriba, no hace falta que demos ningún ángulo a la herramienta descrita al principio. Al dar “OK”, nos aparecerá un mensaje, como el que se muestra en la figura 3.17, que nos indicará el número de puntos que hemos verificado con la configuración adoptada en la opción “Configure Path”. Los puntos verificados son puntos de la trayectoria de mecanizado que son alcanzables por el robot en el sistema descrito y pasarán de estar en color rojo a estar en color verde.

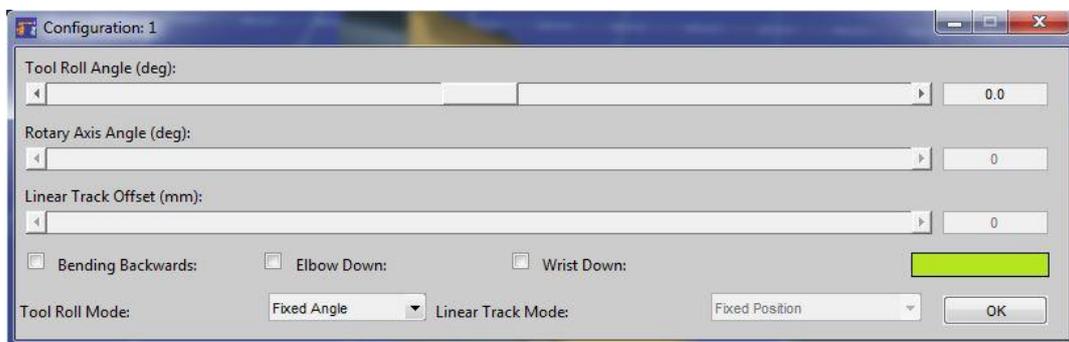


Figura 3.16 Menú de configuración “Configure Path”.

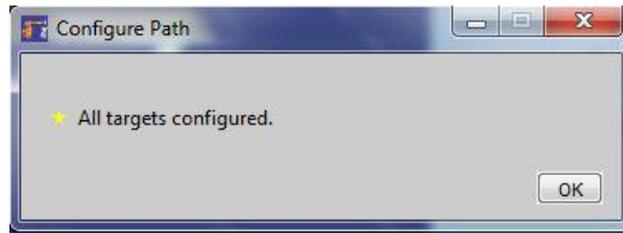


Figura 3.17 Mensaje informativo del número de puntos verificados.

12 Por último solo nos queda simular el proceso, para una visualización más completa nos iremos a la pestaña “View” y seleccionamos “Combination View”, que como podemos ver en la figura 3.18 nos mostrará cuatro ventanas; en una de ellas (superior izquierda) tendremos el sistema de simulación sólido en 3D, en otra (superior derecha) tendremos el diagrama de puntos de la trayectoria de mecanizado representado en un sistema XYZ, en otra (inferior izquierda) tendremos el diagrama de puntos de la trayectoria de mecanizado representado en un sistema XY y en otra (inferior derecha) tendremos el diagrama de puntos de la trayectoria de mecanizado representado en un sistema XZ. Para reproducir la animación de la simulación vamos a la pestaña “View” y seleccionamos “Animate Forwards”.

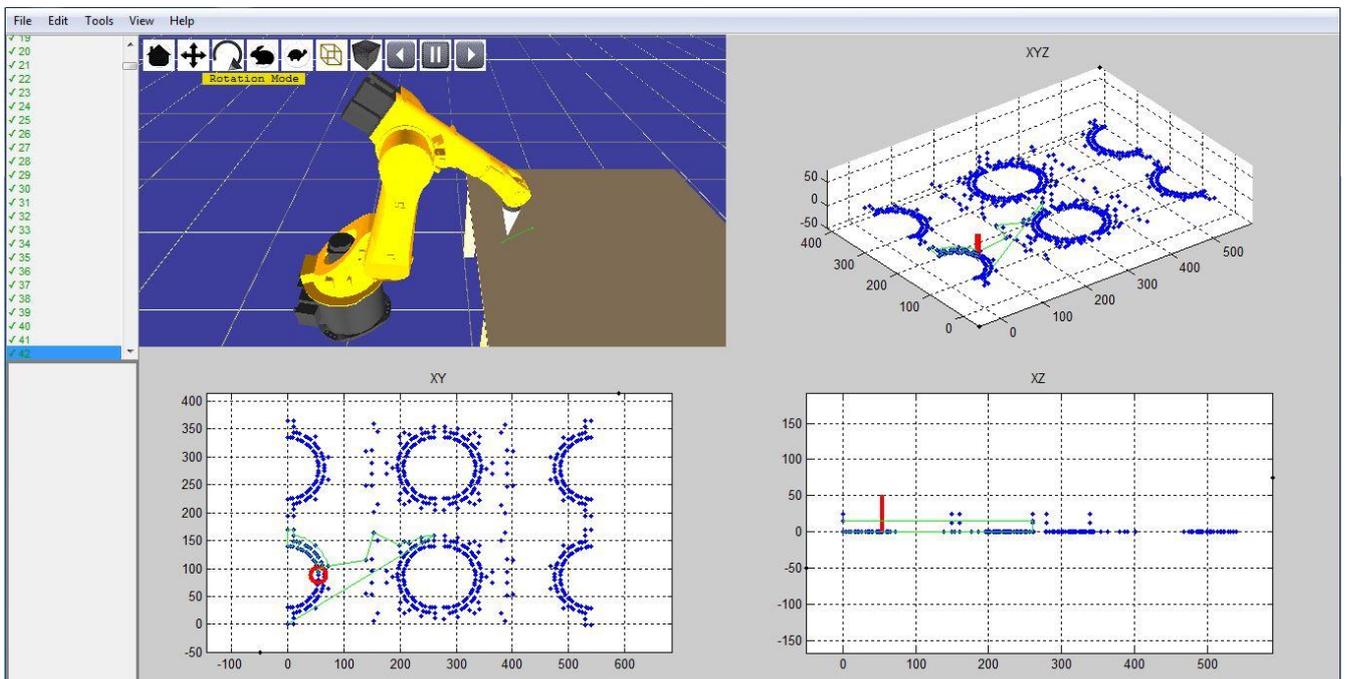


Figura 3.18 Simulación.

13 Si vamos a la pestaña “Tools” y seleccionamos “Statistics”, nos aparecerá un cuadro como el de la figura 3.19, donde podemos observar los siguientes parámetros:

- Valores mínimos y máximos que se alcanzan en los tres ejes de coordenadas.
- Número de movimientos lineales que realiza el robot durante el mecanizado (*MoveL*).
- Número de movimientos circulares que realiza el robot durante el mecanizado (*MoveC*).
- Mínima distancia lineal recorrida por la herramienta durante el mecanizado (*Shortest MoveL*).
- Máxima distancia lineal recorrida por la herramienta durante el mecanizado (*Longest MoveL*).
- Longitud total recorrida por la herramienta en la realización del mecanizado completo de la pieza (*Length of toolpath*).
- Tiempo estimado para el mecanizado de la pieza (*Estimated time*).

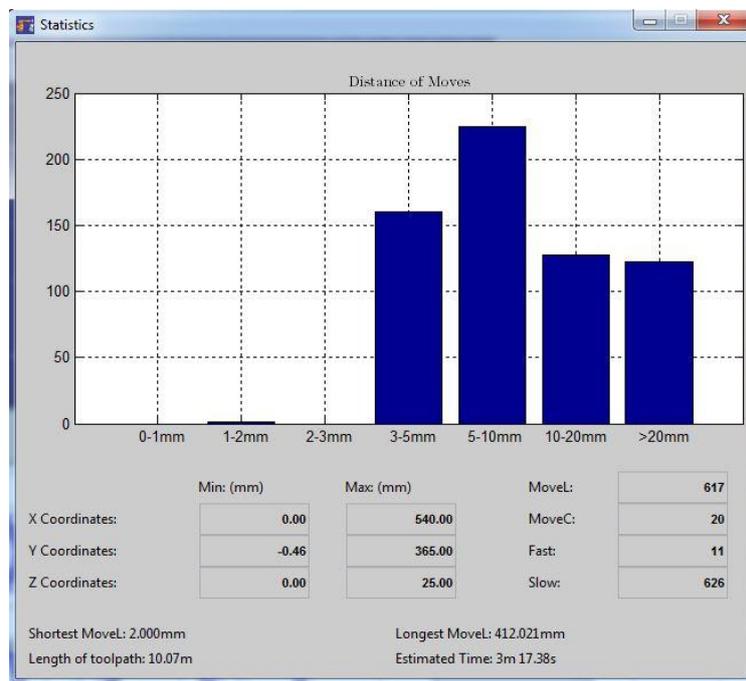


Figura 3.19 Estadísticas del proceso de mecanizado.

14 Por último, una vez tenemos bien configuradas las trayectorias y la simulación es correcta, pasamos a obtener el programa que cargaremos al robot. Para ello nos iremos a la pestaña "File", abrimos "KUKA" y seleccionamos "KRL Options", a continuación nos aparecerá una ventana,

como la de la figura 3.20, donde podemos seleccionar ciertas características del código de salida que acabaremos introduciendo en el robot, ya que por defecto el programa solo aprovecha del archivo APT la información de las trayectorias de mecanizado, dejando aspectos como el encendido de la herramienta o la velocidad del robot sin especificar, siendo el programador el encargado de hacerlo editando el programa de salida. Para facilitar estos aspectos, ya que algunas veces, por ejemplo, nos encontramos con que no es necesario ningún cambio de herramienta o la velocidad especificada en el archivo APT es incorrecta, el apartado de “*KRL Options*” tiene las siguientes opciones, que nos dan la posibilidad de tomar más o menos información del programa en APT:

- Gun On/Gun Off: Si marcamos esta casilla el programa de salida marcará cuando se debe producir una activación o desactivación de la herramienta mediante una línea de comando, nosotros mediante un subprograma podemos aprovechar esta línea de comando para conseguir que la herramienta se active o desactive.
- Set Tool Number: Si marcamos esta casilla el programa de salida marcará y numerará cada cambio de herramienta mediante una línea de comando, nosotros podemos aprovechar esta línea de comando, por ejemplo, para realizar un subprograma que detenga el robot cuando haya un cambio de herramienta y pida el accionamiento de un interruptor cuando hayamos finalizado el cambio para que pueda continuar el proceso.
- Set Spindle Speed: Si marcamos esta casilla el programa de salida marcará con una línea de comando la velocidad de la herramienta, esta velocidad no hace referencia a la velocidad de avance del robot, sino, por ejemplo, a la velocidad de rotación en el caso de fresas con velocidad regulable, podemos utilizar estas líneas de comando para modificar rápidamente la velocidad de la herramienta en el caso de no tener el resultado esperado en la pieza mecanizada.
- Speeds from APT file: Si marcamos esta casilla el programa de salida tomará como velocidades del robot las especificadas en el archivo APT, existen software, como el SURFCAM, que nos calculan la velocidad de mecanizado del robot en base a ciertos parámetros; como el tipo de material mecanizado, el tipo de herramienta, el material de la herramienta, etc.; pero, por ejemplo, puede suceder que el material que mecanizamos en la práctica sea distinto al que propusimos en la fase de diseño y por tanto requiramos velocidades distintas.

- **Cutting Speed (mm/s):** En esta casilla podemos seleccionar la velocidad mecanizado del robot en tanto por ciento, este valor solo será aplicable cuando no tengamos seleccionada la casilla “Speed from APT file”.
- **Fast Speed (mm/s):** En esta casilla podemos seleccionar la velocidad en tanto por ciento cuando el robot no actúa sobre la pieza, esta valor solo será aplicable cuando no tengamos seleccionada la casilla “Speed from APT file”.
- **Select Number of Lines in Each File:** En esta casilla seleccionaremos el número de líneas por archivo de salida, ya que para la lectura del archivo de salida el robot no admite más de 20.000 líneas de código, dándonos la opción de decidir nosotros, cuando sea necesario partir el programa, elegir el número de particiones.

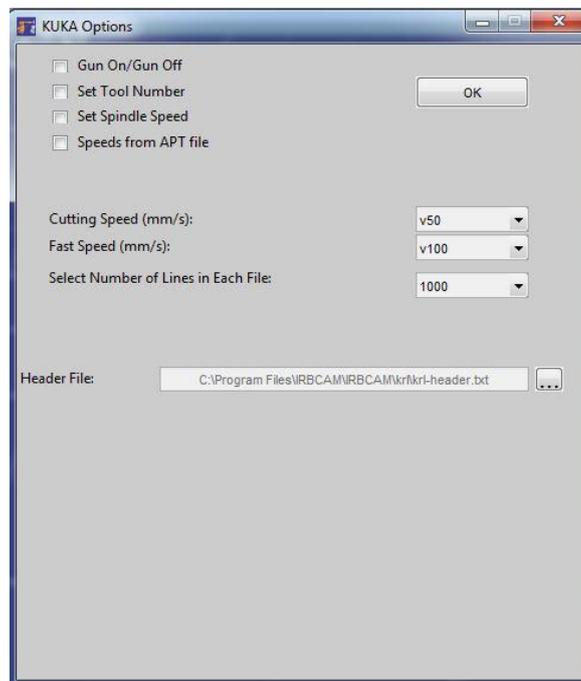


Figura 3.20 Opciones del programa de salida.

Una vez especificadas las opciones del programa de salida, lo obtenemos seleccionando “Save KRL” al abrir “KUKA” en la pestaña “File”, de esta forma ya tendremos el programa de mecanizado de la pieza que cargaremos en nuestro robot, el programa ya en lenguaje KRL que cargaremos en el robot tiene la extensión “src”, un fragmento comentado del programa se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Archivo SRC

<pre>\$BASE={X -800,Y 0,Z 20,A 0,B 0,C 0} \$TOOL={X 0,Y 0,Z 300,A 0,B 0,C 0}</pre>	<p>Base de la pieza respecto a la base del robot Base del punto de actuación de la herramienta respecto al centro de la brida de sujeción</p>
--	---

PTP {A1 -0.000,A2 -108.391,A3 133.524,A4 -180.000,A5 -64.867,A6 180.000,E1 0.000} ;BCO run	Posicionamiento a velocidad rápida especificado por el valor de cada articulación del robot
\$VEL.CP=0.10000	Velocidad del robot al 10%
LIN {X 0,Y 0,Z 15,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 26} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 260.09,Y 159.68,Z 15,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 260.09,Y 159.68,Z 13,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
\$VEL.CP=0.05000	Velocidad del robot al 5%
LIN {X 260.09,Y 159.68,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
\$VEL.CP=0.05000	Velocidad del robot al 5%
CIRC {X 236.861,Y 155.831,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27},{X 215.99,Y 144.93,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento circular
LIN {X 207.5,Y 149.07,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 199.42,Y 141.89,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 153.84,Y 164.14,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 139.04,Y 115.31,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 72.28,Y 105,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
CIRC {X 49.567,Y 141.286,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27},{X 10.7,Y 159.23,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento circular
LIN {X 10.7,Y 170,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 0,Y 170,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 0,Y 140,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 4.541,Y 139.812,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 9.05,Y 139.25,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal
LIN {X 10.7,Y 149.11,Z 0,A 0,B -180,C 0,E1 0.000,S 2,T 27} C_DIS	Movimiento lineal

3.2 Flujo del proceso de fresado

3.2.1 Fresado con 3 ejes de libertad

En este apartado recogeremos los pasos necesarios para el mecanizado de piezas 3D mediante una fresadora conectada a un robot KUKA KR 60-3 utilizando tres grados de libertad, desde la fase de diseño hasta la obtención del programa que cargaremos en el robot.

El proceso de mecanizado de la pieza se llevará a cabo con el mismo calibre en la fresadora, intentando no tener que realizar ningún cambio de herramienta durante el proceso de mecanizado. La fresa tendrá las dimensiones que se especifican en la figura 3.21, y será utilizada en todos los procesos de mecanizado.

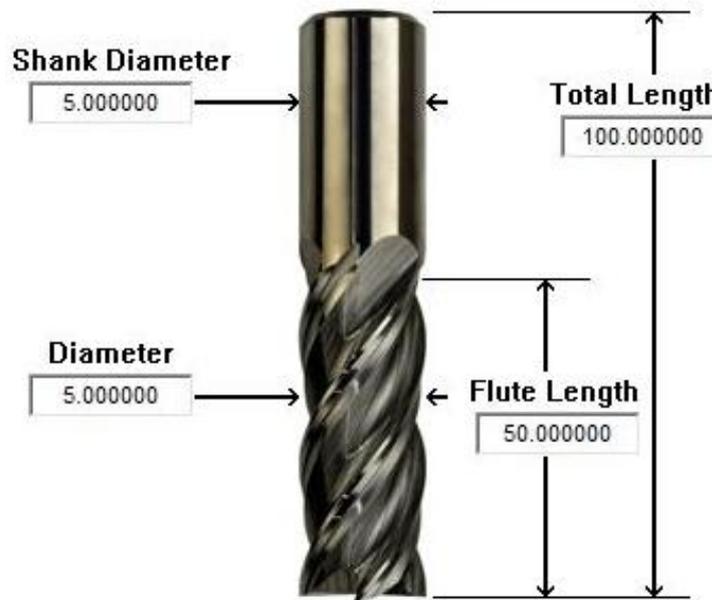


Figura 3.21 Dimensiones de la fresa.

El utilizar solo tres grados de libertad del robot nos permite hacer piezas de forma más rápida y sencilla, además de reducir el consumo eléctrico del robot debido a que necesita menos motores en funcionamiento, ya que habrá partes del robot que tengan una posición fija durante todo el mecanizado. La restricción que encontramos en la utilización de tres grados de libertad se encuentra en la anulación de poder orientar la herramienta, por tanto el diseño de la pieza nos condicionará el número de grados de libertad que tendremos que usar en el robot.

3.2.1.1 Diseño de la pieza

Para diseñar la pieza hemos utilizado el programa “Solidworks”, que nos permite crear de forma simple figuras en tres dimensiones. El diseño elegido para la pieza se muestra en la figura 3.22. En este caso, al tratarse de piezas en 3D y realizarse el mecanizado con una única fresadora, es importante conocer bien todas las dimensiones de la pieza para poder asegurar que la herramienta pueda mecanizar cualquier parte de la misma, dichas dimensiones se muestran en la figura 3.23.

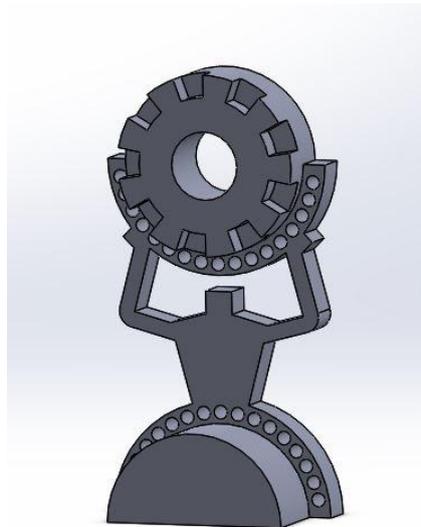


Figura 3.22 Diseño 3D de la pieza.

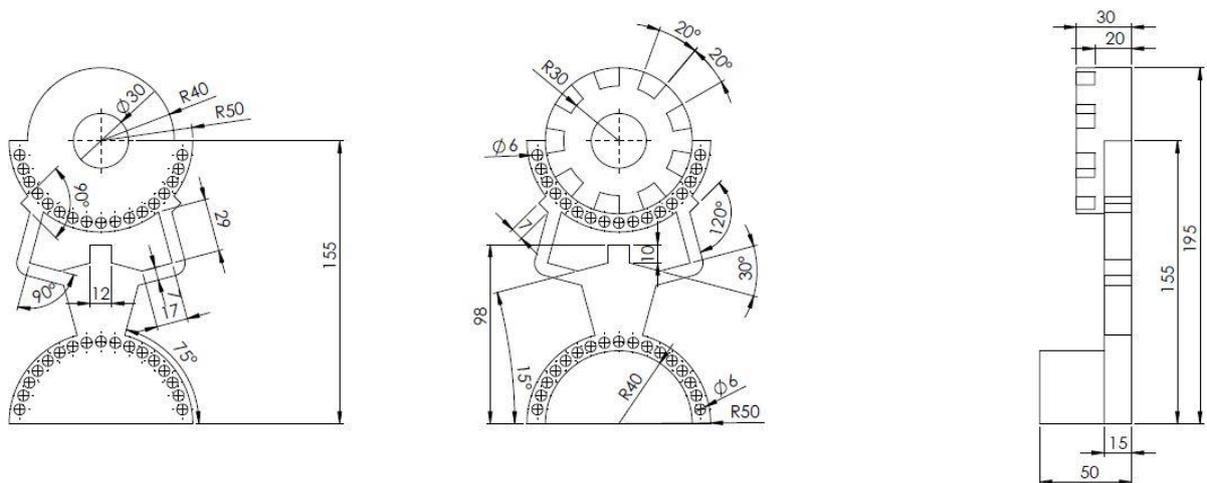


Figura 3.23 Pieza acotada.

3.2.1.2 Obtención de las trayectorias de mecanizado

Para la realización del mecanizado de piezas en 3D utilizaremos el programa “SURFCAM 2014 R2”, que nos permite elegir entre múltiples opciones y procesos de mecanizado para la obtención final de nuestra pieza, además permite ver una simulación del mecanizado de la pieza, con los procesos seleccionados, donde podremos comprobar si el resultado del mecanizado de la pieza es el que queremos. En la figura 3.24 podemos ver el programa con la pieza que queremos mecanizar.

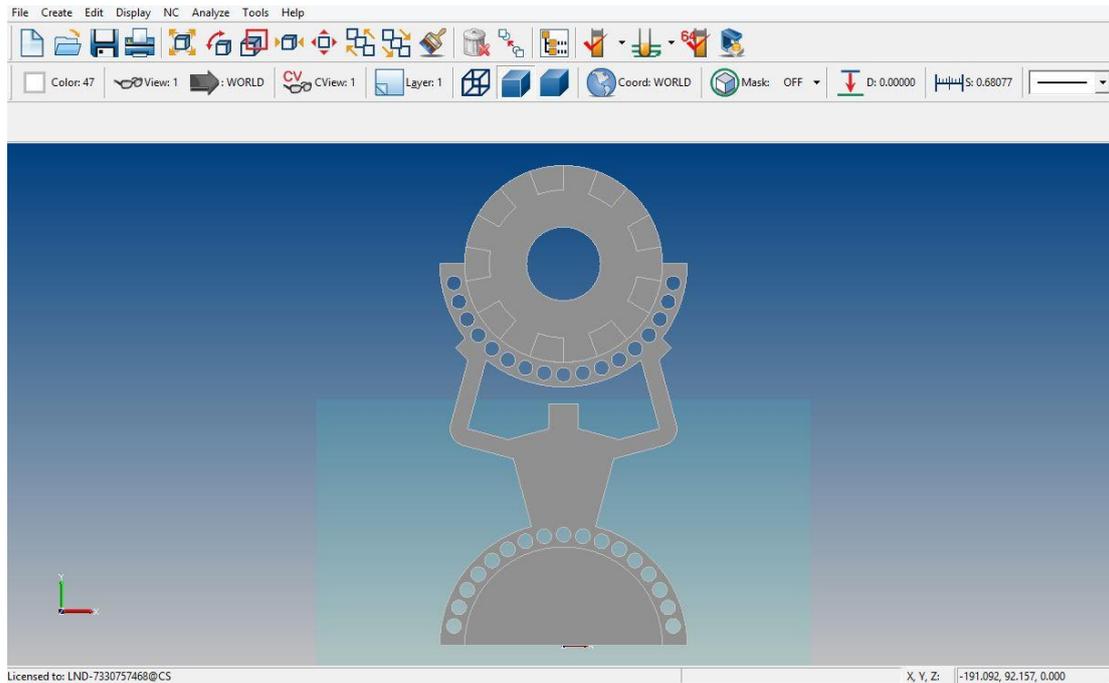


Figura 3.24 SURFCAM 2014 R2.

El mecanizado previsto para la pieza constará de cuatro procesos, que explicaremos detalladamente en los siguientes puntos.

- **Proceso 1: Desbaste.**

Con el primer proceso trataremos de eliminar todo el material sobrante, teniendo en cuenta ciertos márgenes de *stock* que aseguren la integridad de la pieza, entendiendo por *stock* el material del bloque que mecanizamos que no forma parte de la pieza, y que debe ser eliminado para obtener ésta. Para ello utilizaremos la opción “*Z Rough*”, para seleccionarla picamos en la pestaña “*NC*”, dentro de esta elegimos “*3 Axis*” y seleccionamos “*Z Rough*”, en la figura 3.25 podemos ver dicha pestaña. El robot atacará la pieza desde la parte superior, ya que trabajaremos con la pieza apoyada en una mesa con fijaciones simples que impidan el desplazamiento de la pieza sobre el plano de la mesa.

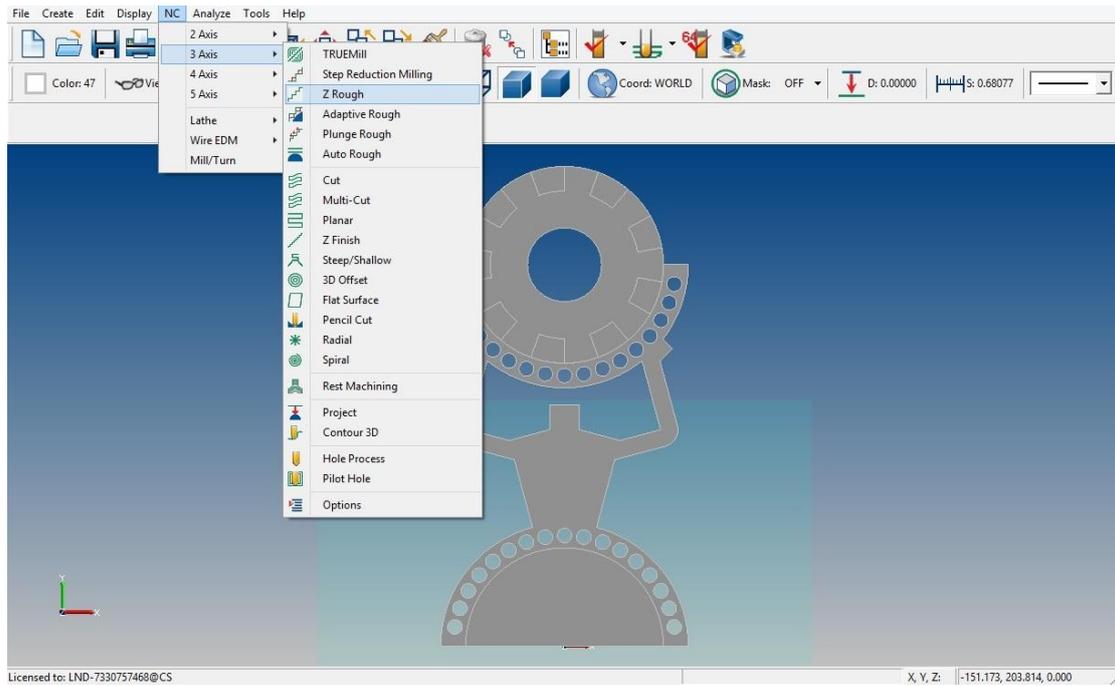


Figura 3.25 Pestaña NC.

Una vez configurado todo correctamente, nos aparecerá la pieza como se muestra en la figura 3.26. Como podemos observar aparecen líneas en dos colores, estas líneas indican la trayectoria que seguirá la herramienta en el proceso 1, las de color verde indican que la herramienta está mecanizando material y las de color rojo indican que la herramienta no está produciendo efecto sobre la pieza, son posicionamientos donde la herramienta puede estar desactivada.

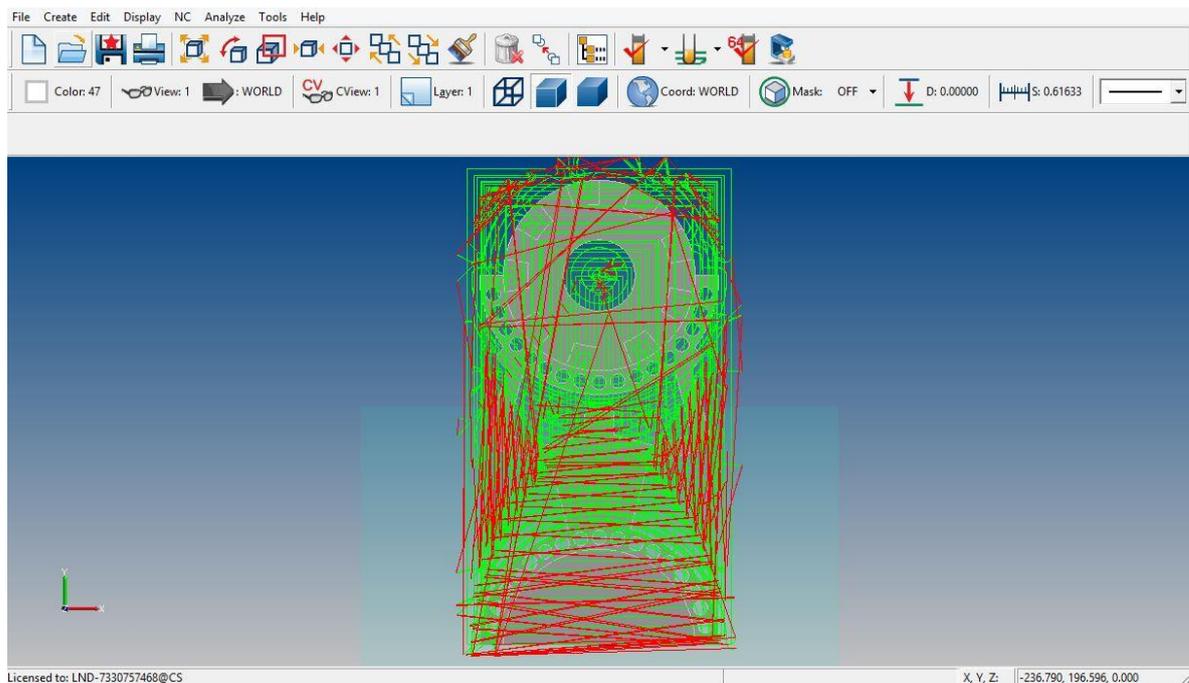


Figura 3.26 Trayectoria proceso 1.

- **Simulación.**

Antes de pasar al siguiente proceso, es recomendable comprobar mediante la simulación, si el mecanizado produce el resultado que queremos en la pieza. Para ello, damos unas dimensiones de *stock* en el menú “*Edit Setup Information*”, para llegar a él abrimos la ventana “*Operation Manager*” y picamos con el botón derecho sobre “*Setup One*”. Una vez introducidas las dimensiones de *stock*, podemos ver la simulación del proceso de mecanizado, como se muestra en la figura 3.27, picando sobre el icono “*Toolpath Verification*”. Las dimensiones del bloque de *stock* de visualización solo se introducen al simular por primera vez.

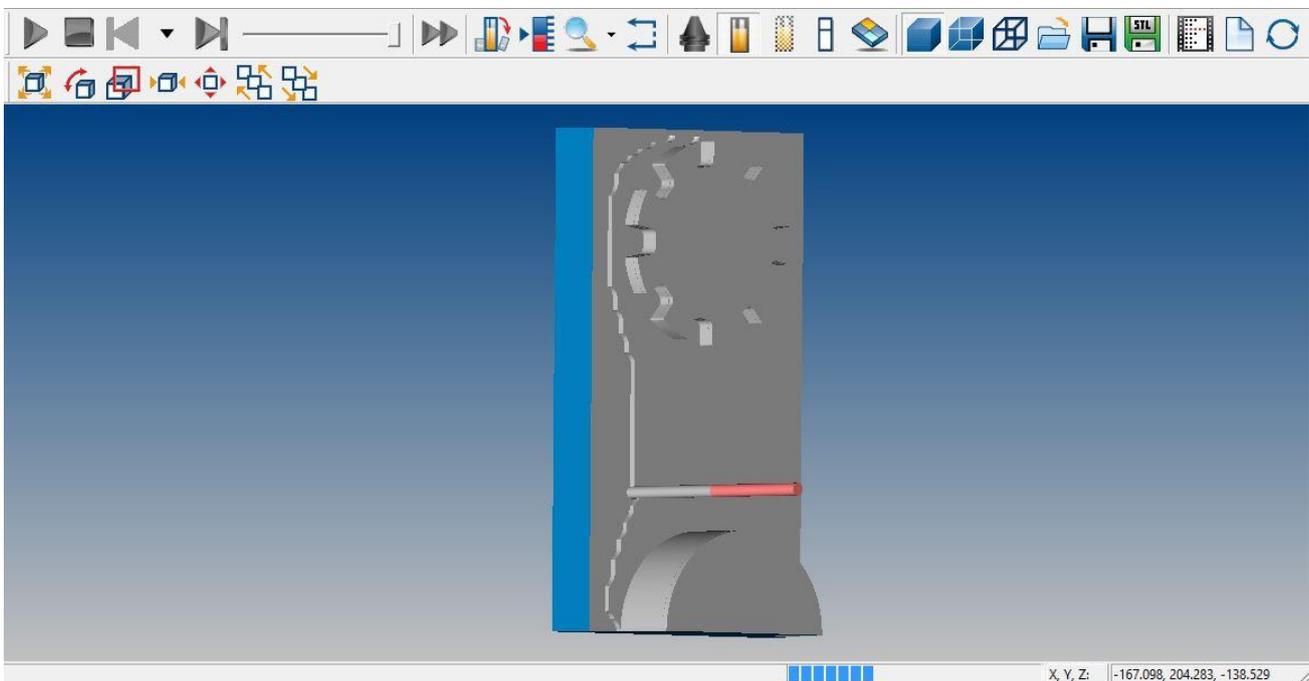


Figura 3.27 Ventana de simulación.

- **Proceso 2: Paso fino, cara superior.**

En este proceso quedaremos la parte superior de la pieza acabada, para ello atacaremos la pieza desde arriba utilizando la punta de la herramienta, para ello, nos vamos a la pestaña “*NC*”, dentro de esta elegimos “*3 Axis*” y seleccionamos “*Planar*”.

Si todo está correcto nos aparecerán las trayectorias del proceso como se muestran en la figura 3.28.

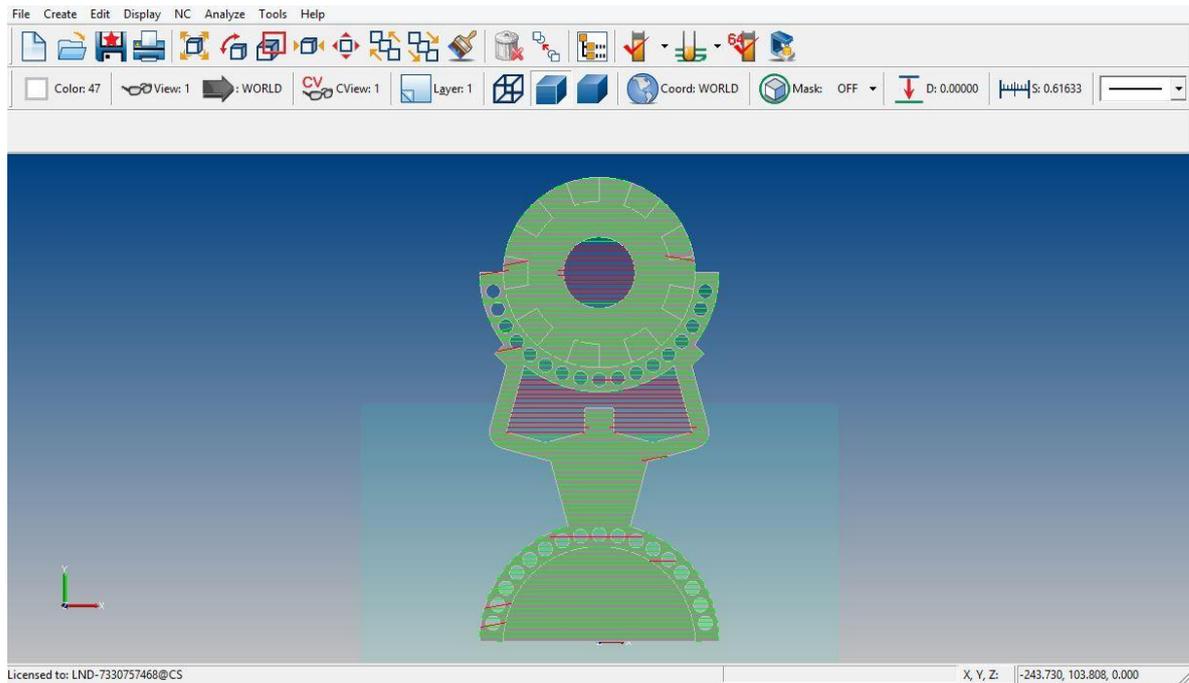


Figura 3.28 Trayectoria proceso 2.

- **Proceso 3: Taladros.**

En este proceso se harán los 34 taladros de igual diámetro, que se encuentran repartidos en dos grupos formando dos semicircunferencias. Para ello seleccionamos la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “3 Axis” y seleccionamos “Hole Process”.

En la figura 3.29, podemos ver la trayectoria del proceso 3 sobre la pieza.

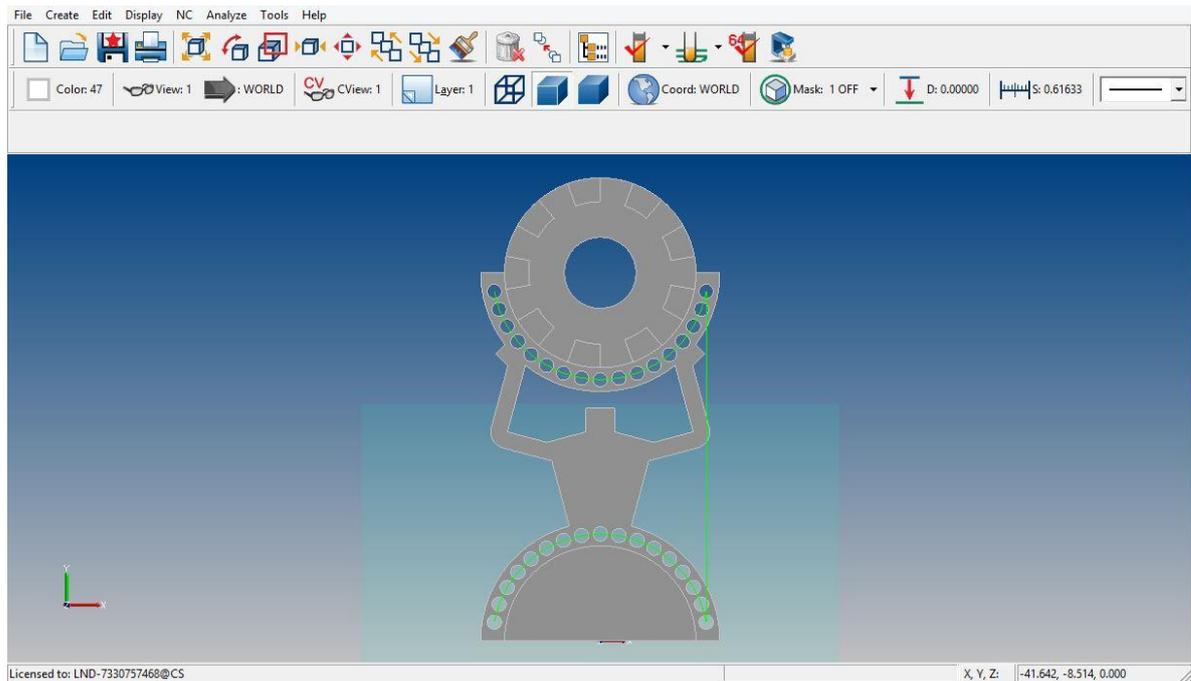


Figura 3.29 Trayectoria proceso 3.

- **Proceso 4: Paso fino, caras perpendiculares al plano XY.**

Por último, en este proceso retocaremos las áreas perpendiculares al plano XY, que solo fueron tratadas en el proceso 1, donde dejamos cierto *stock* en la pieza, en este proceso eliminaremos el stock sobrante de material y aplicaremos pequeñas longitudes entre pasos para un acabado menos irregular. Para ello, seleccionamos la pestaña “NC”, dentro de esta elijo “3 Axis” y selecciono el proceso “Z Finish”.

Por último, si está todo correcto nos deberá aparecer la trayectoria del proceso sobre la pieza como muestra la figura 3.30, podemos observar que el mecanizado solo afecta a las áreas perpendiculares al plano XY. Debemos tener precaución a la hora de elegir la herramienta, ya que como pasa en este proceso, el mecanizado se llevará a cabo con la parte lateral de la misma, a diferencia de los otros procesos donde actuaba principalmente el extremo, por tanto la longitud de la herramienta queda condicionada a aspectos como este. En nuestro caso, las medidas para la herramienta, adoptadas al principio son válidas.

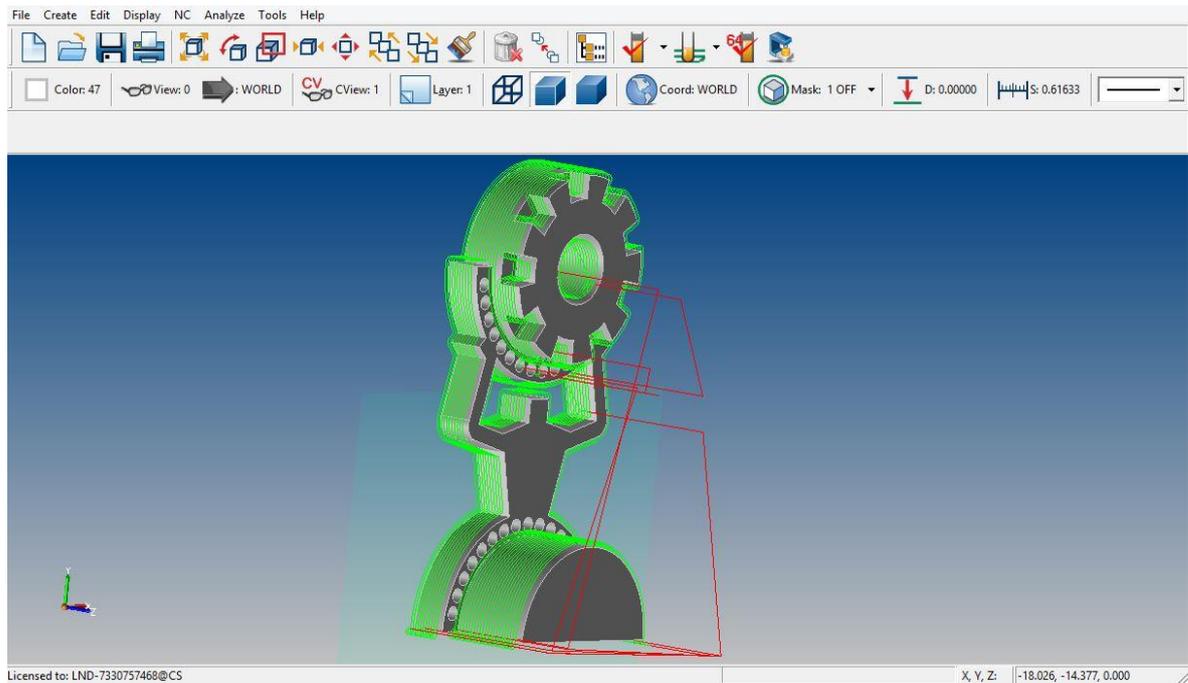


Figura 3.30 Trayectoria proceso 4.

Una vez configurado todos los procesos y comprobado que la simulación del mecanizado completo de la pieza está conforme a nuestras exigencias, pasaremos a obtener el archivo a cargar en IRBCAM, para poder simular el mecanizado completo en nuestro robot.

SURFCAM nos da la posibilidad de sacar el programa de mecanizado directamente en formato APT, por tanto, nos podemos ahorrar el paso que hacíamos en el mecanizado de piezas en 2D de pasar de lenguaje g-code a lenguaje APT.

Para sacarlo, abrimos “*Operations Manager*”, donde nos aparecerán los procesos configurados para el mecanizado de la pieza. A la derecha de esta ventana hay un menú desplegable, picamos y seleccionamos “*Multi-Axis*” y seleccionamos, en la lista que nos aparecerá debajo, el formato “*APT-CL*”, como muestra la figura 3.31. De esta forma nos creará el archivo con formato APT que contiene el programa de mecanizado para el programa IRBCAM.

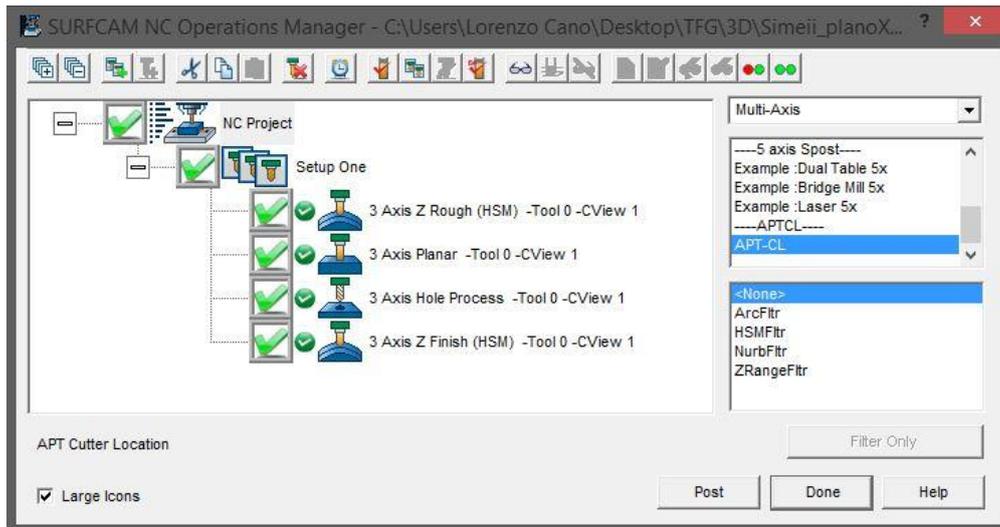


Figura 3.31 Obtención del programa en APT.

3.2.1.3 Obtención del programa en lenguaje KRL

Para la obtención del programa que cargaremos al robot, volveremos a utilizar el programa IRBCAM 2012B, a continuación se detallan los pasos necesarios, pero como en el tema de mecanización de piezas en 2D se explicó detalladamente el funcionamiento del programa IRBCAM, pasaremos por alto repetir lo mismo en la obtención del programa de mecanización de piezas en 3D:

- 1 En este caso tendremos el mismo entorno de trabajo para el robot KUKA KR 60-3 que en el mecanizado de piezas en 2D, excepto las dimensiones de la herramienta, que tendrá las dimensiones de la herramienta real y se muestran en la figura 3.32, y el sistema de coordenadas de las piezas a mecanizar, que tendrá los valores que se muestran en la figura 3.33.

Parámetros de la herramienta:

- Tool position: X: 281,32 mm; Y:7,46 mm; Z: 131,56 mm.
- Tool Angles: RX: 0,00 deg; RY: 90 deg; RZ: 0,00 deg.

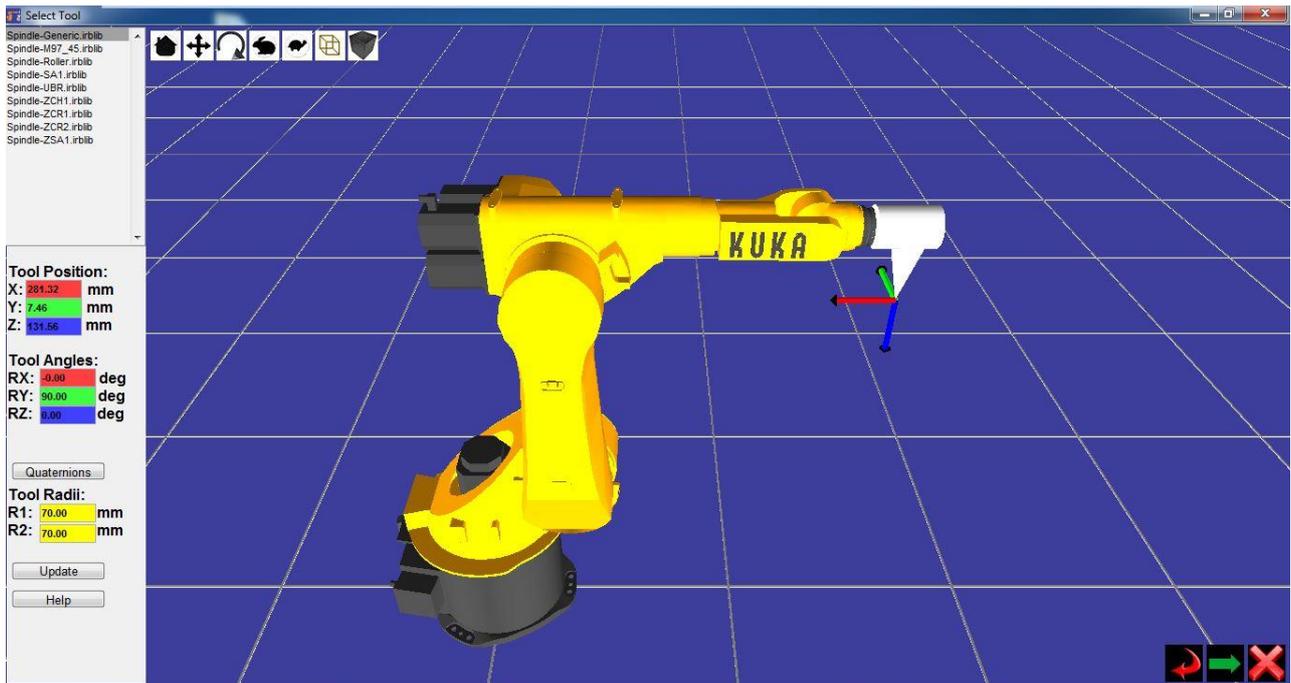


Figura 3.32 Elección y especificación de la herramienta.

Parámetros de la mesa:

- X: -800,00 mm; Y: 0,00 mm; Z: 0,00 mm.
- RX: 0,00 deg; RY: 0,00 deg; RZ: 90 deg.

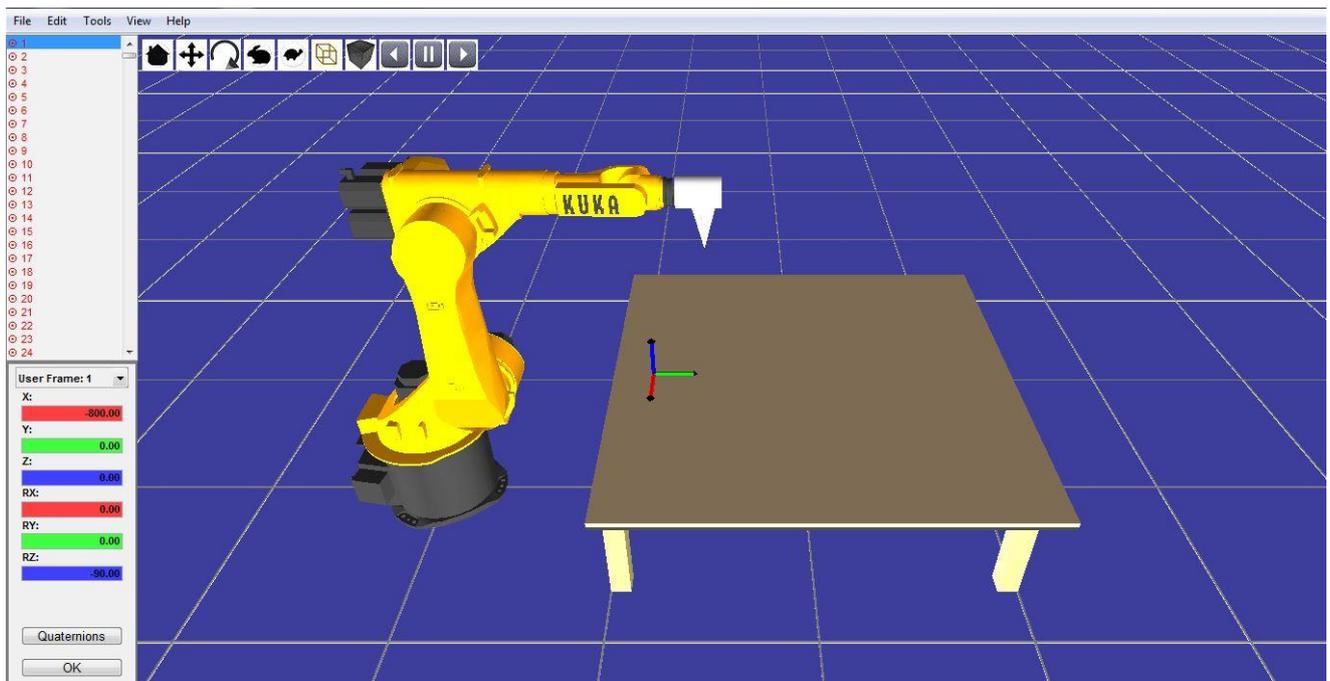


Figura 3.33 Configuración de la base del objeto a mecanizar.

- Una vez tenemos el entorno de trabajo bien especificado, verificamos que todos los pasos para la mecanización de la pieza son realizables por el robot, para ello, nos vamos a la pestaña “Tools” y seleccionamos “Configure Path”, a continuación nos aparecerá un menú de configuración donde podemos modificar parámetros como el ángulo de mecanización de la herramienta, en nuestro caso dejaremos los valores como los que podemos ver en la figura 3.34.

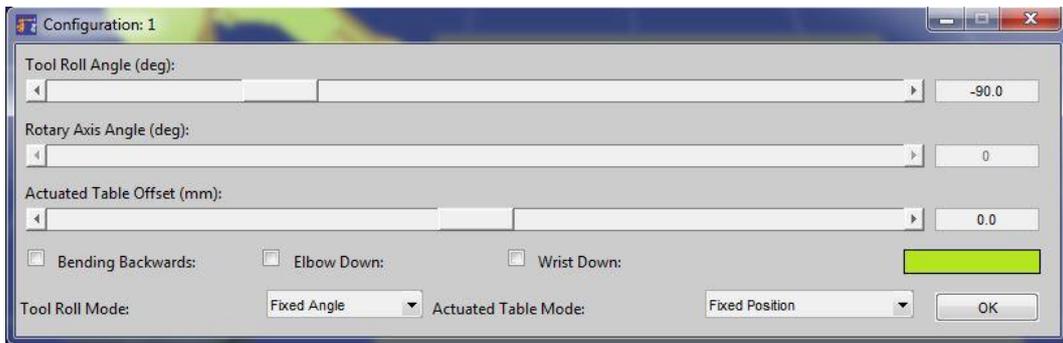


Figura 3.34 Menú de configuración “Configure Path”.

- Si todo está correcto, nos indicará que todas las rutas han sido verificadas y cambiarán del color rojo a verde, en la figura 3.35 observamos la simulación del robot con la opción “Combination View”.

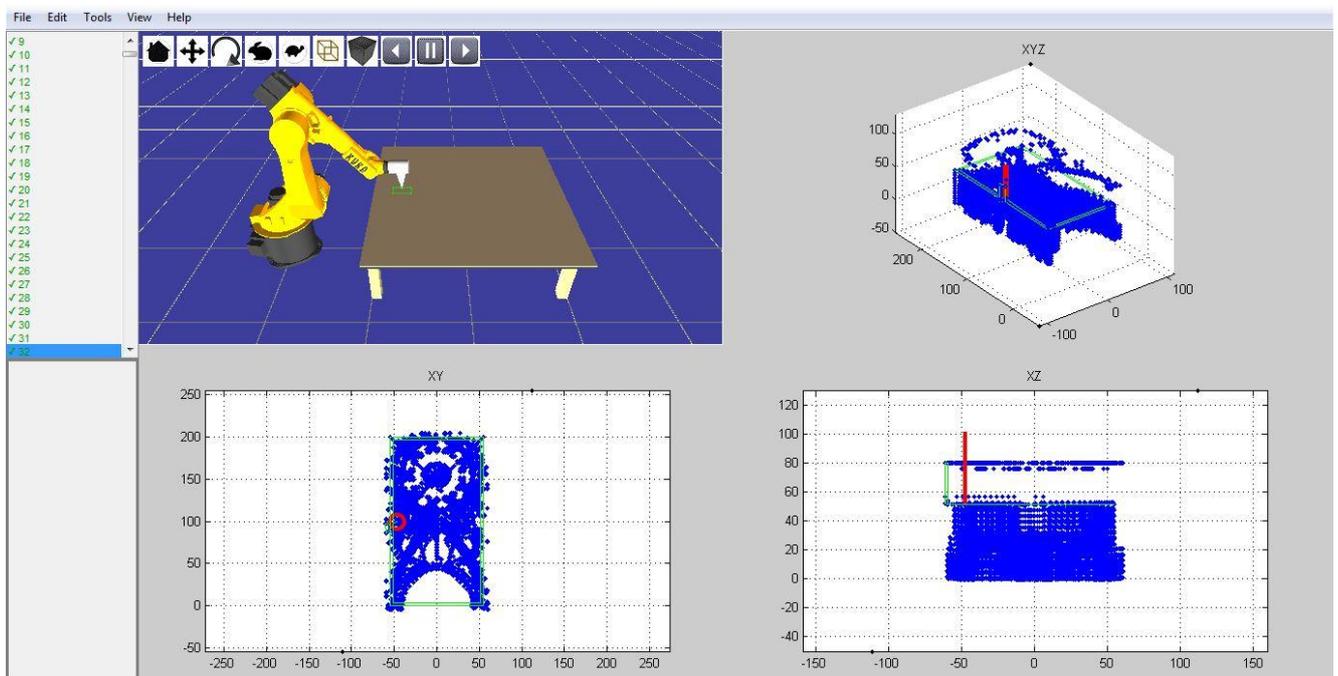


Figura 3.35 Simulación.

- Las estadísticas del mecanizado de la pieza quedan reflejadas en la figura 3.36.

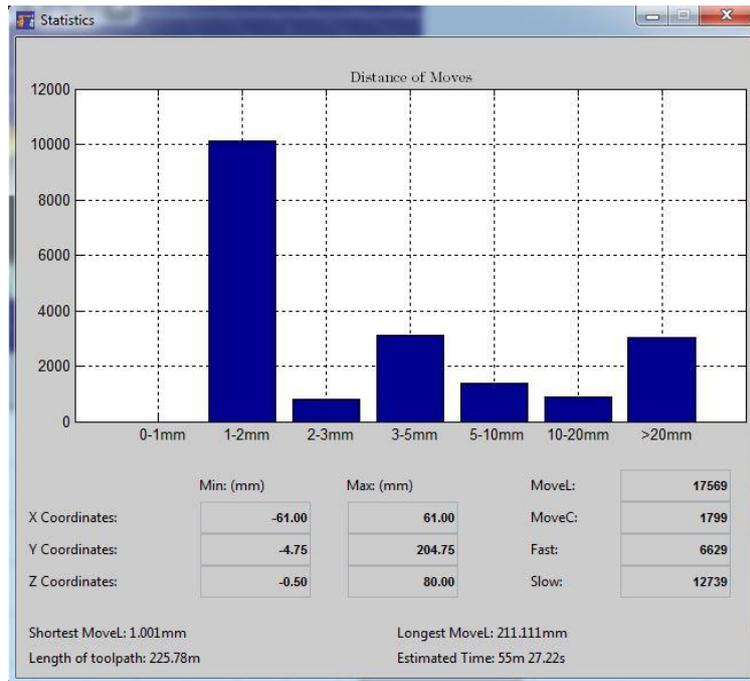


Figura 3.36 Estadísticas del proceso de mecanizado.

5 Por último, al igual que hicimos con el mecanizado de piezas en 2D, obtendremos el programa de mecanizado que cargaremos al robot KUKA, para ello seguiremos lo descrito en el punto 14 de la sección 3.1.3 “Obtención del programa en lenguaje KRL”. Con este programa debemos prestar atención en el tamaño, si vamos a la pestaña “Edit”, abrimos “Targets” y seleccionamos “Goto Target” nos mostrará una ventana como la de la figura 3.37 que nos permite movernos a los diferentes puntos que componen el mecanizado, de esta manera podemos ver el tamaño del programa de salida ya que aproximadamente cada punto, en nuestro caso 19.368, se asocia con una línea de comando, por tanto, viendo esto podemos decidir en cuantas partes partirlo si es necesario.

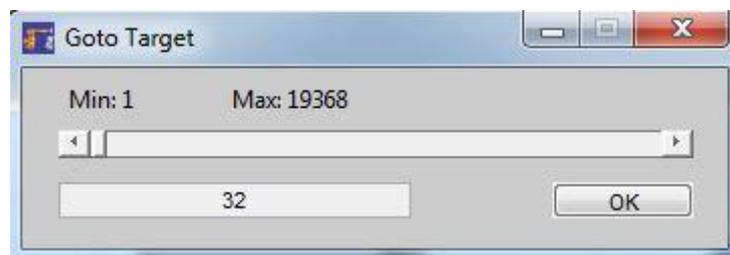


Figura 3.37 Goto Target.

3.2.2 Fresado con 5 ejes de libertad

En este apartado recogeremos los pasos necesarios para el mecanizado de piezas en 3D mediante una fresadora conectada a un robot KUKA KR 60-3 utilizando

cinco ejes de libertad, desde la fase de diseño hasta la obtención del programa que cargaremos en el robot.

El proceso de mecanizado de la pieza se llevará a cabo con el mismo calibre en la fresadora, intentando no tener que realizar ningún cambio de herramienta durante el proceso de mecanizado.

Al utilizar 5 grados de libertad, las limitaciones que tendremos a la hora de mecanizar serán prácticamente nulas. Debido a que ahora, además de poder posicionar la herramienta en cualquier punto del espacio de trabajo del robot, podremos orientar dicha herramienta, pudiendo trabajar en cualquier plano con la orientación necesaria.

3.2.2.1 Diseño de la pieza

Al igual que para la pieza anterior, hemos utilizado el programa “Solidworks” para diseñar nuestra pieza. Para este caso la pieza es bastante parecida a la del mecanizado con tres grados de libertad, como se puede ver en la figura 3.38, pero en esta cambiamos la orientación de la pieza, donde a diferencia del mecanizado con tres grado de libertad, la parte longitudinal es paralela al eje Z del sistema de coordenadas, mientras que para el otro caso era paralela al eje Y, la pieza estará “de pie” sobre la mesa de trabajo. Las medida de dicha pieza se muestran en la figura 3.39, es importante tenerlas en cuenta a la hora de elegir correctamente el calibre de la herramienta, más aun cuando se pretenda no hacer ningún cambio de la misma, ya que por las dimensiones de esta, puede ser inaccesible el paso de la herramienta a ciertas áreas de mecanizado de la pieza.

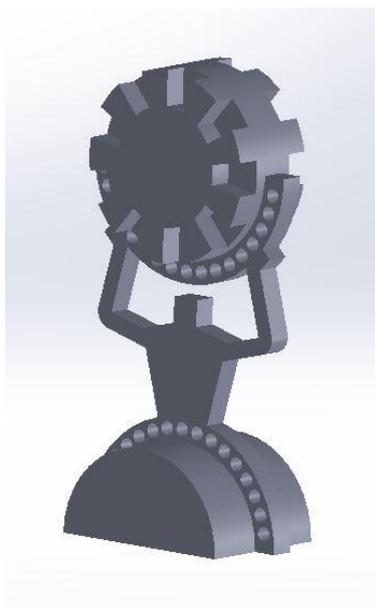


Figura 3.38 Diseño de la pieza en 3D.

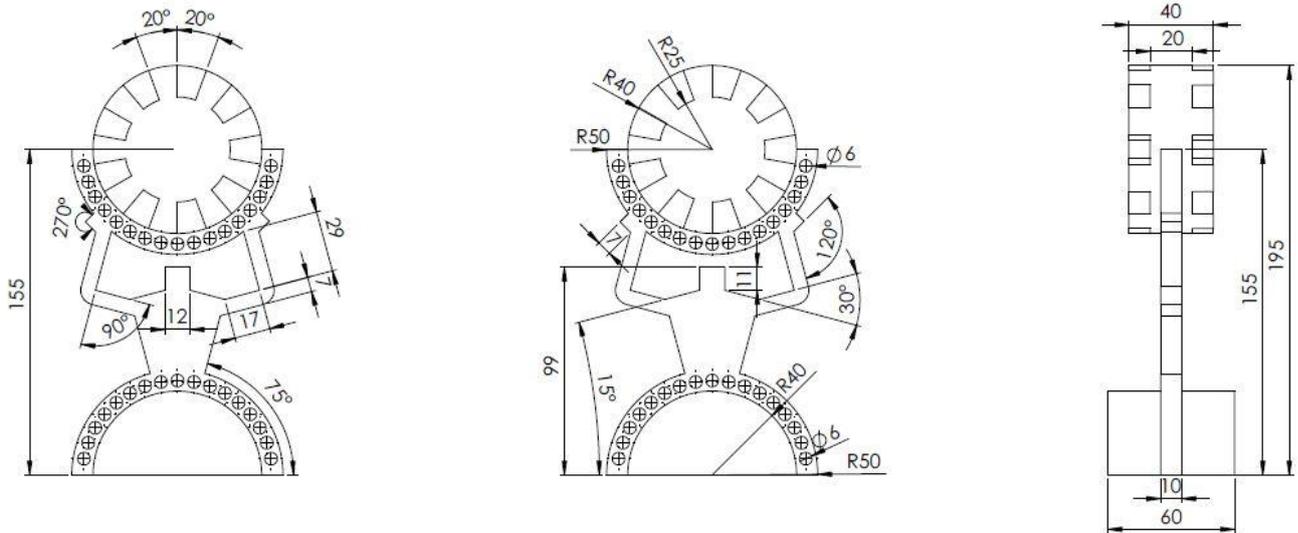


Figura 3.39 Pieza acotada.

3.2.2.2 Obtención de las trayectorias de mecanizado

Para la realización del mecanizado de la pieza, al igual que en el caso anterior, utilizaremos el programa “SURFCAM 2014 R2”, donde seleccionaremos los procesos de mecanizado que creamos más convenientes para la obtención de la pieza diseñada.

El mecanizado previsto para la pieza constará de 8 procesos, que explicaremos detalladamente en los siguientes puntos.

- **Proceso 1: Desbaste.**

Con el primer proceso trataremos de eliminar todo el material sobrante, teniendo en cuenta ciertos márgenes de *stock* que aseguren la integridad de la pieza. En este caso partiremos de bloques de material cilíndricos de diámetro 120 mm y altura 200 mm. A diferencia del caso anterior, para 5 ejes, no tenemos ningún proceso específico para desbaste de *stock*, por tanto deberemos crear nosotros el método de desbaste.

Al ser una pieza cilíndrica, el desbaste deberá ir “comiendo” cilindros concéntricos cada vez de menor diámetro hasta aproximarse a la pieza, dejando sobre esta un *stock* considerable. Nuestro proceso de desbaste constará de 21 cilindros concéntricos, a los que les vamos reduciendo el diámetro 5 mm hasta llegar al último, con el cual nos quedará un margen de *stock* reducido sobre la pieza.

Una vez dibujados todos los cilindros, pasamos a mecanizar el proceso de desbaste. Para ello seleccionamos la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos

“5 Axis” y seleccionamos “Multi-Surface Cut”, esta función solo nos permitirá ir desbastando el volumen comprendido entre dos de los 21 cilindros, por tanto deberemos repetir este proceso hasta que se complete el desbaste.

Si completamos correctamente la configuración de cada trayectoria, debería quedarnos cada trayectoria como se muestra en la imagen 3.40.

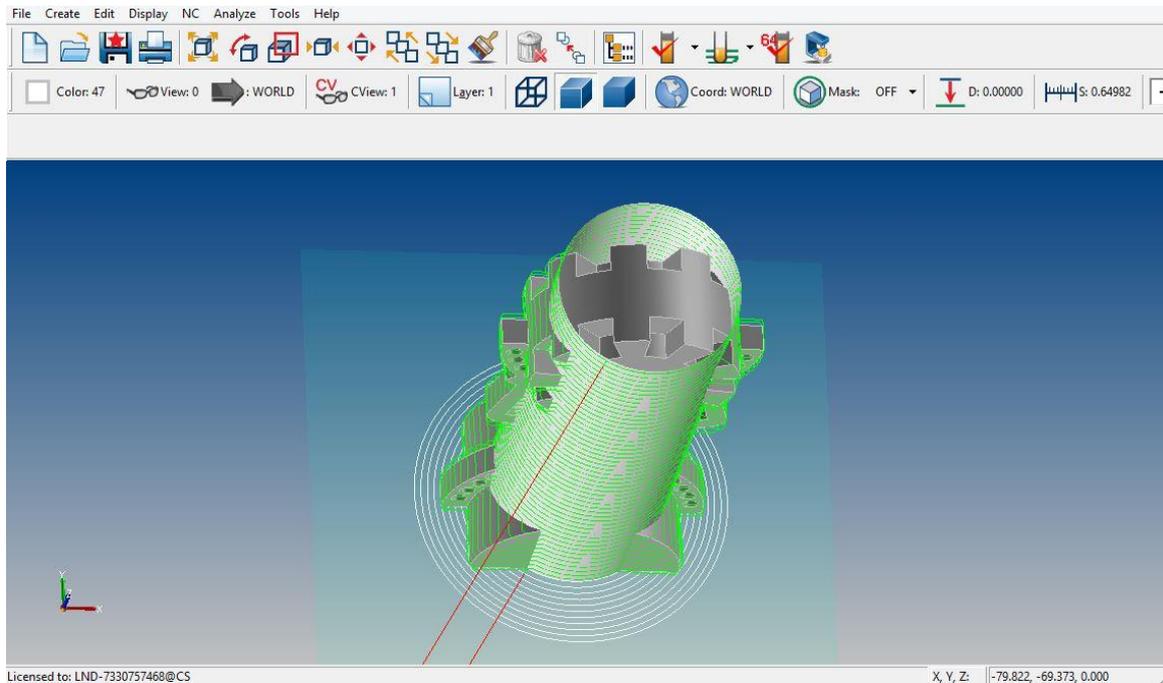


Figura 3.40 Trayectoria proceso 1, volumen entre cilindros 9 y 10.

- **Proceso 2: Taladros.**

En este proceso se llevarán a cabo los 34 taladros de igual diámetro que se encuentran repartidos en dos grupos formando dos semicircunferencias. Para ello seleccionamos la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “3 Axis” y seleccionamos “Hole Process”.

Si todo está correcto nos aparecerá la trayectoria del proceso sobre la pieza, como se muestra en la figura 3.41.

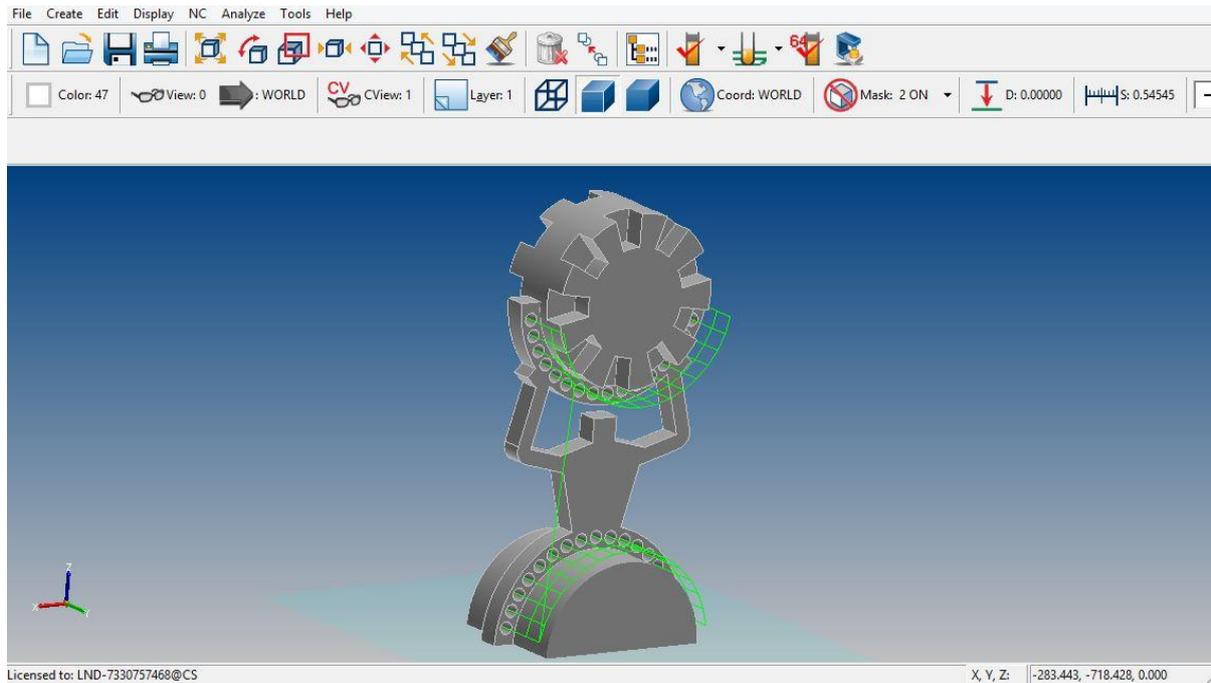


Figura 3.41 Trayectoria proceso 2.

- **Proceso 3: Desbaste paso fino.**

En este proceso realizaremos un desbaste sobre la pieza como los vistos en el “*proceso 1: Desbaste*”, con la diferencia que para este proceso seleccionaremos como área de mecanizado únicamente las áreas de la pieza, no tendremos ningún cilindro de área menor, y la distancia entre las paralelas que componen la trayectoria será muy reducida, para obtener ya en algunas áreas sobre la pieza un acabado final. Para ello seleccionamos la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “5 Axis” y seleccionamos “Multi-Surface Cut”.

En la figura 3.42, podemos ver la trayectoria del proceso 3 sobre la pieza.

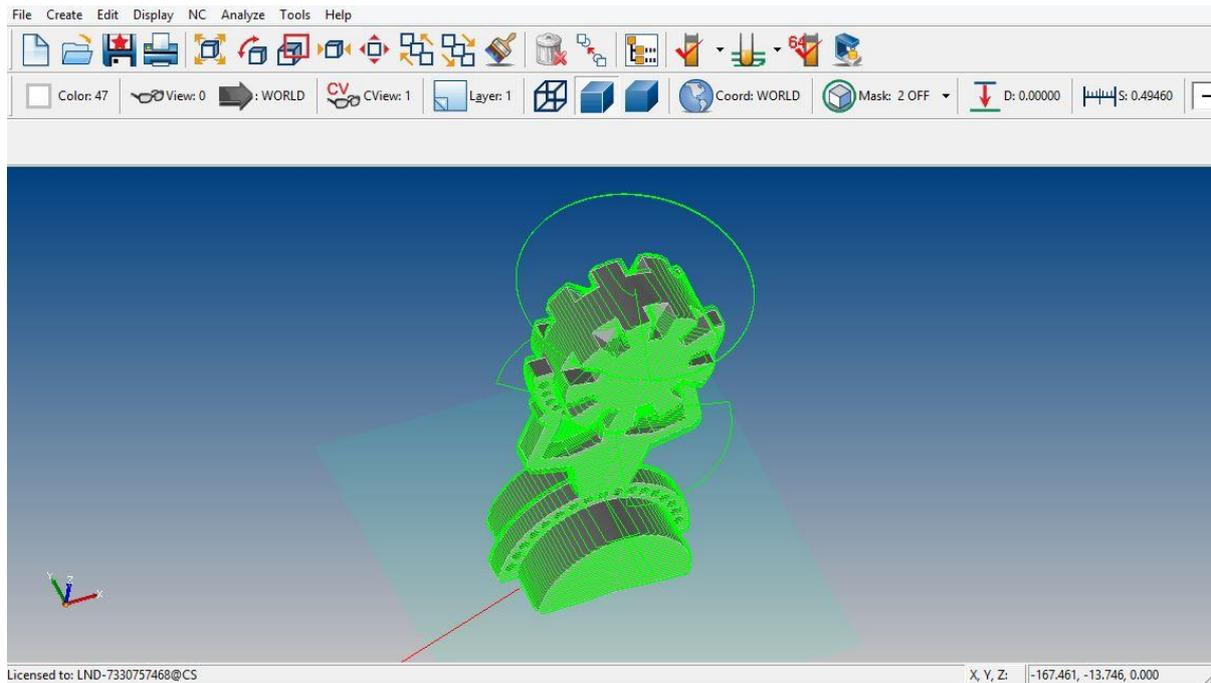


Figura 3.42 Trayectoria proceso 3.

- **Proceso 4: Acabado lateral del muñeco.**

En este proceso mecanizaremos las áreas laterales del muñeco, siendo este la parte de la pieza que se muestra de color amarillo en la figura 3.43, eliminado el *stock* de materia que dejamos en estas áreas durante la mecanización de los procesos anteriores. Este proceso constará de dos partes para completar el acabado lateral del muñeco completamente, por lo que debemos repetir el proceso dos veces. Para ello, nos iremos a la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “5 Axis” y seleccionamos “Multi-Surface Swarf”.

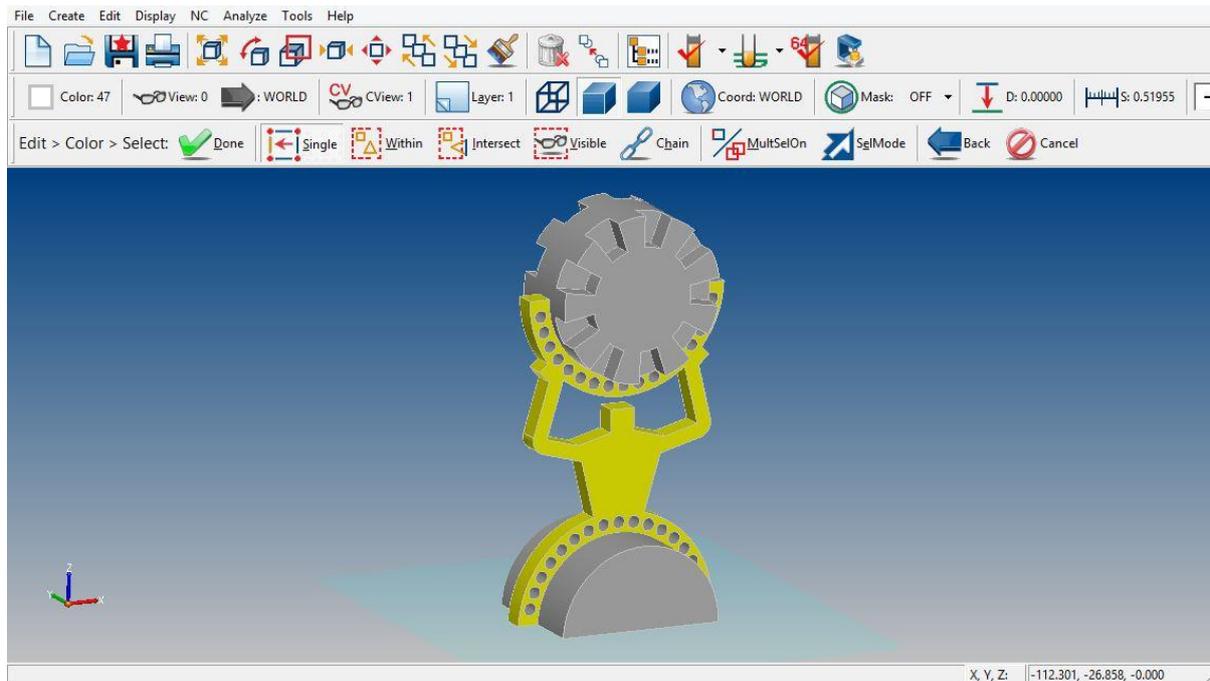


Figura 3.43 Áreas de la pieza que componen el “muñeco”.

Si el proceso ha sido configurado correctamente, deberá aparecernos sobre la pieza la trayectoria que seguirá la herramienta, tal y como se muestra en la figura 3.44, para la parte uno del proceso, y la figura 3.45, para la parte dos del proceso.

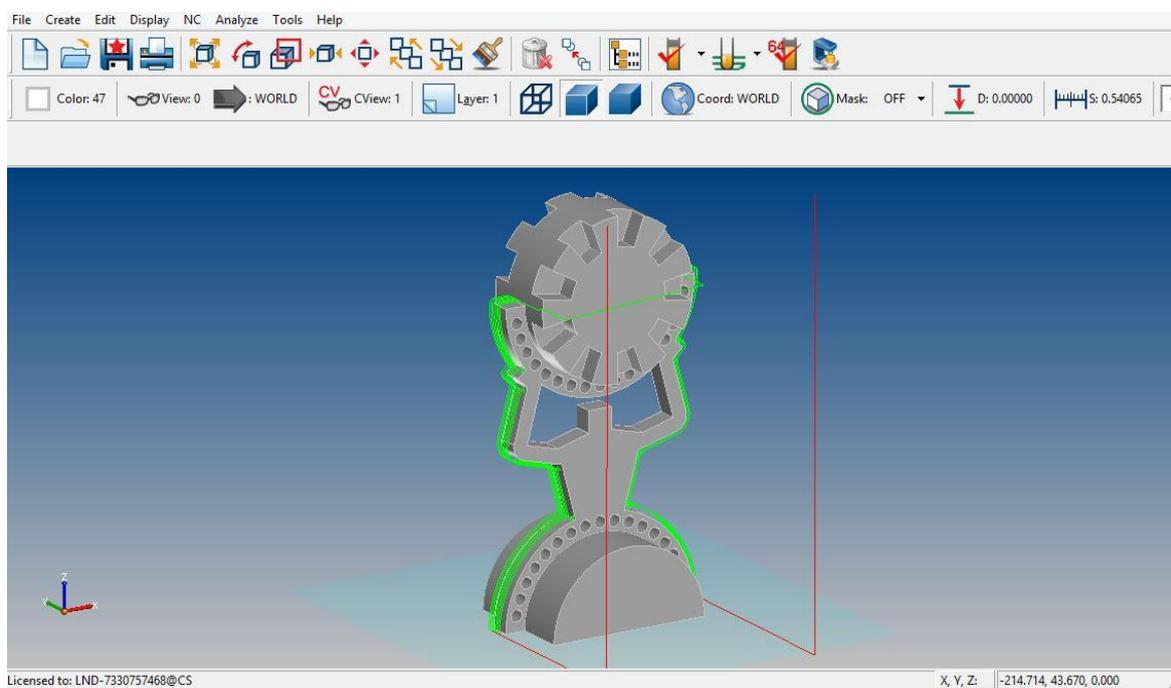


Figura 3.44 Trayectoria proceso 4 parte 1.

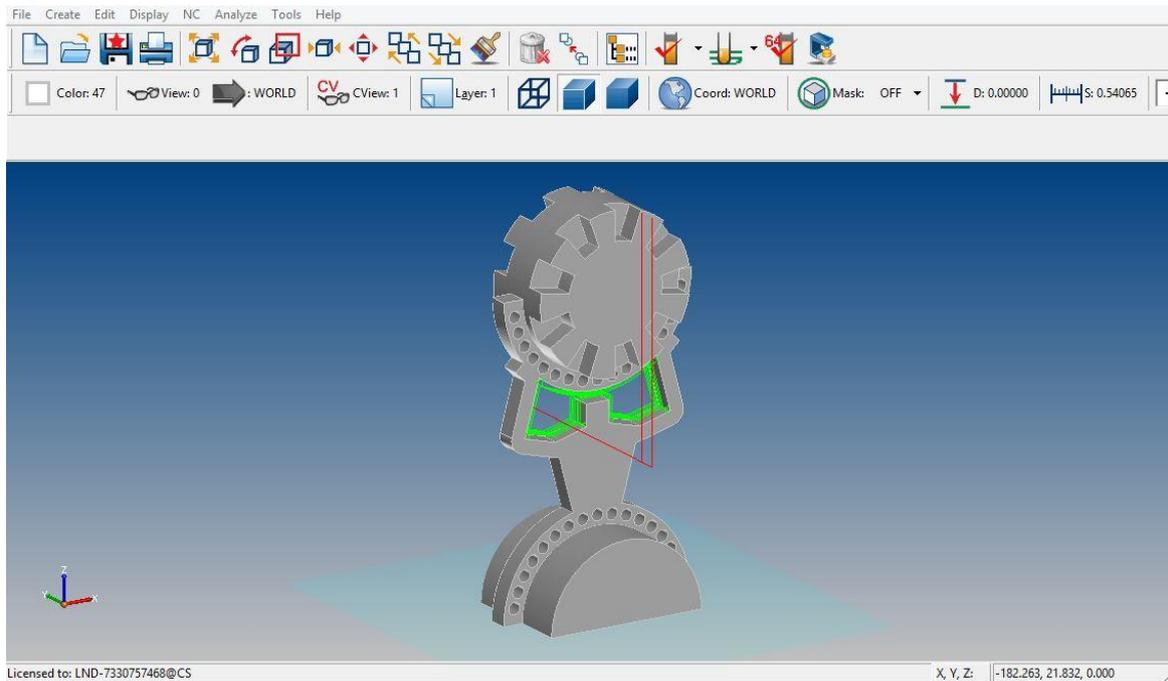


Figura 3.45 Trayectoria proceso 4 parte 2.

- **Proceso 5: Acabado del semicilindro.**

En este proceso mecanizaremos la parte del semicilindro, esta parte se muestra en color amarillo en la figura 3.46, excepto las áreas contenidas en el plano Z, cuyo acabado ya se han mecanizado en el “*proceso 3: Desbaste paso fino*”. Para completar el proceso, deberemos realizar el mecanizado de la parte trasera y delantera por separado, teniendo que realizar el proceso dos veces. Para ello, nos iremos a la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “5 Axis” y seleccionamos “Multi-Surface Swarf”.

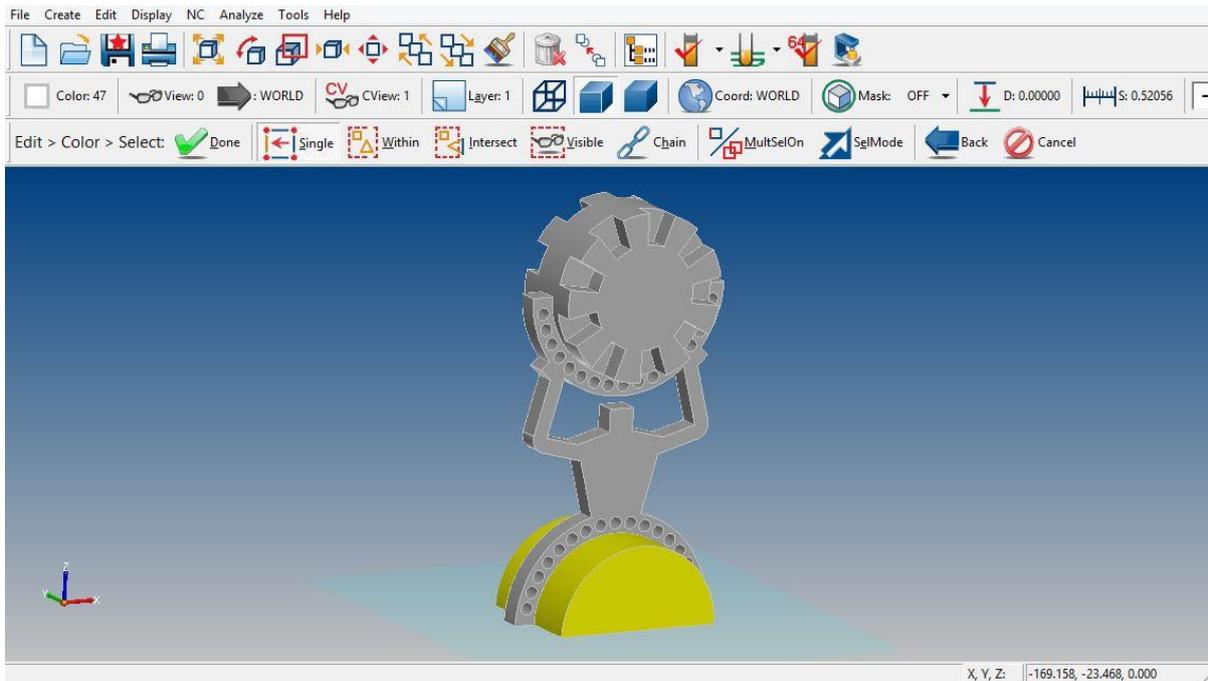


Figura 3.46 Áreas de la pieza que componen el “Semicilindro”.

Las trayectorias de mecanizado deberán quedar como se muestra las figuras 3.47 y 3.48, para las partes delantera y trasera respectivamente.

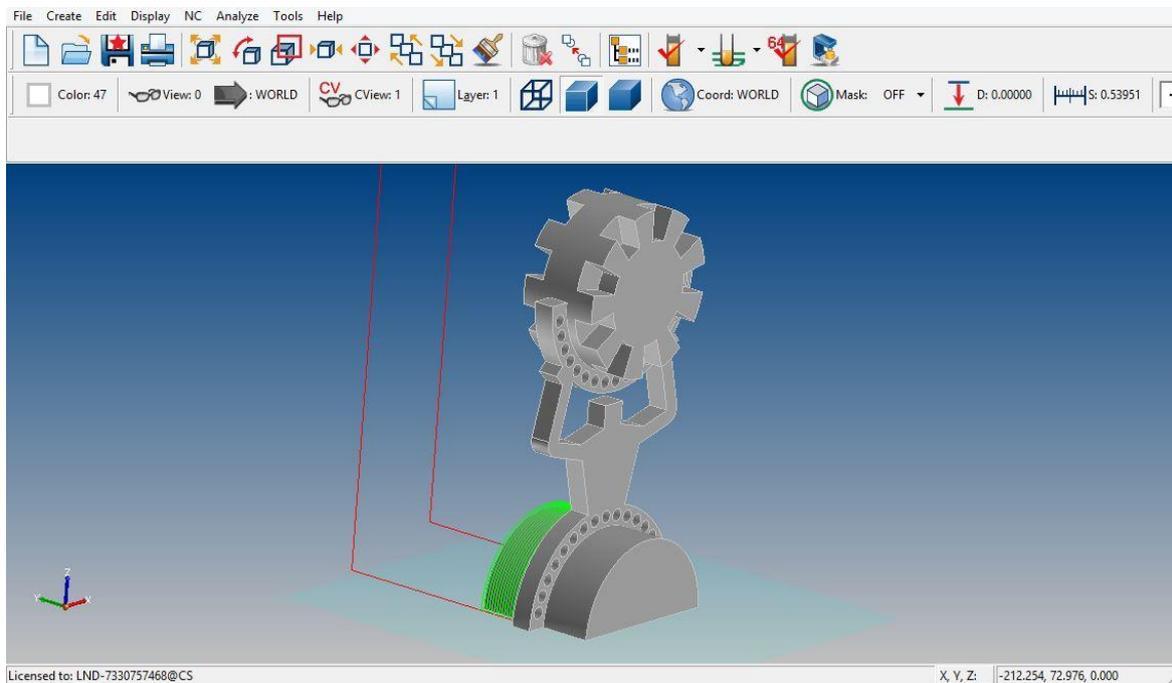


Figura 3.47 Trayectoria del proceso 5 parte delantera

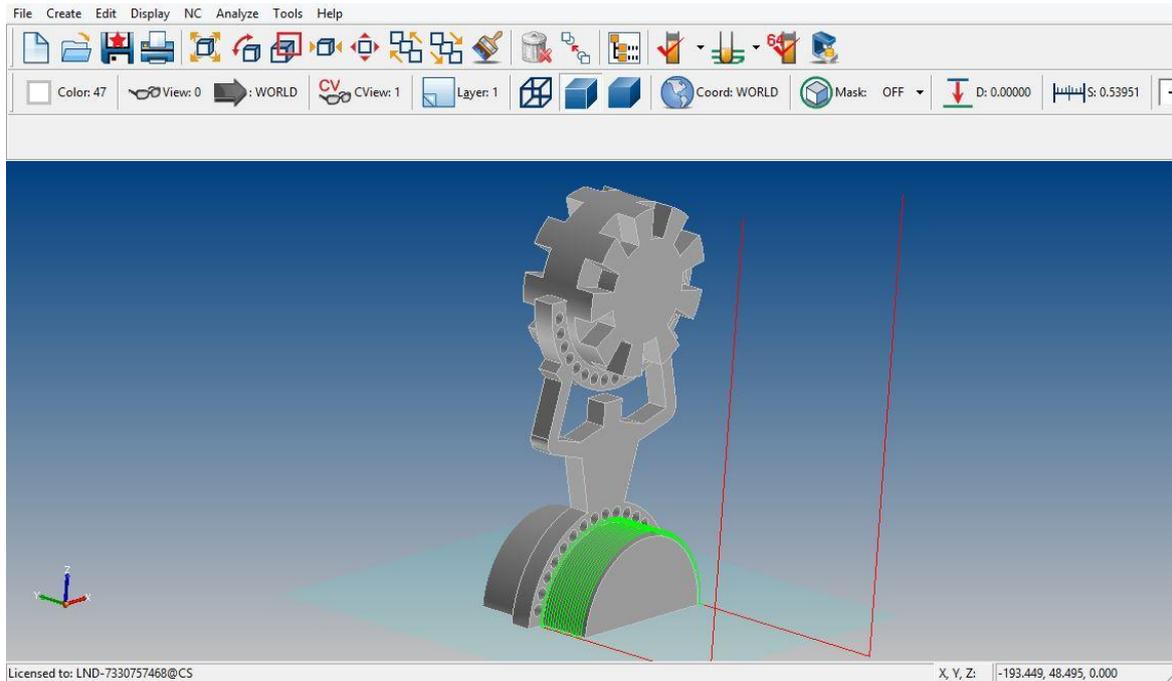


Figura 3.48 Trayectoria del proceso 5 parte trasera.

- **Proceso 6: Acabado borde del cilindro.**

En este proceso mecanizaremos la pared del cilindro, la parte del cilindro en su totalidad está compuesta de las áreas que se muestra en color amarillo en la figura 3.49. Para ello, nos iremos a la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “5 Axis” y seleccionamos “Multi-Surface Swarf”.

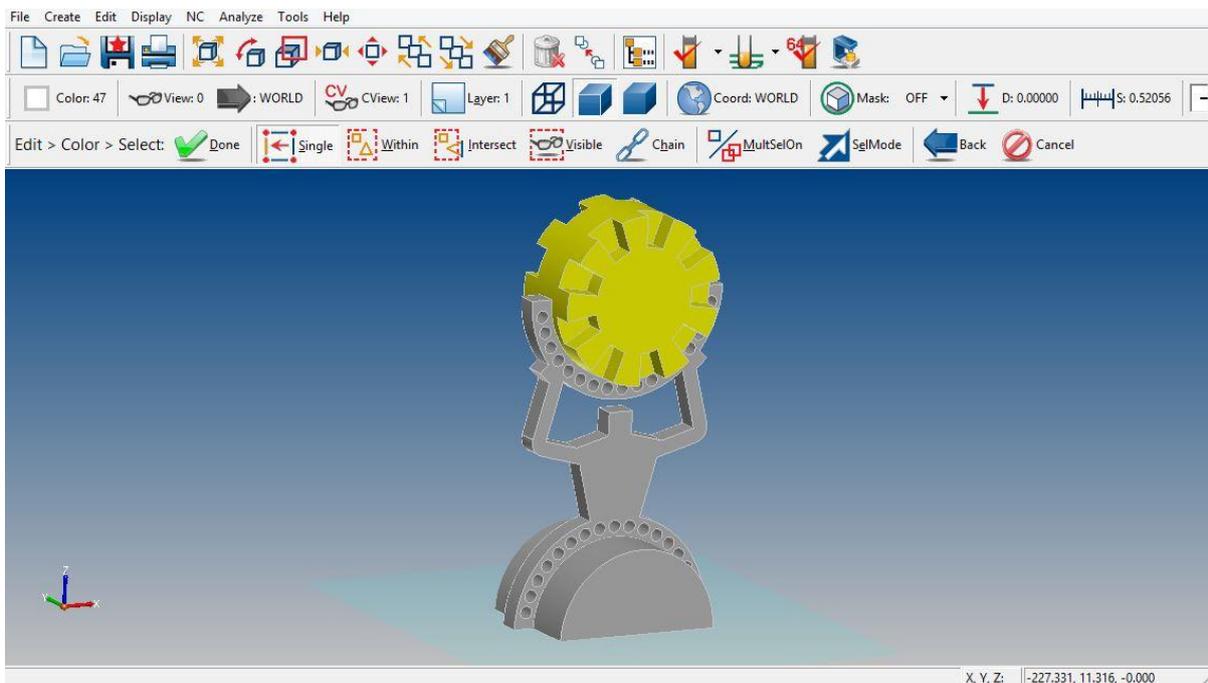


Figura 3.49 Áreas de la pieza que componen el “Cilindro”.

Si la configuración de los parámetros es correcta deberá aparecernos la trayectoria sobre la pieza que se muestra en las figura 3.50 y 3.51, para las partes delantera y trasera respectivamente.

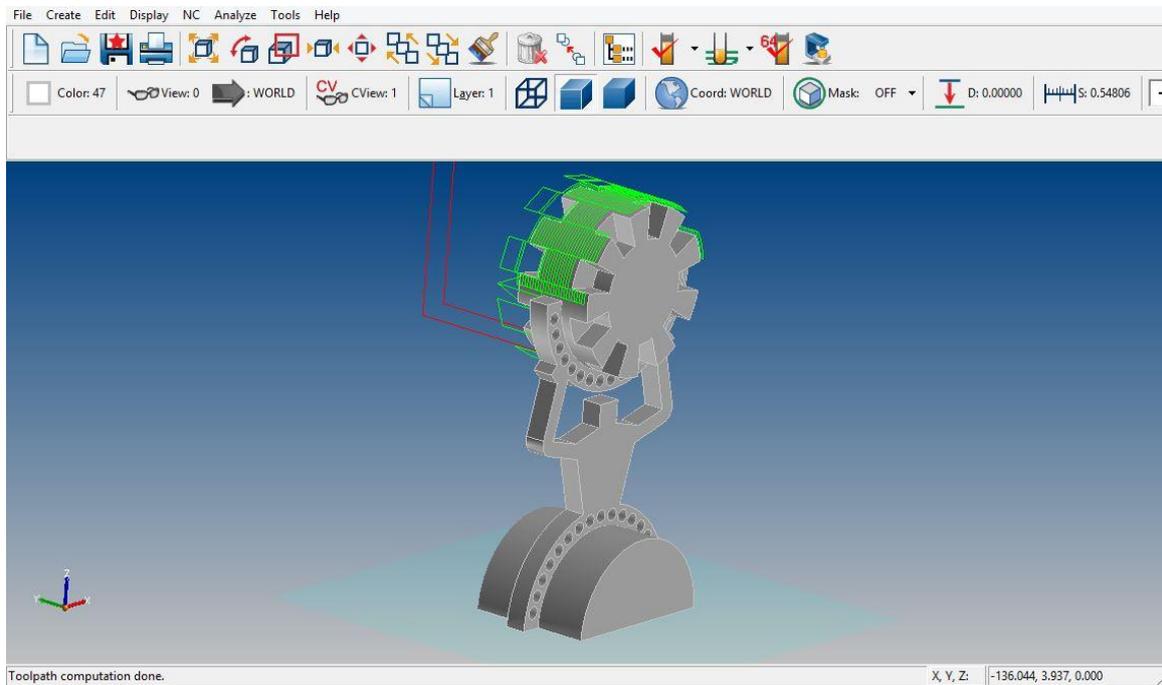


Figura 3.50 Trayectoria proceso 6 parte delantera.

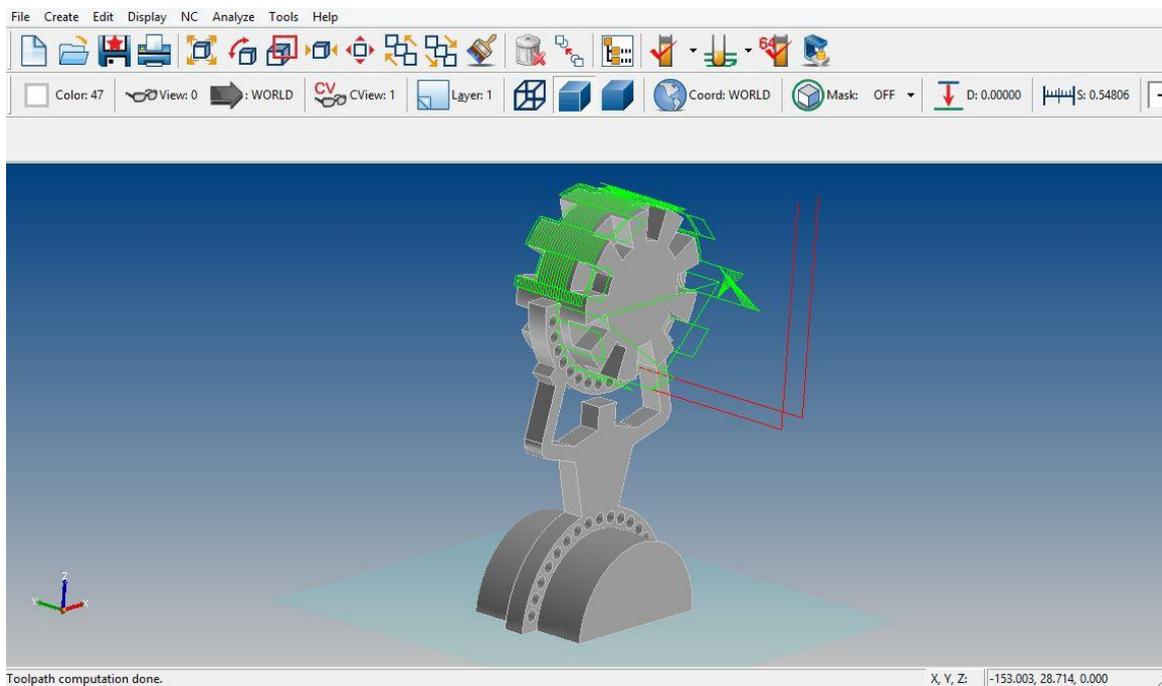


Figura 3.51 Trayectoria proceso 6 parte trasera.

- **Proceso 7: Acabado engranaje del cilindro, parte uno.**

En este proceso mecanizaremos las áreas de los dientes del engranaje del cilindro que se encuentran contenidas en el plano Z, solo mecanizaremos los huecos que dejan los dientes del engranaje, donde aún tenemos una gran cantidad de *stock* desde el “*proceso 3: Desbaste paso fino*”. Para ello, nos iremos a la pestaña “*NC*”, dentro de esta elegimos “*5 Axis*” y seleccionamos “*Multi-Surface Cut*”.

Podemos observar la trayectoria de mecanizado en las figura 3.52 y 3.53, para las partes delantera y trasera respectivamente.

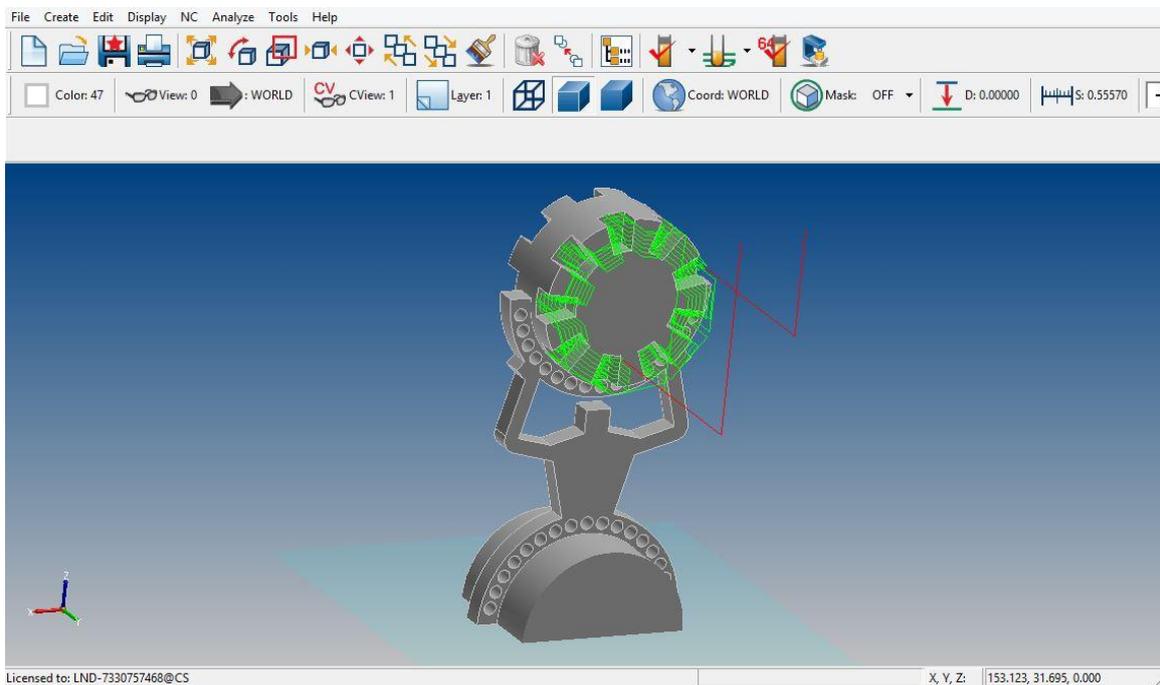


Figura 3.52 Trayectoria proceso 7 parte delantera.

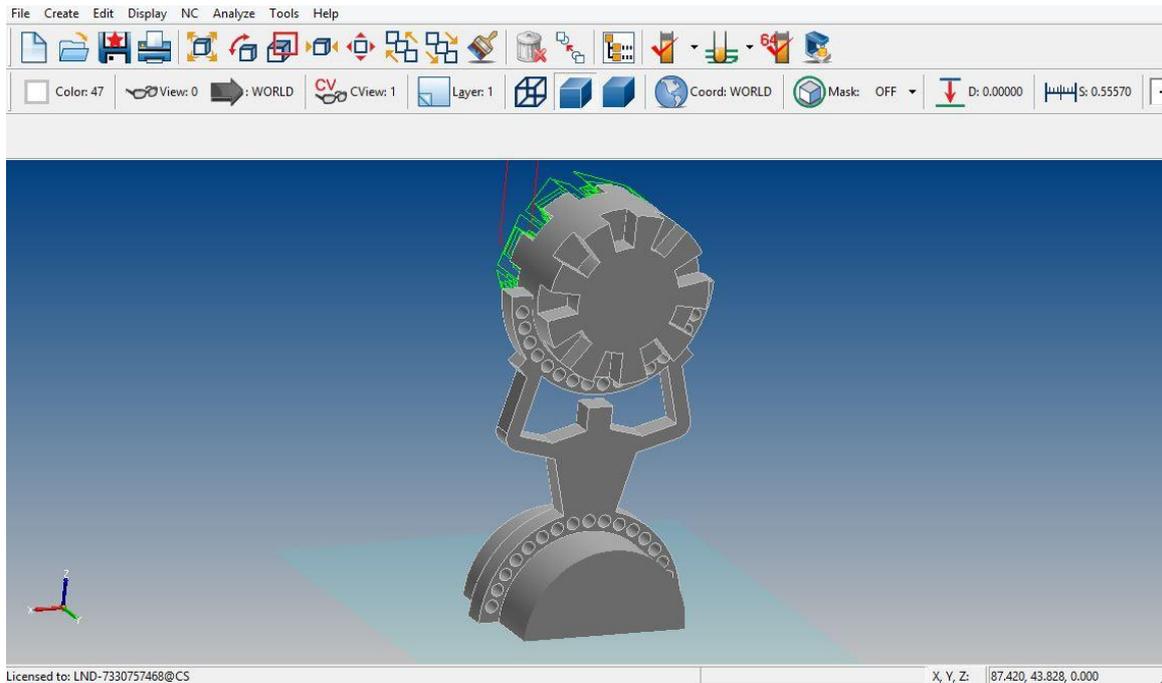


Figura 3.53 Trayectoria proceso 7 parte trasera.

- **Proceso 8: Acabado engranaje del cilindro, parte dos.**

En este proceso mecanizaremos las áreas de los dientes del engranaje del cilindro cuyos vectores normales se encuentran contenidas en el plano Z. Para ello, nos iremos a la pestaña “NC”, dentro de esta elegimos “5 Axis” y seleccionamos “Multi-Surface Swarf”.

En las figura 3.54 y 3.55, se muestran las trayectorias de mecanizado para las partes delantera y trasera respectivamente.

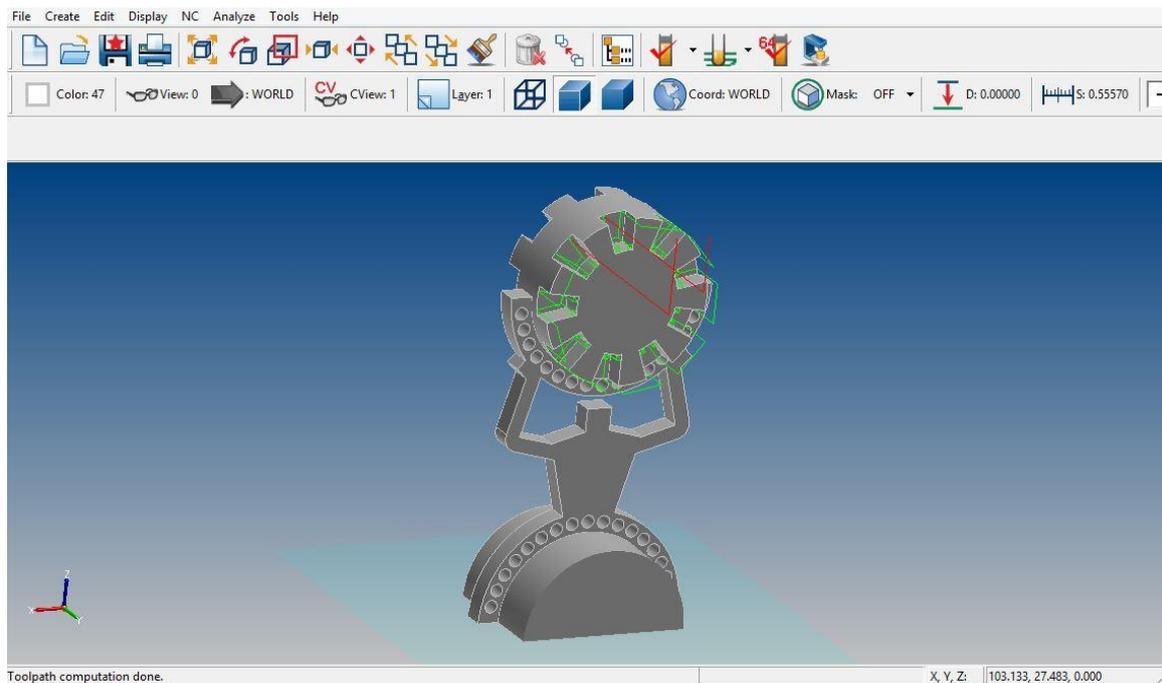


Figura 3.54 Trayectoria proceso 8 parte delantera.

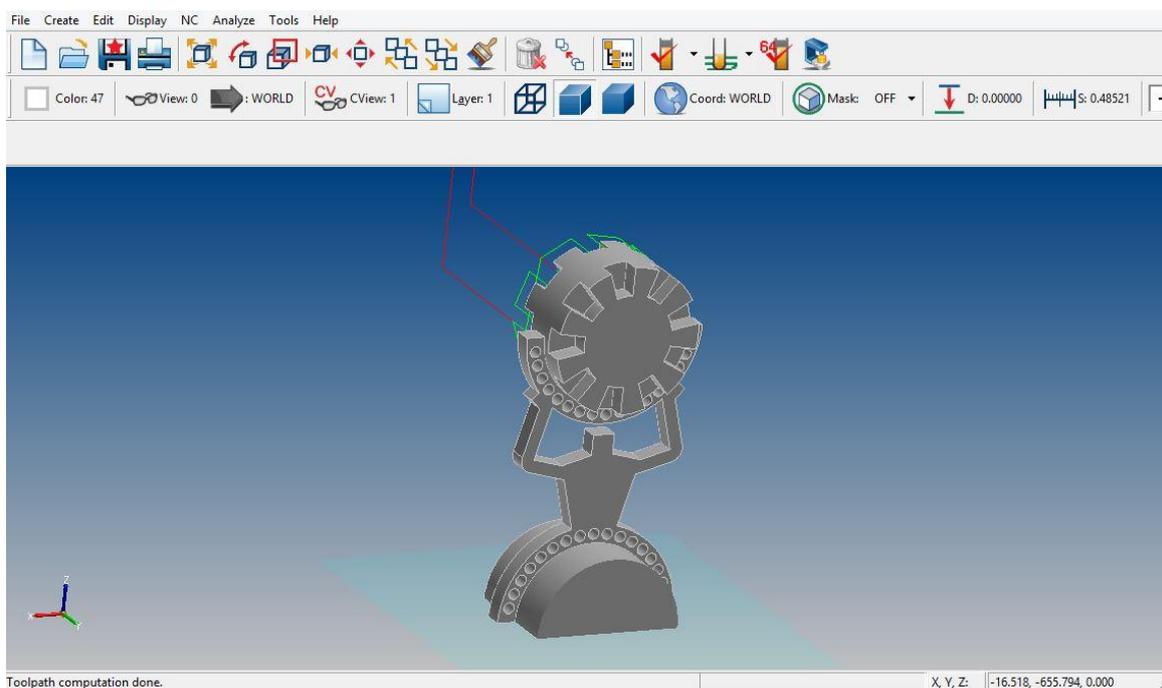


Figura 3.55 Trayectoria proceso 8 parte trasera.

Con estos 8 procesos tenemos completada la mecanización de la pieza diseñada, a partir de un bloque de *stock* cilíndrico de 200 mm de diámetro y 120 mm de altura.

Una vez configurado todos los procesos y comprobado que la simulación del mecanizado completo de la pieza está conforme a nuestras exigencias, pasaremos

a obtener el archivo a cargar en IRBCAM, para poder simular el mecanizado completo en nuestro robot. Para ello seguiremos el mismo procedimiento visto al final de la sección 3.2.1.2 “Obtención de las trayectorias de mecanizado”.

3.2.2.3 Obtención del programa en lenguaje KRL

Para la obtención del programa que cargaremos al robot, utilizaremos de nuevo el software IRBCAM 2012B.

Para el mecanizado de la pieza en este caso, hemos utilizado 5 grados de libertad, que nos proporcionan la posibilidad de programar la situación y orientación de la herramienta en cualquier punto del espacio. Debido a esta libertad, hemos configurado procesos que provocan en la herramienta unas trayectorias de mecanizado que rotan alrededor de la pieza y que son paralelas a la base de la misma, este movimiento de rotación, que en el SURFCAM no nos daba ningún problema, a la hora de ver como se comportaría el robot que llevara a cabo dichos procesos de mecanización, nos surgen ciertas dudas en la posibilidad de realización por parte del mismo. Uno de los problemas que nos podríamos encontrar, sería la imposibilidad que ofrecen las propias medidas del robot para llegar a puntos situados en la cara trasera de la pieza, siendo ésta la cara de la pieza que no enfrenta al robot. Pero entonces se nos podría ocurrir, por ejemplo, fijar la base del robot al techo dándole la vuelta a éste, colocándolo cabeza abajo, de esta forma si colocásemos la pieza en el suelo haciendo coincidir el eje Z de ambos, tendríamos que el robot podría conseguir que la herramienta realizase las trayectorias de rotación alrededor de la pieza. Pero, debido a que todo el robot realiza el movimiento de rotación alrededor de la pieza, observaríamos que el consumo eléctrico es elevado, nos aparecerían fuerzas inerciales que provocarían pérdida de precisión en la herramienta, etc.

Por tanto, para evitar todos estos problemas, IRBCAM nos ofrece una solución bastante interesante, se trata de colocar un eje externo al robot, es decir, eliminar el movimiento sobre un eje que tendría el robot y provocar ese movimiento sobre la pieza. Para ello, colocaremos una base rotatoria sobre la que estará la pieza que vayamos a mecanizar, eliminando de esta manera el movimiento de rotación que debía producir la herramienta sobre la pieza. La configuración del modelo de simulación, compuesto por el robot y el entorno de trabajo, se detalla en los siguientes puntos, obviando aquellos ya descritos en la sección 3.1.3 “Obtención del programa en lenguaje KRL”.

- 1 Para este mecanizado utilizaremos el robot KUKA KR 60-3 y la herramienta descrita para el proceso de fresado usando 3 ejes de libertad, que se puede ver en la imagen 3.32 de la sección 3.2.1.3 “Obtención del programa en lenguaje KRL”.

2 En la selección del eje externo, que puede ser una base rotatoria sobre la que colocar la pieza o una base plana sobre la que se mecaniza la pieza, seleccionaremos una base rotatoria, como se muestra en la figura 3.56, elegimos la opción de “*Station With Rotary Axis*”. Una vez seleccionada la base rotatoria nos aparece una ventana donde, como se observa en la figura 3.57, especificaremos la situación y orientación de la misma mediante la especificación de los siguientes parámetros:

- Rotary Axis: X: 1750,00 mm; Y: 0,00 mm; Z: 500,00 mm.
- Rotary Axis: RX: 0,00 deg; RY: 0,00 deg; RZ: 0,00 deg.

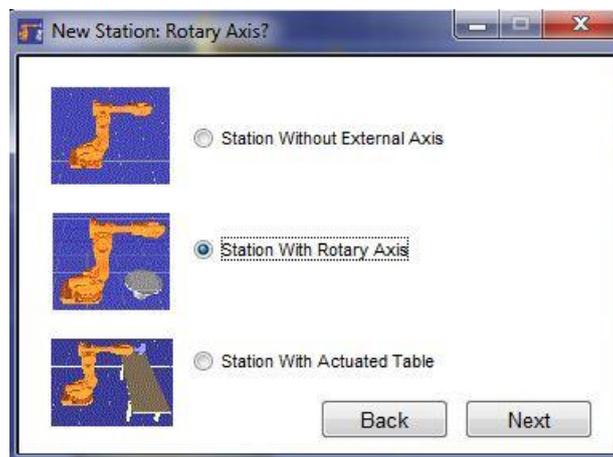


Figura 3.56 Elección base rotatoria.

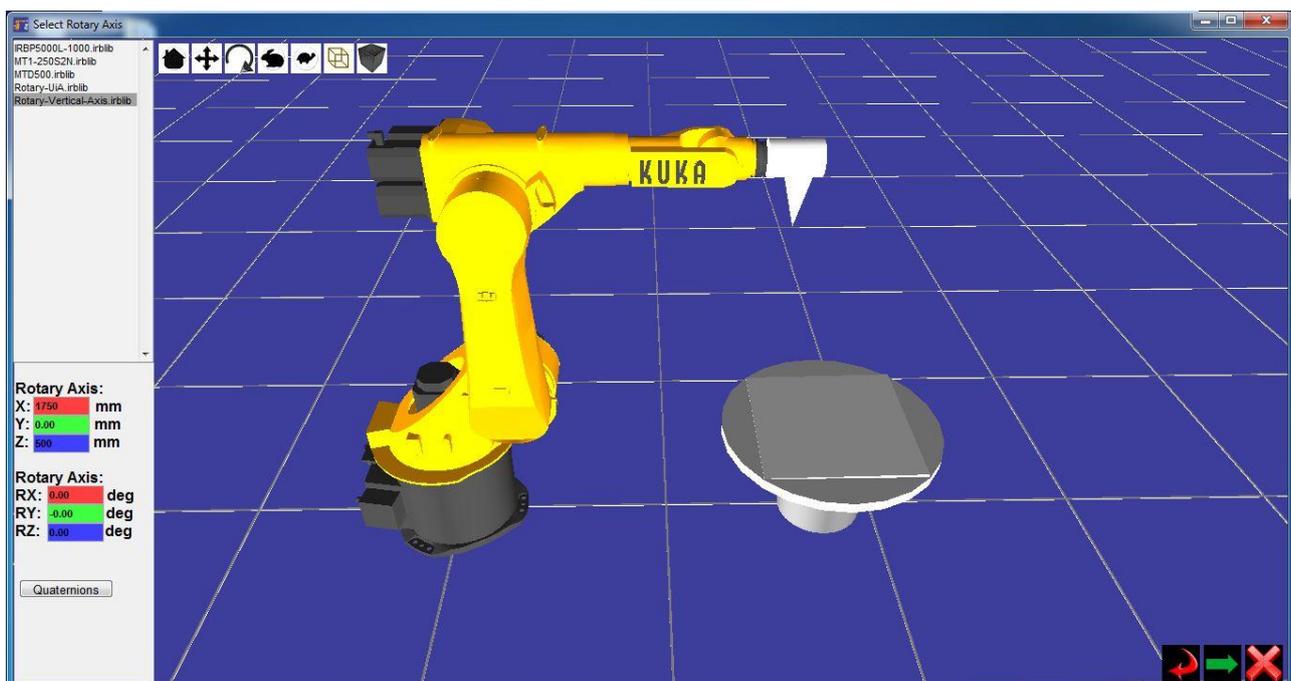


Figura 3.57 Especificación parámetros de la base rotatoria.

- 3 Para nuestro entorno no definiremos objetos de usuario ni bloques.
- 4 Abrimos el archivo APT con el programa de mecanizado de nuestra pieza. A continuación, verificamos que todos los pasos para la mecanización de la pieza son realizables por el robot, para ello, nos vamos a la pestaña “*Tools*” y seleccionamos “*Configure Path*”, a continuación nos aparecerá un menú de configuración donde podemos modificar parámetros como el ángulo de mecanización de la herramienta, en nuestro caso dejaremos los valores como los que podemos ver en la figura 3.58. Cabe destacar en este punto, la especificación del eje externo rotatorio, de no ser así, la base actuará como una mesa redonda rígida que no produce ningún movimiento sobre la pieza, para especificar que dicha mesa rota, en la casilla de “*Rotary Axis Mode*” seleccionamos “*Dynamic Angle 1*”.

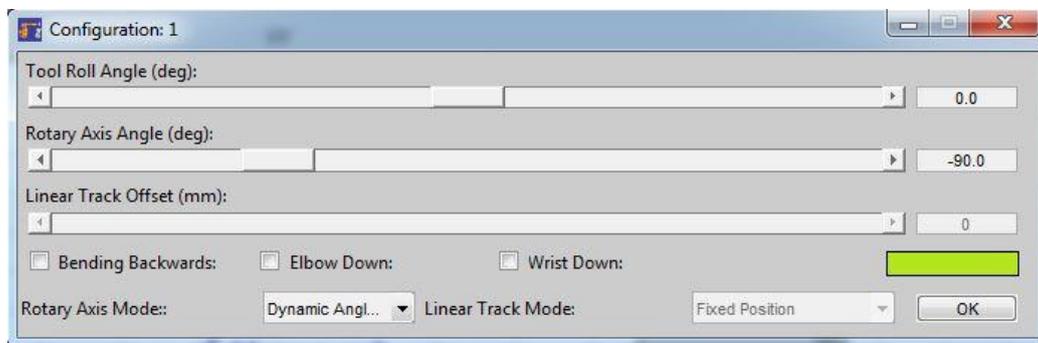


Figura 3.58 Menú de configuración “Configure Path”.

- 5 Si la configuración es la correcta, veremos que todos los puntos del mecanizado han sido verificados correctamente, por lo que por ultimo solo nos queda simular el proceso, en la figura 3.59 podemos observar una imagen de dicha simulación.

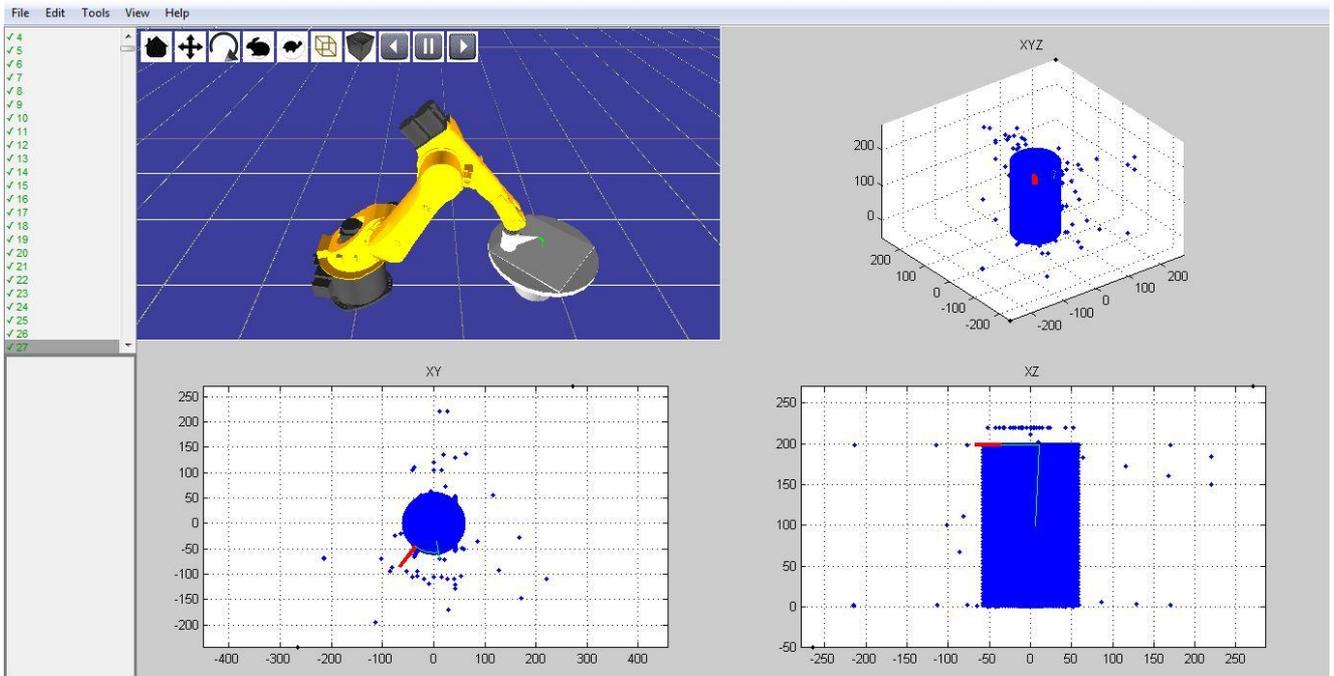


Figura 3.59 Simulación.

6 Las estadísticas del mecanizado de la pieza quedan reflejadas en la figura 3.60.

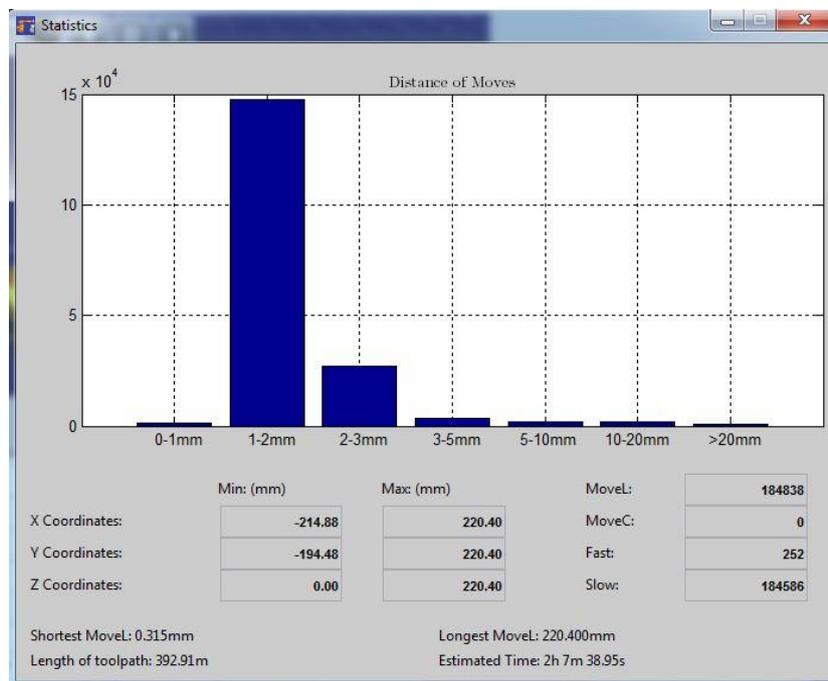


Figura 3.60 Estadísticas del proceso de mecanizado.

Por último, una vez tenemos bien configuradas las rutas y vemos que la simulación es correcta, pasamos a obtener el programa en lenguaje KRL que cargaremos al robot, para ello seguiremos los pasos descritos en el punto 14 de la sección 3.1.3

“Obtención del programa en lenguaje KRL”. Al igual que explicamos en el punto 5 de la sección 3.2.1.3 “Obtención del programa en lenguaje KRL”, deberemos tener cuidado con el tamaño de los archivos SRC de salida, para controlar el número de ellos.

4 ENSAYOS Y RESULTADOS

Finalmente, por diversos motivos no hemos podido contar con la herramienta de corte por plasma durante la ejecución del trabajo, debido principalmente a que los esfuerzos se han concentrado en el diseño del soporte de la amoladora en la herramienta de fresado, por ello los ensayos que se presentan a continuación son todos ensayos de fresado. Antes de pasar a los ensayos, comentar que para la realización de estos se ha utilizado como materia prima el poliestireno extruido, gracias a que es un material resistente que a su vez ofrece poca resistencia a la herramienta de fresado, por lo que los tiempos en los mecanizados pueden disminuirse notablemente sin perjudicar la integridad de la pieza.

Comentar también que, como se muestra en las imágenes de los ensayos, figuras 4.1, 4.2 y 4.3, las piezas resultantes del mecanizado presentan cierto margen de stock en la base, esto es debido al sistema de sujeción de la pieza a la mesa, que se ha llevado a cabo mediante amarre con fijadores metálicos, que nos impedían llevar el mecanizado hasta cotas muy cercanas a la mesa.

Por último, antes de dar paso a la descripción de los ensayos, agradecer a José Manuel Mangas, Rafael Leal, Eugenio Abengózar y a **Coveless** en general la disposición de los equipos utilizados durante la elaboración del proyecto, así como el trato recibido durante la ejecución de las piezas en la empresa, ayudando y facilitando soluciones cuando encontrábamos problemas en el mecanizado.

A continuación presentamos tres ensayos, explicando en cada uno los objetivos buscados.

4.1 Ensayo de fresado 1

En el ensayo 1 se mecanizará la pieza de la figura 4.1, en dicha figura podemos ver a modo de comparación el diseño en SolidWorks con el resultado final de mecanizado. Dicha figura está compuesta únicamente por superficies planas paralelas o perpendiculares al plano Z, esta se ha llevado a cabo utilizando únicamente 3 ejes del robot, y con su mecanizado buscábamos tomar contacto con los sistemas de coordenadas programados, situando en el entorno de trabajo real sistemas de coordenadas claves en el proceso, como puede ser el sistema de coordenadas de la pieza o el sistema de coordenadas de la punta de la herramienta.



Figura 4.1 Ensayo de fresado 1.

4.2 Ensayo de fresado 2

En el ensayo 2 se ha mecanizado la pieza de la figura 4.2, en dicha figura podemos ver a modo de comparación el diseño en SolidWorks con el resultado final de mecanizado. Dicha figura incorpora superficies esféricas y el mecanizado ha sido realizado utilizando 3 ejes del robot. Con este mecanizado queríamos observar el acabado que puede llegar a producir el fresado de 3 ejes en superficies esféricas, siendo el resultado muy satisfactorio.



Figura 4.2 Ensayo de fresado 2.

4.3 Ensayo de fresado 3

En el ensayo 3 se ha mecanizado la pieza de la figura 4.3, en dicha figura podemos ver a modo de comparación el diseño en SolidWorks con el resultado final de mecanizado. Dicha figura está compuesta casi en su totalidad por superficies curvas y su mecanizado se ha llevado a cabo utilizando 5 ejes del robot. Con este mecanizado buscábamos comprobar la posibilidad de realizar fresado con orientación de la herramienta, siendo el acabado de mayor calidad para las superficies curvas.

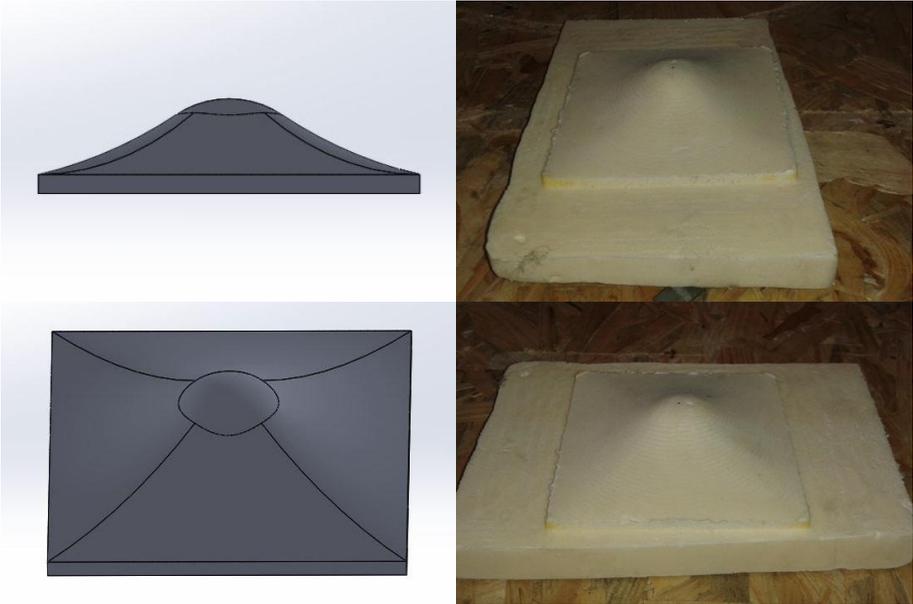


Figura 4.3 Ensayo de fresado 3.

5 CONCLUSIONES

Finalizado el proyecto, podemos observar que el rango de posibilidades de mecanizados que podemos llevar a cabo, siguiendo exclusivamente lo indicado en este proyecto, es muy amplio. Para la tarea de corte podremos automatizar cualquier tipo de tarea, ya que el único impedimento notable que nos encontramos será la dimensión del espacio de trabajo, quedando este solventado con una buena elección de los equipos de automatización. Para la tarea de fresado, se recoge en este proyecto, dos procesos de configuración, con 3 ejes podemos hacer frente cualquier tipo de fresado de una cara, siendo solo el factor de dimensión de la pieza el único a tener en cuenta a la hora de programar la tarea, y con 5 ejes podemos hacer frente a fresados en todas las caras de la pieza, aumentando el volumen de trabajo del robot con la ayuda de una base rotatoria.

En el párrafo anterior, nombramos como posible problema más importante a la hora de llevar a cabo la automatización de la tarea de corte o fresado, la dimensión del espacio de trabajo. Solo mencionamos este, porque a la hora de programar la tarea, en principio solo nos interesan las dimensiones de la pieza, obviando en cierta medida el tipo de material o de herramienta que usemos, ya que este aspecto debe haber quedado solucionado mucho antes de la programación, y en caso de no ser así, la solución ante estos problemas se resuelve prácticamente, modificando, por ejemplo la velocidad del proceso si vemos que el resultado obtenido del mecanizado no es el deseado.

Como se observa en las figuras 4.1 y 4.2, la pieza resultante en el mecanizado no posee taladros, a diferencia de la pieza en el diseño. Esto se debe a que el software SURFCAM programa los taladros de tal manera que el software IRBCAM no es capaz de entenderlos correctamente, siendo el resultado en el programa en lenguaje KRL el siguiente: el programa realizará correctamente el primer taladro pero sin subir la herramienta se desplazará a las coordenadas de los otros taladros subiendo la herramienta al finalizar el último, el resultado en la pieza será un surco que comprenderá todos los taladros. El resultado "inmediato" que hemos encontrado, es incorporar al programa de salida las líneas de comando que hagan falta para subir y bajar la herramienta en cada taladro, teniendo que agregar dos líneas de comando por taladro, excepto en el primero y el último, con una línea programamos la subida y con otra la bajada en cada taladro. Por lo que el mecanizado de taladros necesita especial atención a la hora de programarse.

Para el uso correcto de 5 ejes en el robot necesitamos tener un calibrado exacto en la herramienta, necesitamos saber, con precisión mínima de unos de 10 micrómetros, las dimensiones de la herramienta, ya que si las dimensiones no coinciden con las especificadas en el programa pueden producirse desperfectos en la pieza. Un error común lo producíamos al instalar la fresa en la amoladora, en los cambios de fresa variábamos las dimensiones de la herramienta respecto a las que

teníamos especificadas en el programa, causando daños en la pieza. Se recomienda por tanto el uso de elementos “Poka-Yoke” que faciliten la instalación de la fresa. Entendemos por Poka-Yoke al conjunto de métodos y elementos que impiden que un error humano pueda trascender al producto, en el caso que nos concierne podría tratarse de una herramienta que regula la longitud que debe sobresalir la fresa de la amoladora, con la idea de mantener constante las dimensiones del conjunto cuando se produzca cualquier tipo de manipulación sobre la fresa.

Viendo las características dinámicas y físicas de estos tipos de robots, en principio, cualquier proceso industrial puede ser adaptado para realizarse mediante estos robots, provocando en el proceso un aumento de la flexibilidad y la capacidad.

6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Real academia española. Diccionario usual.
<<http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=imcn6HB5MDXX2xykhgA0>>.
- [2] Teoría de taller. La máquina herramienta, página 21.
<<http://www.fnmt.es/documents/10179/131204/Documentaci%C3%B3n+-+Teor%C3%ADa+de+Taller+III/6c147019-1a02-400e-9eb9-2b78a96962ac>>.
- [3] Docsetools. Artículos útiles. Automatización.
<http://docsetools.com/articulos-utiles/article_112060.html>.
- [4] Francisco Tornero, Mecanizado por Control Numérico, Editorial S.L. Ediciones CEYSA. Cano Pina, 2012.
- [5] Manuel Sánchez Fulgueira, Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de virutas, Editorial IC, 2012.
- [6] Página oficial del software dxf2gcode.
<<http://dxf2gcode.sourceforge.net/>>.
- [7] Manual de usuario de IRBCAM,
<<http://www.lrbcam.com>>.
- [8] Hoja de características KUKA KR 60-3,
<http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_30_60-3_en.pdf>.
- [9] Hoja de características KR c 2,
<http://www.elecraft.com/manual/KRC2_man_rev_C.pdf>.
- [10] Fundamentos teóricos de la cortadora por plasma,
<<http://fabricame.com/corte-plasma/>>.
- [11] Fundamentos teóricos de la fresadora,
<<http://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/fresadoras-que-son-y-para-que-sirven>>.
- [12] Amoladora recta BOSCH,
<<http://www.bosch-professional.com/es/es/ggs-28-ce-24727-ocs-p/>>.