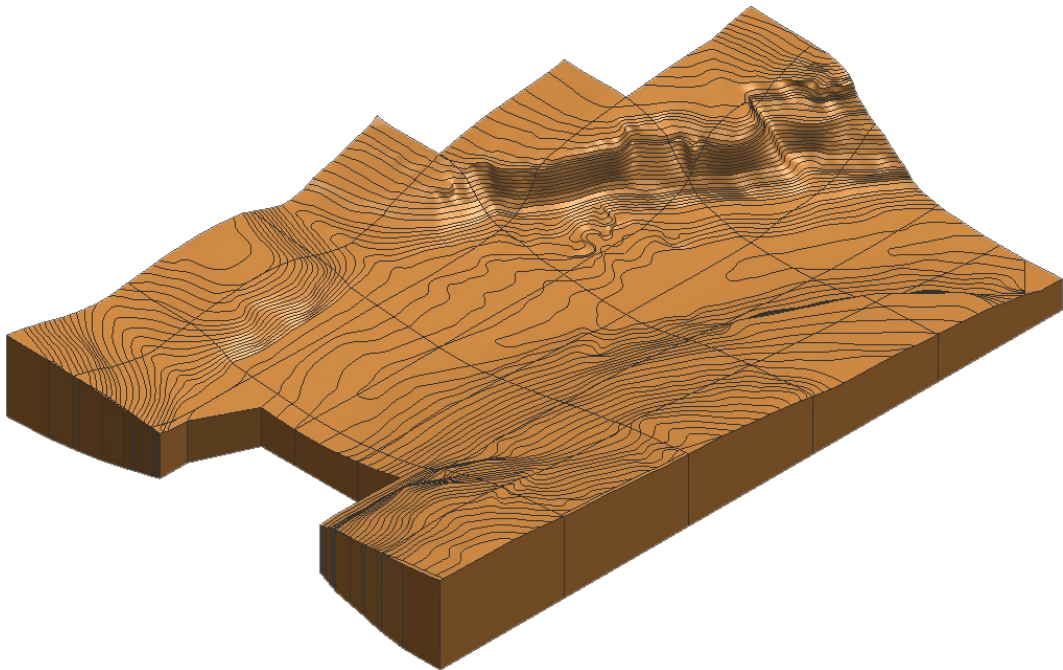


MASTER EN DISEÑO Y FABRICACIÓN CAD-CAM-CIM

INTEGRACIÓN CAD/CAM/ROBÓTICA

**MODELACIÓN FÍSICA DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE
UNA PRESA EN EL CAUCE DEL VERNISSA, EN TERRATEIG**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ASOCIACIÓN DE
INVESTIGACIÓN
EN DISEÑO Y
FABRICACIÓN

AUTOR: ANÍBAL LLAMAZARES REY

TUTOR: JOSEP TORNERO MONTSERRAT

ÍNDICE TESINA PROYECTO TERRATEIG, MODELACIÓN OROGRÁFICA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	PÁGINA 3
CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	PÁGINA 7
CAPÍTULO 3. TRATAMIENTO CAD MEDIANTE LA HERRAMIENTA CAD-CAM-CAE NX.....	PÁGINA 9
CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN CAD-CAM-ROBÓTICA. POSTPROCESADOR Y ROBOMOVE.....	PÁGINA 23
CAPÍTULO 5. FABRICACIÓN ROBOTIZADA.....	PÁGINA 28
CAPÍTULO 6. MANUAL DE USUARIO.....	PÁGINA 32
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES FINALES, AGRADECIMIENTOS Y TRABAJOS FUTUROS.....	PÁGINA 74
CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA.....	PÁGINA 76

- CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN Y MOTIVACIÓN DE LA TESINA

El objetivo de esta tesina consiste en reflejar el proceso llevado a cabo para el diseño y la fabricación de un modelo físico, a escala 1:50, para estudiar el comportamiento hidráulico en el Cauce del Vernissa, en Terrateig. El modelo físico representa la orografía de dicho cauce. Lugar donde se construirá una presa para el control y laminación de riadas en la cuenca media del Serpis, que afecta al cauce de este río, al de su afluente, el Vernissa, y al del barranco de Beniteixir, entre la Font d'en Carròs y Beniarjó.

Este es un proyecto impulsado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino a través de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Parte del proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de control y monitorización capaz de reproducir avenidas de aguas. Para ello Acuamed (sociedad estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas S.A. que tiene por objeto la contratación, construcción, adquisición y explotación de toda clase de obras hidráulicas) encarga a la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de la UPV (ICCP-UPV) la fabricación de un modelo físico para realizar los estudios oportunos. Dicho modelo físico fue diseñado y fabricado por el Instituto de Diseño y Fabricación (IDF) de la UPV.

La ICCP-UPV se encargará de analizar los alcances del encauzamiento inmediatamente aguas arriba y aguas abajo de la presa en el tramo fluvial comprometido con la estructura.

LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y LOS MODELOS FÍSICOS

Los modelos físicos, hidráulicos u Orográficos es una herramienta valiosa para abordar este tipo de proyectos. A través del empleo de estos se pretende resolver el problema de armonizar aspectos como la eficiencia, la seguridad y el coste.

Los fenómenos hidráulicos son tan complejos que no es posible analizarlos y describirlos totalmente. Uno de los instrumentos más poderosos de que se dispone para tratar de conocer y comprender el comportamiento del agua en la Naturaleza y su interacción con la estructura u/o estructuras, se encuentra en la investigación mediante modelos matemáticos y/o físicos. Ambos se complementan.

Para el Proyecto de Terrateig se ha optado por un modelo físico ya que la simulación matemática mediante métodos numéricos no proporciona resultados fiables.

Un modelo, físico o matemático, es una representación simplificada de una realidad natural y, en muchos casos, de las obras construidas en ella.

EL USO DE TÉCNICAS ASISTIDAS POR ORDENADOR PARA LA REALIZACIÓN DE MODELOS FÍSICOS

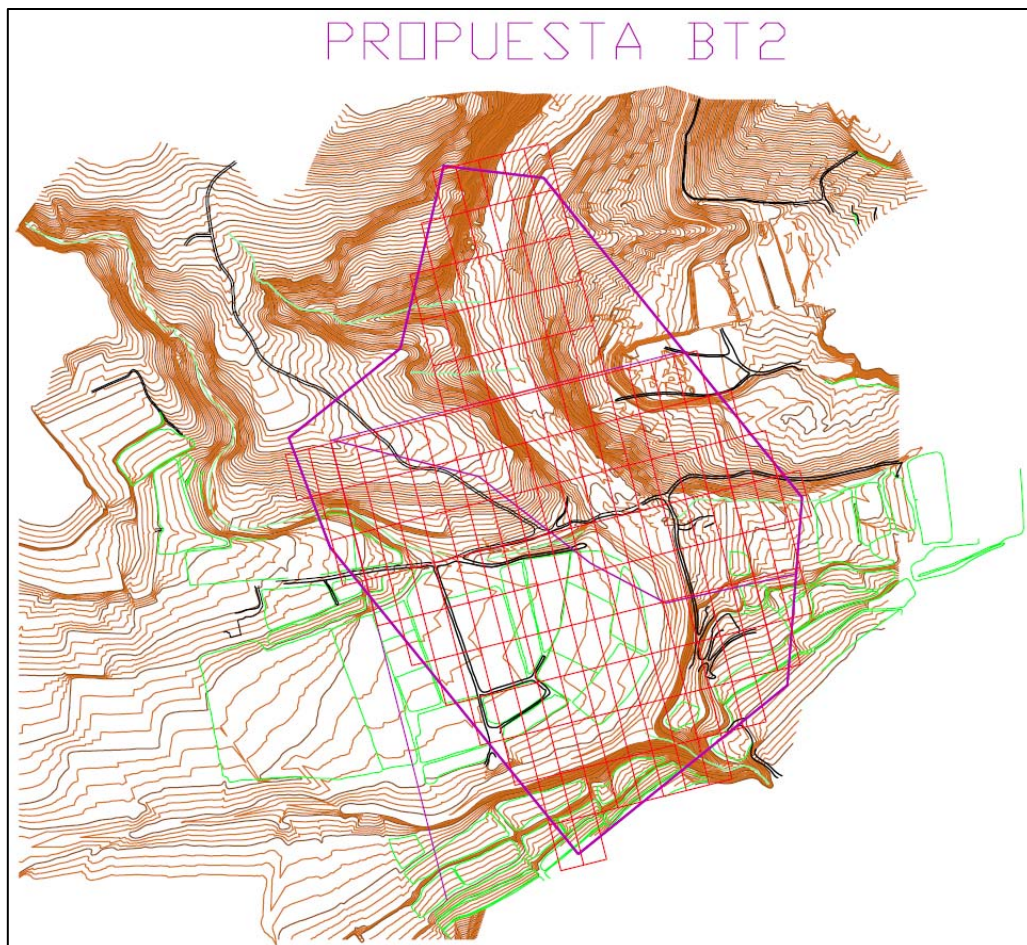
La construcción de modelos físicos a través de técnicas asistidas por ordenador (CAD, CAM, CAE, CAQ, CAPP, RP, etc.) permite abordar con éxito cualquier proceso de diseño y fabricación. Para realizar de manera eficiente el modelo es necesario integrar las técnicas mencionadas bajo una perspectiva global.

El punto de partida son unos planos topográficos del cauce y un informe (Tanteos encaje Embalse de Terrateig) con las posibles distribuciones contempladas y la distribución escogida. (la orografía está distribuida en 174 bloques de $\frac{1}{2}$ m² de área que reflejan una porción de la orografía a modelar). La documentación fue proporcionada por la CHJ.

El modelo realizado por el IDF supone el inicio para la aplicación del resto de técnicas asistidas. La importancia de la fase de modelado o CAD es crucial. Los resultados del CAE, CAM, RP, etc. Dependen totalmente del modelo realizado.

ESTRUCTURA DE LA TESINA

La tesina está estructurada en 8 capítulos. En el 1º capítulo se hace una breve introducción del trabajo a realizar y la motivación de este. En el 2º capítulo se define el punto de partida del proyecto y los problemas a los que habrá que dar solución. Los tres capítulos siguientes (3, 4 y 5) hacen referencia al tratamiento CAD-CAM-Robótica llevado a cabo. El sexto capítulo refleja, paso a paso, el modo de proceder para abordar trabajos de esta índole. Se trata de confeccionar un manual de usuario con los pasos a seguir. También se incluye un séptimo capítulo con conclusiones finales, agradecimientos y trabajos futuros. Por último, el octavo capítulo, muestra la bibliografía consultada.



(Aspecto del Archivo inicial DWG con las línea de nivel del embalse de Terrateig)

PROPUESTA ALINEACIÓN BT2 – Elementos ortogonales al cuerpo de presa, con redondeo que elimine los elementos de esquina y eliminación de elementos con criterio topográfico. Con 2 niveles de precisión

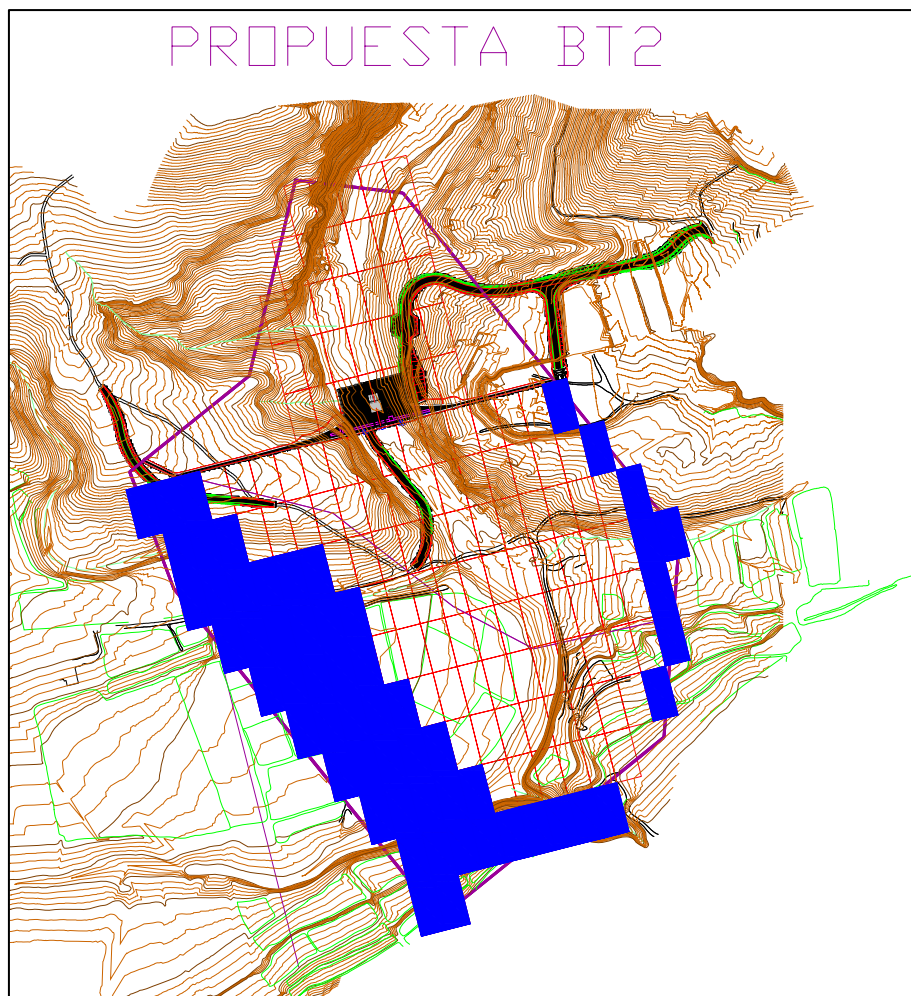
Nº Elementos ag. arriba de la presa con alta precisión: 85

Nº Elementos ag. arriba de la presa con baja precisión: 57

Nº Elementos ag. abajo de la presa: 34

Nº total de elementos: 176

En azul se representan los elementos de menor precisión.



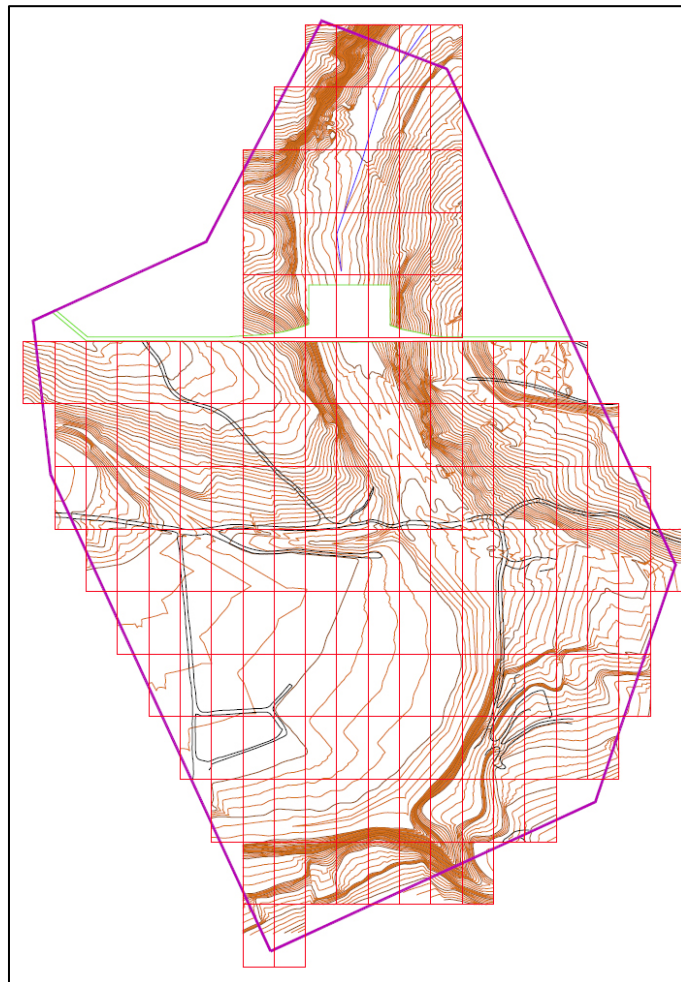
(Extracto del documento "Tanteos encaje Embalse de Terrateig")

- **CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

Como se ha comentado, en el capítulo anterior, el punto de partida fueron unos planos topográficos proporcionados por la CHJ. Los planos son curvas de nivel dotadas de cota. Este archivo está en extensión DWG de AutoCAD. La estrategia escogida consistió en dotar de relieve a esas curvas de nivel y obtener una malla o superficie que posteriormente se mecanizó. Este trabajo requirió un exhaustivo tratamiento de todas las curvas, una a una, ya que estas presentaban diversos problemas. A continuación se describen algunos de los problemas a los que hubo que dar solución:

1. El Archivo de Autocad era muy pesado. Necesidad de reducir el tamaño de archivo. Resultaba conveniente eliminar todo aquello que no fuera necesario para la confección de la malla. El archivo contenía curvas o tramos de curvas que se salían del área a modelar. Modelar esos tramos suponía un coste computacional y de tiempo innecesario, con lo que se optó por eliminar todo aquello que no estuviera dentro el área comprendida por los 174 bloques de EPS (Poliestireno expandido).
2. Al analizar las curvas se observó que tenían una gran cantidad de puntos de definición y que la separación de estos era mínima. Además, la mayoría de esas curvas presentaban tramos mal definidos con dientes de sierra (picos en las curvas) y diferentes conexiones (curvas partidas). Por tanto hubo que tratar cada curva, una a una, para garantizar la construcción del mallado.
3. AutoCAD, no es un programa adecuado para la construcción de superficies que posteriormente serán mecanizadas. Surge la necesidad de elegir un programa para la construcción de estas. Se escogió NX como solución comercial para la fase CAD-CAM. Nos sobrevino otro problema, el de la exportación e importación de archivos. Algunas curvas se deformaban y perdían definición. Esto supuso tratar algunas curvas dentro de AutoCAD antes de ser exportadas.

4. El Archivo no tenía un Sistema de Coordenadas definido. Se creó uno que hacía origen en el vértice del bloque inferior izquierda (el 175) y se rotó el archivo para hacerlo paralelo al Sistema de Coordenadas. Además se levantó el conjunto de curvas 240 mm desde la cota más baja. Esto se hizo porque un requisito, de la maqueta, era fijar la altura mínima en 240 mm.
5. El archivo estaba a Escala Real y en metros. Esto no es un problema propiamente dicho, pero resultaba conveniente escalar el archivo. La Escala a la que había que construir la maqueta era escala 1:50. Se escaló el archivo y además se pasó a mm. De este modo conseguimos tener una noción real del tamaño de la maqueta a realizar y se evitan posibles errores.



(Aspecto del Archivo una vez tratado en AutoCAD)

- **CAPÍTULO 3. TRATAMIENTO CAD MEDIANTE LA HERRAMIENTA CAD-CAM-CAE NX.**

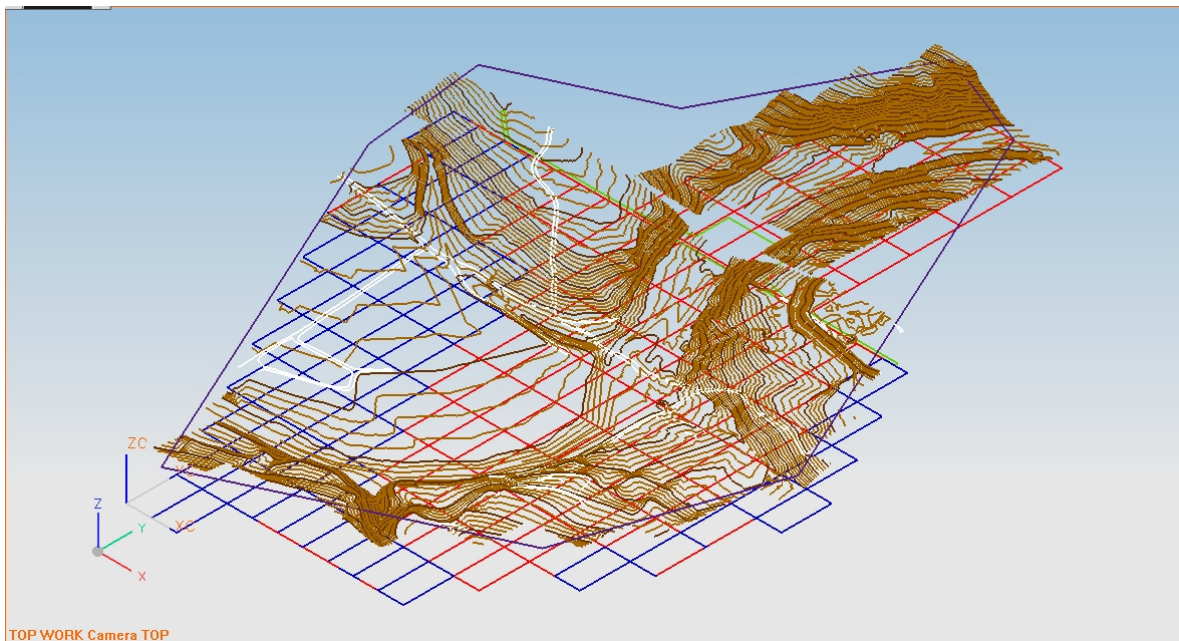
En el mercado existen diferentes soluciones CAD-CAM para realizar un proyecto como este. CATIA, SOLIDWORKS, POWERSHAPE/POWERMILL, PROENGINEER, MASTERCAM, INVENTOR, AUTORUM, NX... con todos ellos se puede realizar una fase de diseño exitosa. Sin embargo, creo que es NX la herramienta que mejor integra las fases de diseño y mecanizado. Ambos módulos están integrados dentro de la misma interface y ello permite trabajar de modo paramétrico a tiempo real. ¿Qué significa esto? No necesito usar varios programas, las modificaciones que realizo en el modelo CAD se reflejan en el modelo CAM de manera automática.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CAD

Una vez tratado el archivo dentro de Autocad, para empezar a modelar la malla, lo primero que debemos hacer es importar el archivo a NX. Para importar el archivo, de AutoCAD a NX, NX posee un módulo de conversores que traduce a Prt (extensión nativa de NX) casi cualquier extensión estándar. Para ello hicimos uso de este módulo y convertimos nuestro archivo “dwg” en archivo “prt”. Dentro de la ventana en la que se especifican las opciones de importación escogimos como unidades los “mm” y como entidades a importar las “splines”.

Después de esto conseguimos tener nuestro archivo de curvas de nivel a escala 1:50, orientado y con un SCT definido y preparado para ser abierto en NX.

En la página siguiente se muestra el aspecto que tiene el archivo cuando se abre por primera vez en NX.



(Aspecto del archivo, en el programa NX, tras la importación y posterior apertura)

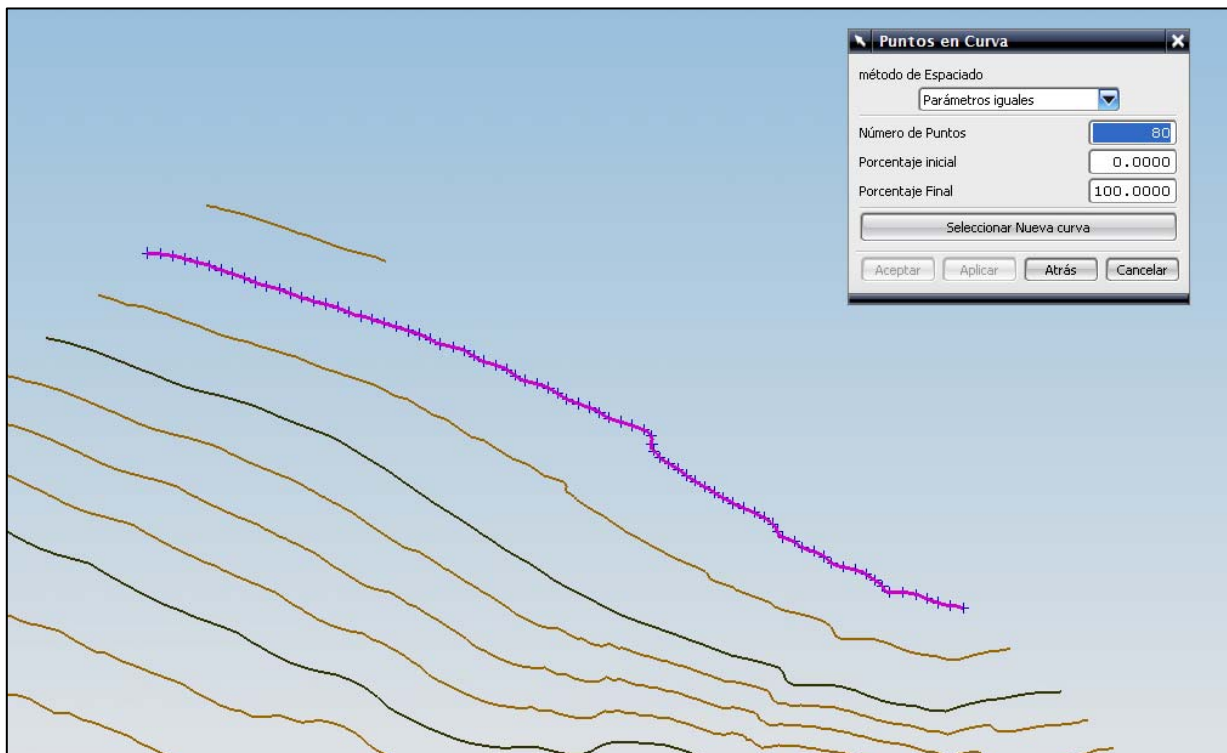
Una vez abierto el archivo se observó que la calidad de las líneas era baja e incluso mala y además poseían muchos puntos de definición que hacían que nuestro archivo adquiriera un tamaño considerable en MB (Mega Bytes).

Ese fue el momento de decidir como se iba a modelar la orografía en NX y de que herramientas se iba a hacer uso. Se optó por un modelado basado en la obtención de nuevas curvas (splines) a partir de las importadas y de la construcción de una malla (superficie) que abarcara el área a modelar (174 bloques). Básicamente lo que se hizo fue interpolar una malla a través de las nuevas curvas generadas.

Para ello, a las curvas existentes, le fueron asignados nuevos puntos de definición mediante el comando "Conjunto de puntos". La idea era rastrear la curva existente para obtener una nueva prácticamente igual. Los pasos serían los siguientes:

- INSERTAR
- CURVA
- CONJUNTO DE PUNTOS
- PUNTOS SOBRE CURVA

- PARÁMETROS IGUALES
- Se introduce el número de puntos que queremos asignarle a la curva. Para que la nueva curva se parezca a la importada es importante asignar un número de puntos suficiente. Por ejemplo, para una curva de 600 mm. 80 puntos pueden ser suficientes (Ver imagen)
- ACEPTAR

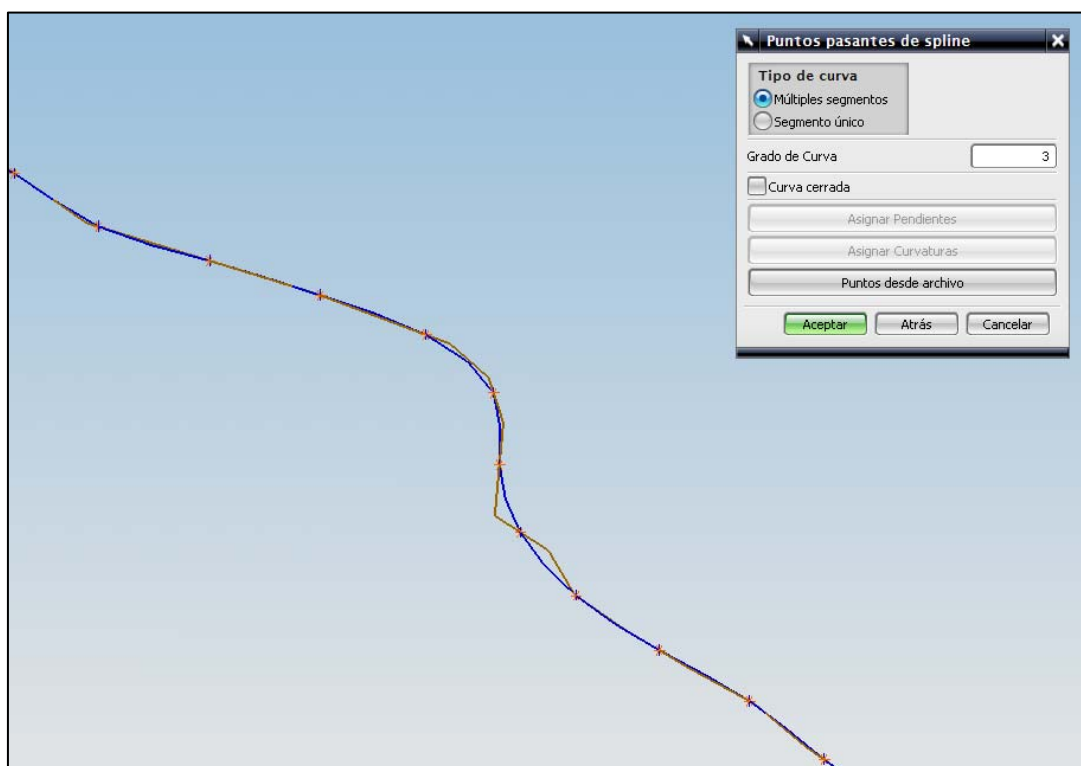


Después de la asignación de puntos se creó la nueva curva o spline. Del siguiente modo:

- INSERTAR
- CURVA
- SPLINE
- PUNTOS PASANTES
- En tipo de curva sería de “múltiples segmentos y grado 3”. No se recomienda dar mayor grado a las curvas si posteriormente van a ser mecanizadas. Aumentar el grado para las curvas del embalse de Terrateig

no mejorará sustancialmente la definición de la curva y, sin embargo, la cargará de muchos KB de memoria. Teniendo en cuenta que tenemos entre 300 y 500 curvas es importante ahorrar tamaño para poder mover el archivo y trabajar con el de manera adecuada.

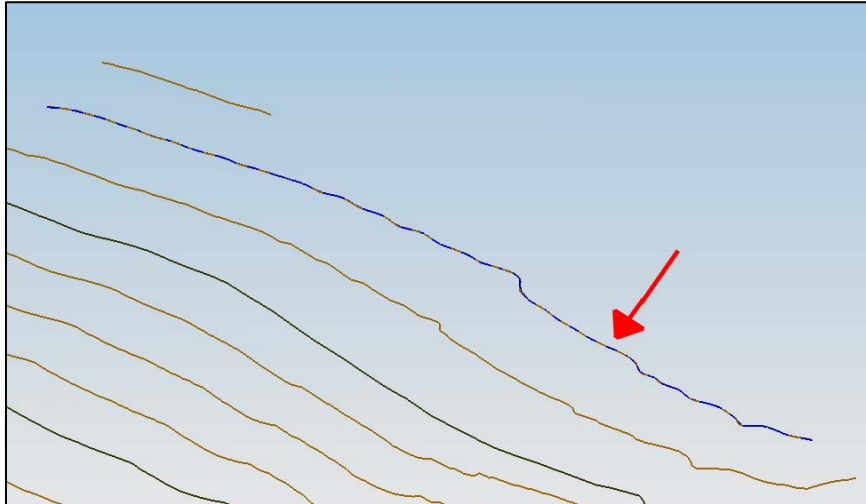
- ENCADENAR DESDE TODO
- Se selecciona el primer y el último punto y nos creará la spline (Ver imagen)
- ACEPTAR



La spline azul corresponde a la nueva curva obtenida y, como se puede apreciar en la imagen, pasa por los puntos de definición descritos en el paso anterior. Se observa que la spline se ajusta considerablemente a su predecesora (cuantos más puntos, más se ajustará. En contrapartida, más pesará el archivo).

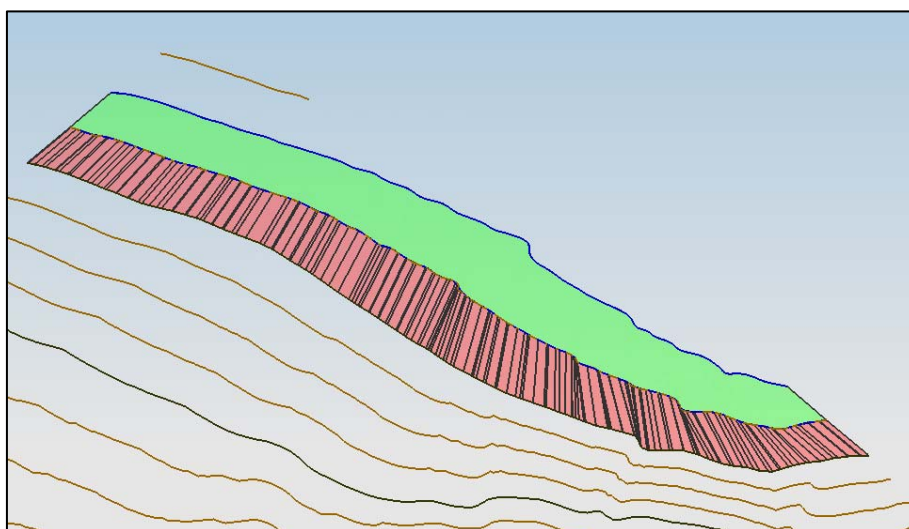
Después de esto se asignó una capa a los puntos que se fueron obteniendo y otra capa a las splines. Así se procedió con todas las curvas que componen el archivo.

Lo que se consiguió con esta estrategia fue reemplazar todas las curvas importadas por curvas nuevas. Curvas más ligeras, sin dientes de sierra o picos y en general más suaves.



(Spline azul sobre curva importada de AutoCAD)

A continuación se muestra la diferencia entre utilizar las curvas importadas y las obtenidas. El ejemplo corresponde a dos superficies contiguas creadas mediante el procedimiento de “superficie reglada”. Este tipo de superficies precisan de curvas de sección para generarse. La superficie Verde utiliza como curvas de sección las nuevas y la superficie roja utiliza como curvas de sección las importadas.



(Superficie curvas importadas VS Superficie curvas/splines generadas)

La superficie verde es más suave que la roja y, además, la roja se construye “como a trozos”. Son, como varias superficies para crear una única. Por las características de las curvas de sección la superficie roja generada dará problemas para ser “cosida” (proceso de unión entre superficies).

Hasta aquí, la finalidad es dejar claro la importancia que tiene tratar las curvas y transformarlas en curvas nuevas o splines. Como se verá, el mallado, mediante “superficie reglada”, no es el más adecuado.

OPCIONES DE MALLADO, ELECCIÓN DEL TIPO DE MALLADO, JUSTIFICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN BLOQUES

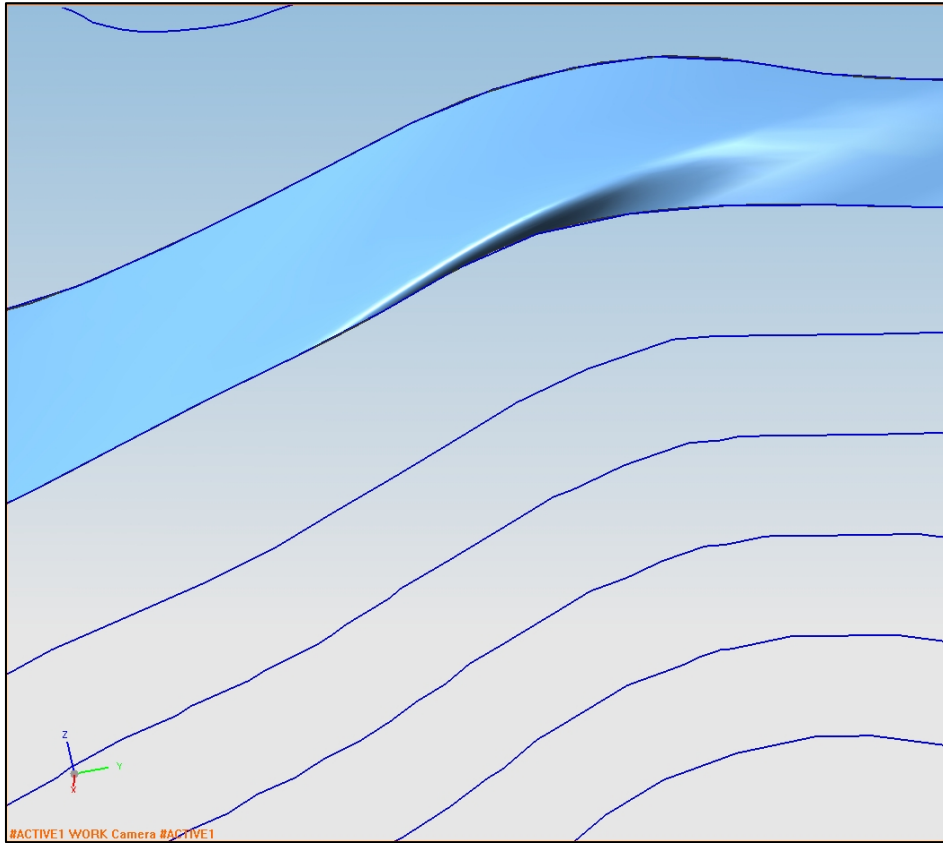
NX ofrece diversas alternativas para la obtención de una superficie o malla. En común tienen todas ellas que precisan de curvas para generarse. Dependiendo de que tipo de mallas queramos generar precisamos de bucles de curvas cerrados o abiertos. Para obtener esa malla se barajaron varias opciones y en el orden que se detalla. Obtención de una malla mediante

Superficie Reglada

La opción Superficie reglada crea un cuerpo reglado (laminar o sólido) con dos contornos de curva. Los contornos de curva se conocen como cadenas de sección. Una cadena de sección puede constar de un único objeto o de varios objetos y cada objeto puede ser uno de los siguientes: una curva, un borde de sólido o una cara de sólido. Puede también seleccionar un punto o un punto final de una curva como la primera de las dos cadenas de sección.

El problema de este método está en la alineación de los puntos que definen las curvas. Al no estar estos bien alineados unos con otros y resultar difícil su alineación arroja resultados insatisfactorios. Se obtiene una malla pero en estas se producen pliegues, se envuelve en si misma en ocasiones, se crean cavidades y formas extrañas... en definitiva se descartó.

A continuación se muestra un ejemplo del resultado obtenido por este procedimiento:



Mediante Curvas de paso

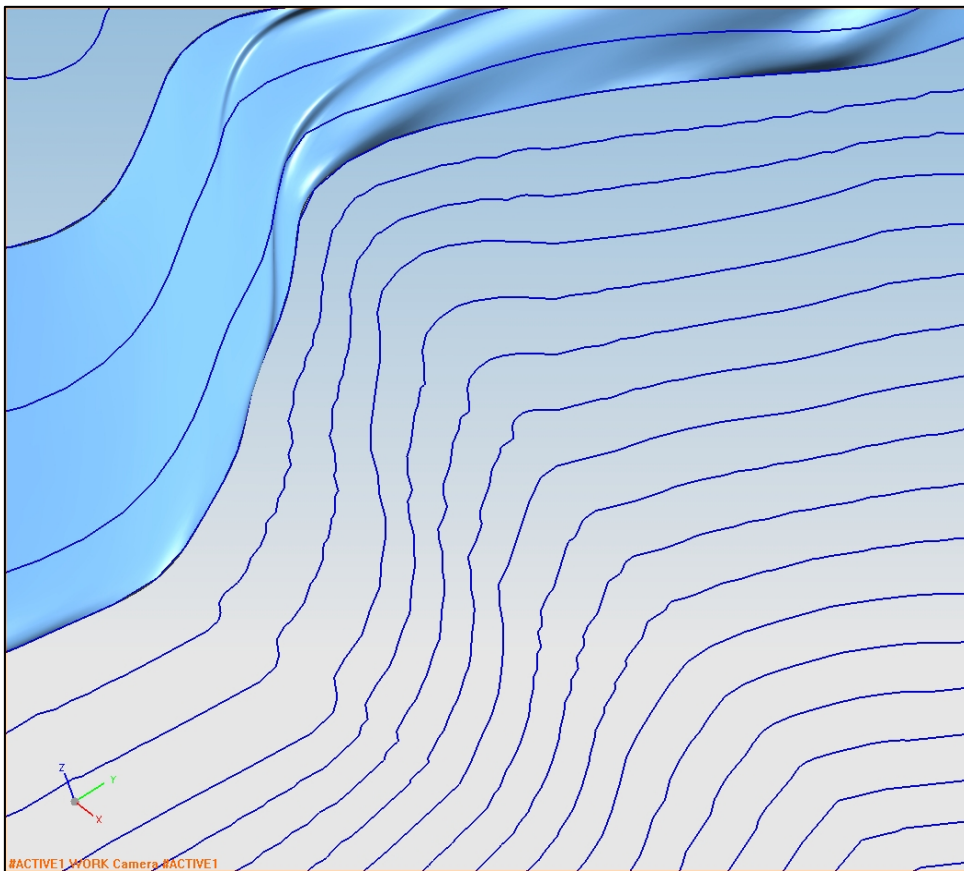
Este comando crea un cuerpo sólido o laminar a través de un conjunto de hasta 150 cadenas de sección. Una cadena de sección puede consistir en un objeto individual o varios objetos, y cada objeto puede ser una curva, un borde sólido o una cara sólida. Este comando se asemeja a “Superficie reglada”, con la excepción de que se pueden especificar más de dos cadenas de sección. También se puede:

- Obligar a la superficie a ser G0, G1 o G2 continua con superficies tangentes.
- Controlar la forma de la superficie alineándola a las cadenas de sección de varias maneras.

- Especificar parches de salida individuales o múltiples.
- Hacer que la nueva superficie sea normal a las secciones finales.

Los problemas que presenta este método son los mismos que para la superficie reglada. Se obtienen resultados insatisfactorios.

A continuación se muestra un ejemplo del resultado obtenido por este procedimiento:



Mediante mallado de Curva

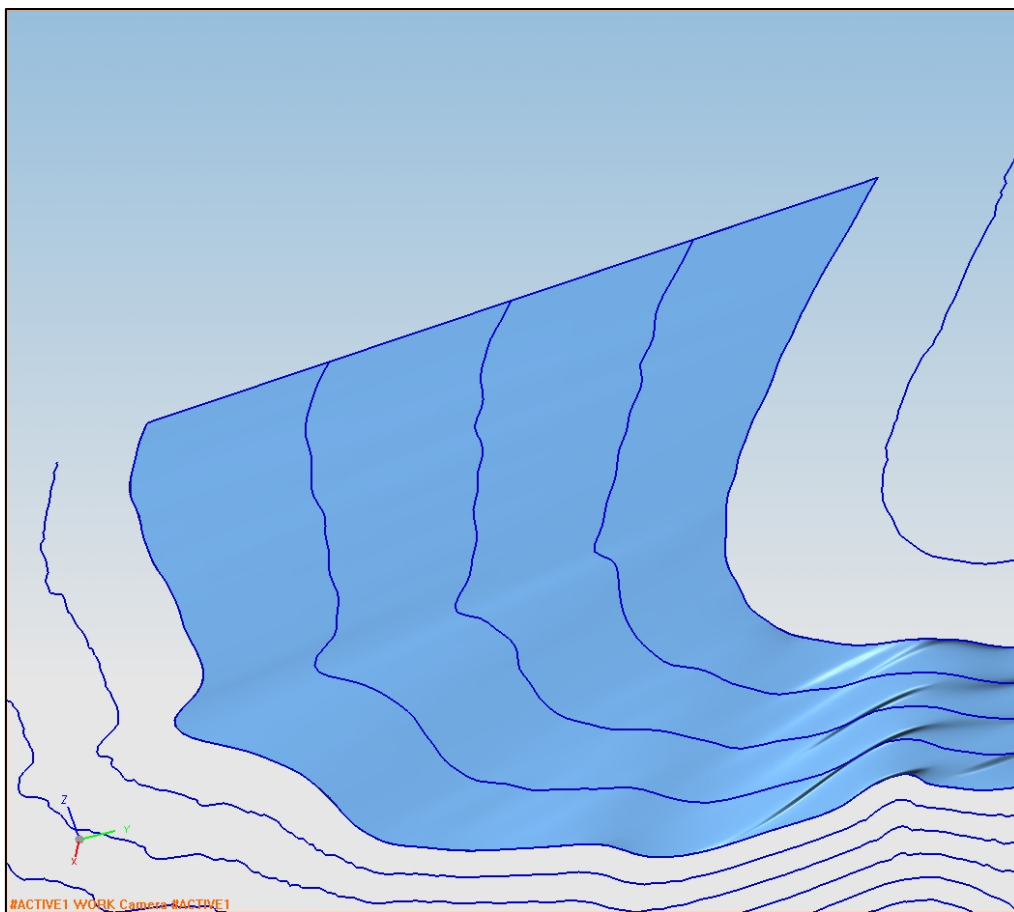
Este comando crea un cuerpo a partir de los conjuntos de cadenas primarias y transversales. Las cadenas de cada conjunto deben ser más o menos paralelas entre sí y sin intersección. Las cadenas primarias deben ser más o menos perpendiculares a las cadenas transversales. También se puede:

- Restringir la nueva superficie para que sea G0, G1 o G2 y sea continua a las superficies tangentes.

- Controlar la parametrización de cadenas transversales con una cadena de espina.
- Localizar la superficie cercana a las cadenas primarias o transversales o a una media entre los dos conjuntos.

Para utilizar este comando las curvas deben componer un bucle cerrado. Con lo que utilizando las curvas o splines que obtuvimos como “curvas de cruce” tenemos la necesidad de crearnos curvas primarias. Para ello se crearon dos curvas Spline Studio que pasaban por el punto final y el punto inicial de cada curva. Así creamos bucles cerrados y podemos usar este comando. Los resultados tampoco fueron los esperados.

A continuación se muestra un ejemplo del resultado obtenido por este procedimiento:



(Se pueden apreciar la existencia de cavidades o pliegues extraños)

Superficie de N-lados (N-Sided)

Esta opción permite construir una superficie con un número sin restricción de curvas o de bordes formando un bucle simple, abierto o cerrado, y asignar continuidad a las caras exteriores. Puede quitar los agujeros en las superficies que no tengan cuatro lados. Las opciones de Control de forma están disponibles para refinar la agudeza en el punto de centro, mientras se mantienen las restricciones de continuidad. El tipo de superficie que se utilizó para crear las diferentes superficies recibe el nombre de: Lámina simple recortada y permite crear una superficie única que cubre toda la región comprendida en un bucle abierto o cerrado (en nuestro caso cerrado). Para crear una superficie usando este tipo, es necesario usar primero el paso de selección "Curvas límite" y seleccionar un perfil que forme un bucle cerrado de curvas o de bordes. Se puede establecer también la opción Recortar a límite para especificar si la superficie resultante se recorta o no.

Pulsando Aceptar o Aplicar se abre el diálogo Control de forma y se visualiza una superficie temporal. De este modo podemos comprobar si la superficie generada se ajusta a lo que deseamos obtener. Se puede cambiar la planitud del centro de la superficie temporal usando la barra de desplazamiento de Control de forma denominada Plano de centro. Al pulsar en Aceptar o Aplicar en este punto hace que se cree la superficie.

Las Curvas límite que compondrán nuestra superficie estarán compuestas por las splines que fueron generadas y por segmentos de unión que cerrarán el bucle. El bucle será spline – segmento – spline – segmento. Seleccionando ese bucle cerrado creamos la superficie N-Sided. El bucle cerrado representa el perfil del límite para la nueva superficie, y puede consistir en cualquier número de curvas o de bordes. Las curvas o los bordes adyacentes no tienen que ser siempre de tangente continua, aunque esta condición podría crear superficies defectuosas o incluso hacer que falle la función, especialmente con el tipo Lámina simple recortada.

Este es el método que se escogió para crear la malla. Los pasos que se siguen para generar la superficie que después constituirá la malla son los siguientes:

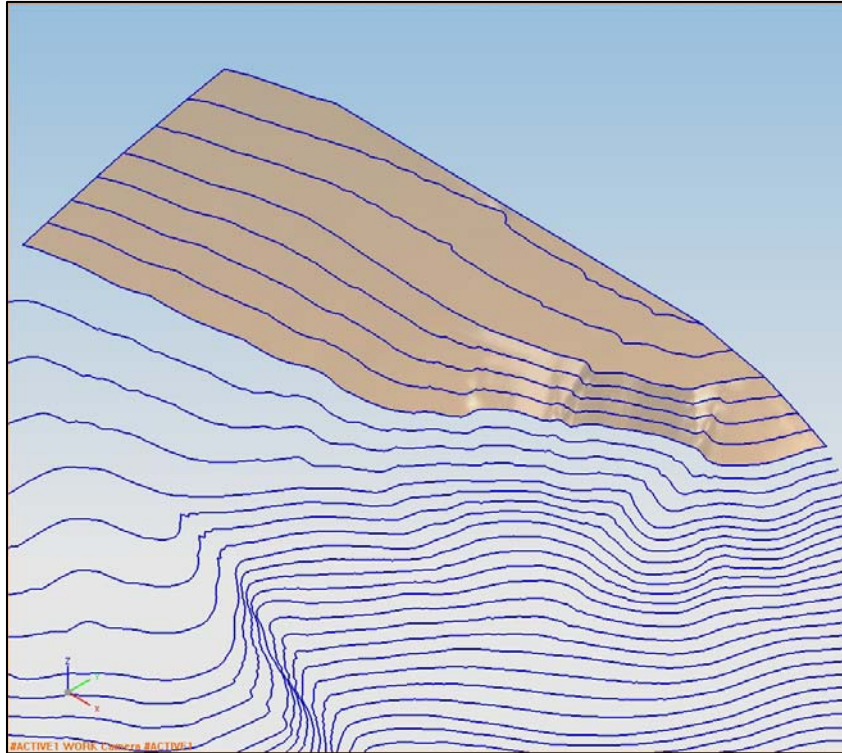
- Unimos 2 curvas mediante el comando línea de la paleta curvas creando un bucle cerrado.
- Abrimos el comando Superficie de lados N de la paleta superficies
- Seleccionamos las dos líneas y las dos curvas/splines que forman el bucle cerrado.
 - Deben estar activas las opciones de Lámina individual recortada y Curvas límite.
 - Deben estar activas las opciones de Orientación UV área, recortar a límites y concordar las caras.
- Pulsamos aceptar.
- Hacemos lo mismo con todas las splines y vamos creando superficies.
- Seleccionamos el comando COSER Y añadimos a una lámina origen el resto de láminas creadas (conviene no hacerlo todo de golpe porque se bloquea el programa). La tolerancia por defecto es 0.01 mm. Es posible que haya que abrirla pudiendo llegar a un 1 cm. Un cm. En una maqueta de más 20.000 mm. Es una tolerancia completamente asumible.

El mallado N-lados proporciona unos resultados excelentes pero en contrapartida presenta un problema muy incómodo.

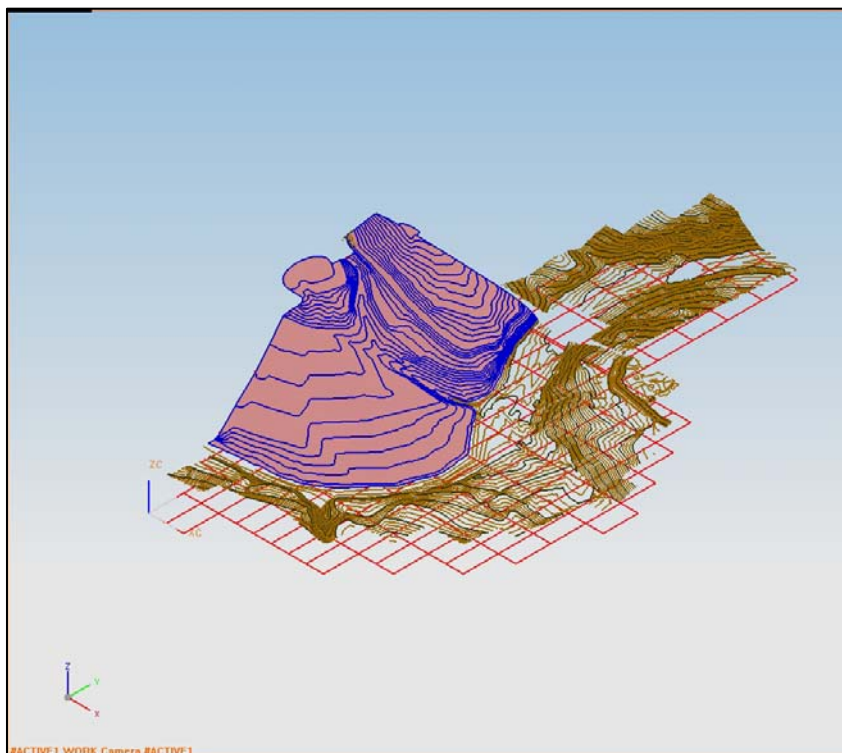
El principal inconveniente que presenta este tipo de comando es la gran cantidad de memoria que precisa para generar las superficies. Puede llegar a dejar sin memoria virtual al ordenador y llegar a bloquearse. De hecho, hubo muchos problemas para diseñar la orografía final precisamente por este motivo.

Entonces se tuvo que definir una estrategia para obtener la orografía por partes. Para ello se fueron realizando diferentes mallas atendiendo a los requerimientos del conjunto.

La estrategia consistía en crear varios archivos e ir generando mallas en cada uno de ellos. Cada archivo contenía un “trozo” de malla del conjunto y se iban creando en función de las características de la orografía en cada uno de esos trozos.



(Ejemplo de mallado N-Lados. Se puede apreciar la calidad del resultado obtenido en comparación con los anteriores comandos)



(A continuación se muestra un ejemplo de malla creada en una parte del cauce)

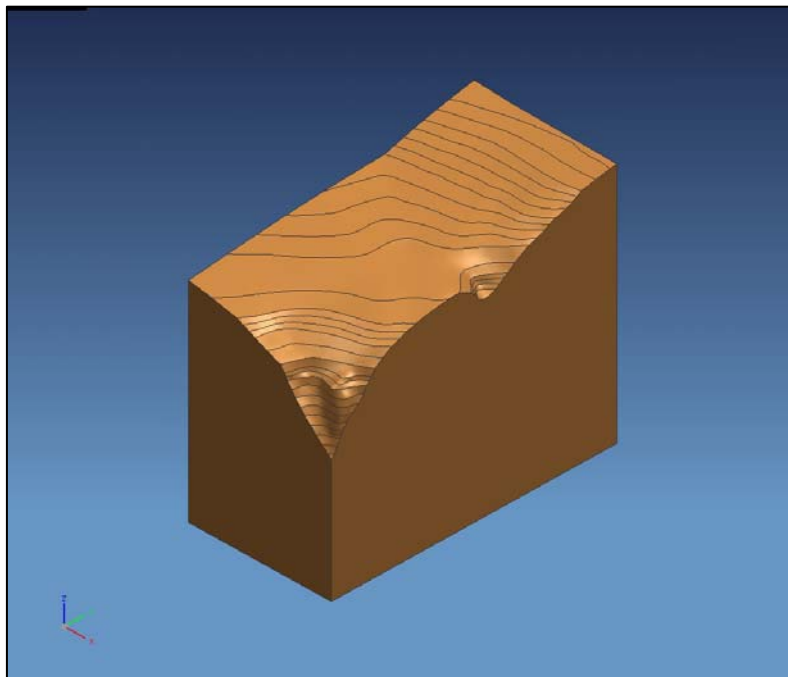
Así se fueron creando diferentes archivos con trozos de malla que abarcaban el total de los 174 bloques. La distribución mediante bloques supone un método de planificación del mecanizado. El mecanizado debe estructurarse por partes y se hace mediante la sección de la superficie en pequeñas parcelas que corresponde a cada uno de los bloques. Esto se hace así por la limitación existente en el área de trabajo del robot. El volumen de cada bloque a mecanizar es de $\frac{1}{2} \text{ m}^3$.

Cada bloque es una extrusión recortada por la malla o parte de la malla correspondiente. Cada bloque es guardado independientemente del resto y con un SCT (Sistema de coordenadas de NX) común (lo del SCT común, entre otras cosas, tenía como finalidad ensamblar todos los bloques y ver el resultado. Esto no llegó a hacerse porque los ordenadores de los cuales se disponía no soportaban el peso (en MB) y se bloqueaban quedándose sin memoria).

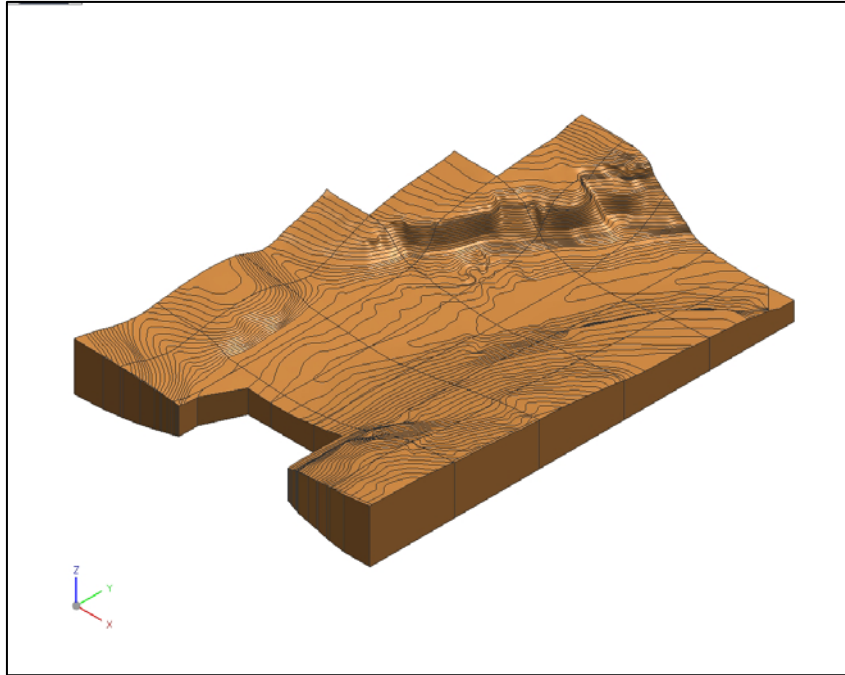
En definitiva la planificación en bloques atiende más a una cuestión de fabricación que de diseño.

En el capítulo 6, Manual de Usuario, se explica el proceso detalladamente.

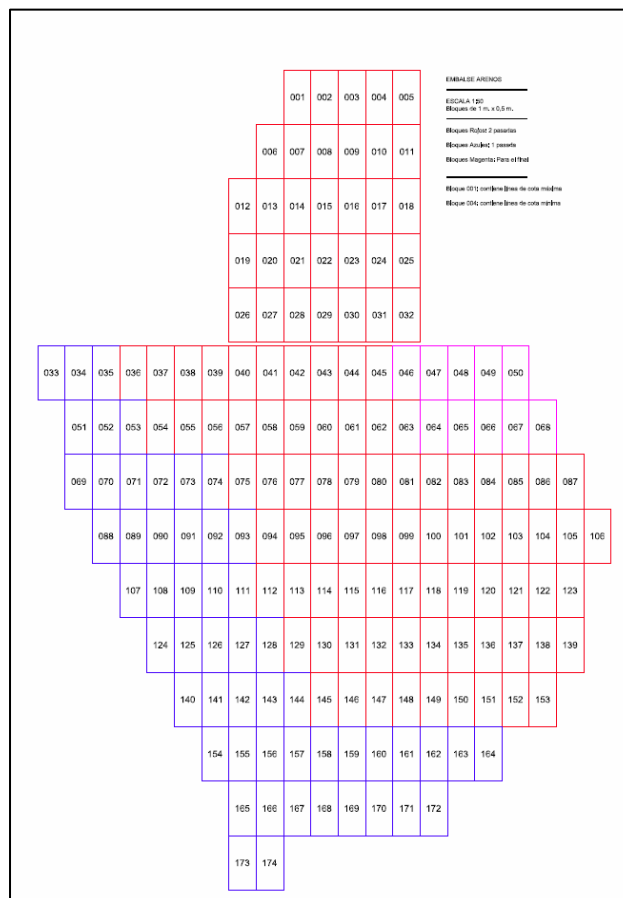
A continuación veremos imágenes de bloques, de conjuntos de bloques y de la numeración de todos los bloques.



(Bloque 001 del conjunto)



(Bloques de 001 a 032)



(Bloques de 001 a 032)

- **CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN CAD-CAM-ROBÓTICA. POSTPROCESADOR Y ROBOMOVE.**

INTRODUCCIÓN

La integración CAD-CAM-Robótica supone aunar 3 fases del proyecto. Desde la fase CAD se debe trabajar teniendo en cuenta las fases posteriores que se van a realizar. Tras la construcción de la malla y el diseño de los 174 bloques que componen la orografía se procedió a realizar los programas de mecanizado que afectarían a cada bloque.

Los bloques a mecanizar son de Poliestireno expandido (EPS). Se trata de un polímero termoplástico muy ligero. El EPS es un material que normalmente se emplea como aislante térmico en la construcción y como material de embalaje. Precisamente su baja densidad y la facilidad de mecanizado que presenta fue lo que decantó la balanza en favor de este material.

MÓDULO CAM NX

Dentro del mismo entorno de NX existe un módulo de Fabricación, al cual debemos acceder para realizar los programas de mecanizado. Es tan sencillo como arrancar la aplicación desde el desplegable “iniciar”. Tras arrancar el entorno de Fabricación debemos definir el programa, la herramienta o herramientas a emplear, La geometría, el sistema de coordenadas y el método de maquinado (desbaste, acabado, taladrado...). En el capítulo 6, Manual de Usuario, se explica todo en detalle.

Para mecanizar los 174 bloques en el menor tiempo posible y con una calidad aceptable se optó por crear un archivo plantilla de mecanizado. Ese archivo Se guardaba cada vez con el nombre del bloque mecanizado. Previamente se le había insertado al archivo el bloque correspondiente a través del módulo de ensamblaje. De este modo creamos 174 archivos correspondientes a cada uno de los bloques. Todos ellos con un mecanizado propio y a la vez similar al resto.

OPERACIONES DE MECANIZADO

El mecanizado escogido se basó en dos operaciones. “Cavity Mill” de desbaste y “Fixed contour” de acabado. Se optimizaron al máximo la profundidad de pasada (10 mm.) y la pasada lateral. Para la operación de desbaste se optó por un mecanizado periférico hacia el interior del sólido en el que la profundidad de pasada abarcaba, prácticamente, la totalidad de la longitud de filo de herramienta con una pasada lateral del 85%.

Para la operación de acabado se optó por un copiado en “zig-zag” con una pasada lateral del 20% del \varnothing de herramienta.

Las demasías de material que se dejó para el desbaste fue de 5 mm. Evidentemente para el acabado la demasía fue nula.

HERRAMIENTA

La herramienta empleada es un hta. de tipo tórica de 31,7 mm. de \varnothing y radio de esquina de 6,4 mm. capaz de soportar grandes avances. Se trata de una herramienta que, fijada a un cabezal de corte, se programó para girar a 30.000 rpm y moverse a 500 mm/seg. ¿Cuáles fueron los criterios a la hora de elegir la herramienta? El principal fue encontrar una herramienta que realizara las dos operaciones evitando un cambio de herramienta. Cambiar de herramienta suponía tener que parar el robot y volver a definir la herramienta cada vez que se hiciera un cambio. Esa era una realidad que se quería evitar para ahorrar un tiempo considerable en el mecanizado y posibles errores en la medición del TCP.

GEOMETRÍA Y CENTRAJE

La geometría definida era el bloque insertado y, el bruto, un cubo que abarcaba el bloque con creces.

El Sistema de coordenadas se definió debajo de los bloques y en el centro (en el capítulo 5 se explica el porqué). Para todos los bloques se definió el centro del Sistema de Coordenadas del mismo modo.

MÉTODOS DE MAQUINADO

En los métodos de maquinado establecemos las tolerancias de mecanizado. Cuanto más amplias menos tiempo computacional, en contrapartida, mayor error. Para esta maqueta las tolerancias no exigían un margen estricto por tanto se optó por tolerancias holgadas de 2 y 4 mm. para Tolerancia interior y exterior respectivamente. Podrían haber sido más amplias sin ningún problema.

GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS Y POSTPROCESAMIENTO

Una vez definidas y creadas las etapas anteriores el siguiente paso es generar las trayectorias de mecanizado. Advertir que es recomendable realizar una simulación 2d del mecanizado y comprobar la existencia o no de colisiones. NX tiene un comando que analiza posibles interferencias y/o colisiones entre las trayectorias y la pieza. Resulta muy útil para evitar padecer algún susto.

El siguiente paso es el postprocesado. El postprocesado es una parte fundamental en los trabajos CAD-CAM. Se trata de la creación de un fichero que contiene el código máquina adecuado necesario para obtener la pieza mecanizada.

La etapa de postprocesado consiste en seleccionar los programas y el postprocesador adecuado para la máquina (en este caso Robot) que vayamos a utilizar y esperar a que finalice el proceso de traducción de las trayectorias.

Un buen postprocesador debe estar configurado de acuerdo a las características de la máquina herramienta (o robot) que dispongamos. Cuanto más depurado esté un postprocesador menos ajustes posteriores se tendrán que hacer.

Para este trabajo se usó un postprocesador creado por el IDF para la generación de trayectorias con un Robot Kuka KR15. La extensión del fichero obtenido tras el postprocesamiento es "ncl".

ROBOMOVE

Robomove es una solución software para la simulación virtual y el post procesado de cualquier tipo de recorrido de la herramienta CAM (APT o ISO) al fin de crear el programa de trabajo para el robot.

Robomove consiente de gestionar los seis ejes del robot y eventuales ejes externos como, mesas giratorias o mesas giratorias con traslación para el movimiento de la pieza a trabajar o guías lineales que desplazan al robot. La gran variedad de estrategias para la gestión de la posición del mandril consiente al operario de maximizar el espacio de trabajo, de evitar colisiones y de optimizar la calidad de los movimientos del robot.

Los eventuales ejes externos son gestionados de manera simple y intuitiva; de la elección de la posición inicial a la estrategia de movimientos, posicionamientos o en modo coordinado con el Robot. Robomove soporta la animación virtual del ciclo de trabajo, facilita la información relativa al área de trabajo, informa de las posibles colisiones. La representación grafica de la zona de trabajo incluye: el robot, el electro mandril, la herramienta, la pieza a trabajar, la pieza en proceso y finalizada, los componentes de fijación de la pieza y cualquier tipo de componente significativo.

El Robot Kuka KR 15/2 empleado para las operaciones de mecanizado posee 6º de libertad y además cuenta con 1 eje externo adicional. Se podría haber hecho uso de un 2º eje externo adicional en caso de haber utilizado la mesa de amarre existente dentro del área de trabajo del Robot.

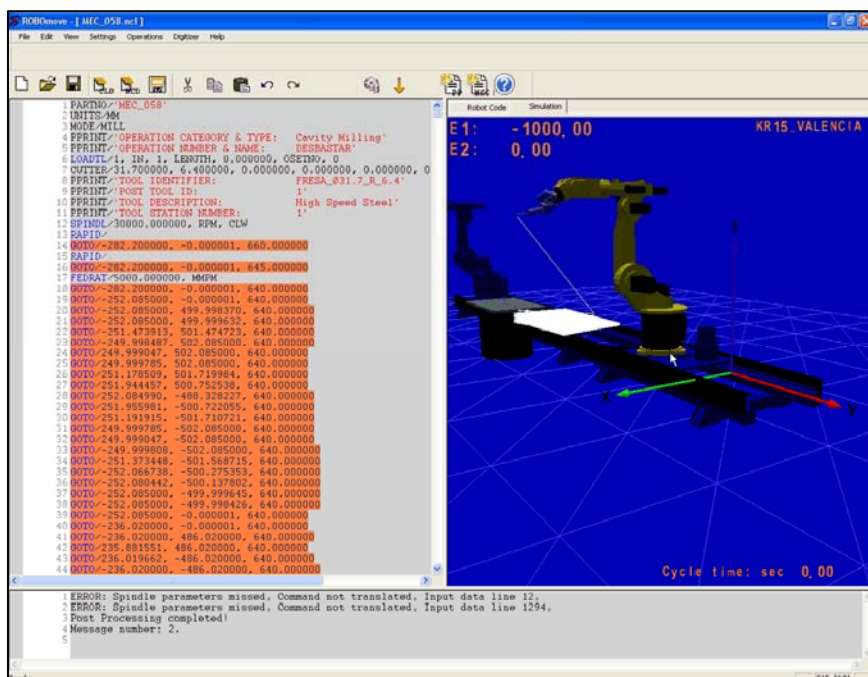
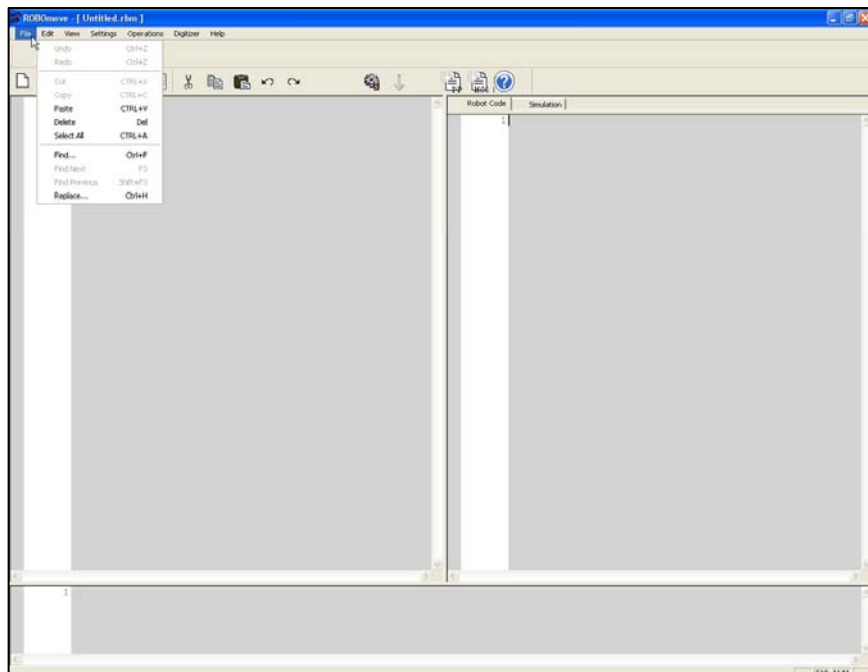
El IDF tiene configurado el espacio de trabajo y los robots dentro del programa de simulación Robomove.

Con este programa lo que hacemos es abrir el fichero postprocesado en la fase de CAM (fichero .ncl) y filtrarlo con Robomove. Configurando algunos parámetros dentro del menú "Post Processing Initializations" obtendremos un fichero adaptado a

las particularidades del espacio de trabajo y de nuestro Robot. Este fichero tendrá extensión .rbm.

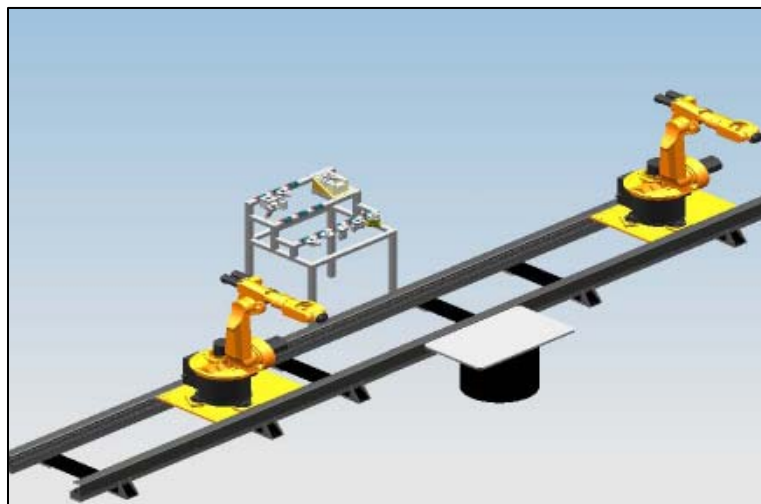
Por último postprocesamos dentro de Robomove ese fichero .rbm y obtendremos un fichero .src. El fichero .src será el que habrá que cargar en el disco duro de la computadora del Robot.

A continuación se muestra una imagen del entorno Robomove.



- **CAPÍTULO 5. FABRICACIÓN ROBOTIZADA.**

La fabricación de cada bloque se realiza con un Robot Kuka KR15 al cual se le ha incorporado un utillaje de corte y otro de extracción de viruta. Para la generación de trayectorias de herramienta se ha utilizado el Simulador Robomove, adaptándose las técnicas industriales de mecanizado al entorno de trabajo. El IDF dentro de sus instalaciones tiene un laboratorio de Robótica en el que hay creada una célula Robotizada compuesta por dos Robots Kuka, una mesa giratoria, un rail y un soporte para intercambio de herramientas. El comportamiento del Robot con esta configuración es similar al de una máquina de corte de 6 grados de libertad, pero con una amplitud de corte mucho mayor. Ver imagen:

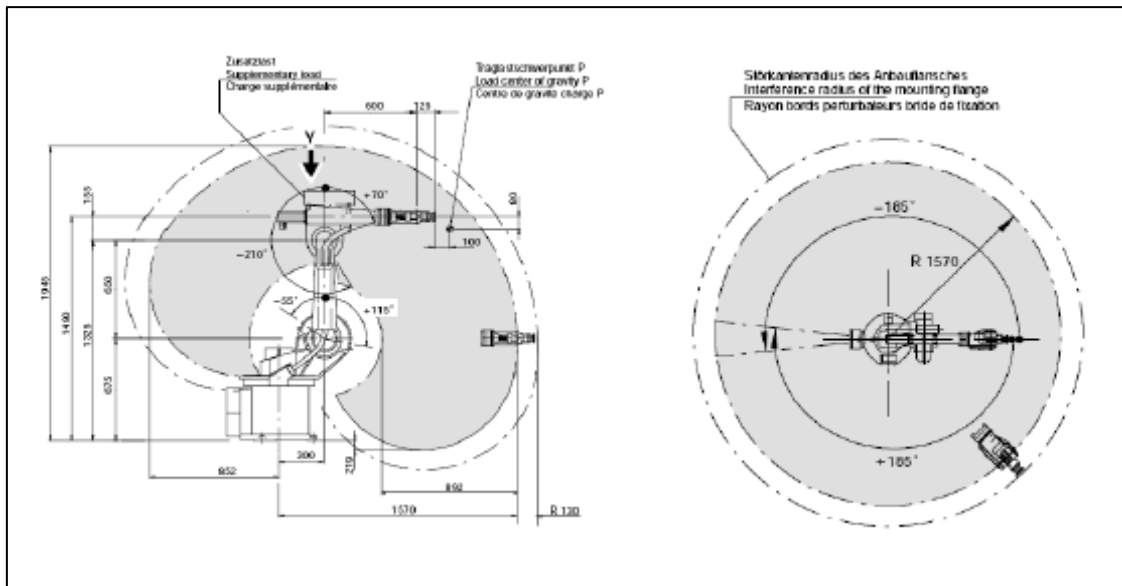


A continuación se muestran los Rangos de movimiento de nuestro Robot y el área de trabajo u/o alcance. Si bien es cierto que el área de trabajo del robot es mayor gracias al eje externo del cual dispone (rail).

Axis	Range of motion software-limited	Speed
1	±185°	152 °/s
2	+115° to -55°	152 °/s
3	+70° to -210°	152 °/s
4	±350°	284 °/s
5	±135°	293 °/s
6	±350°	604 °/s

Repeatability ±0.1 mm

Velocidad lineal máxima 2 m/s



Para realizar este trabajo se tuvo que crear un soporte de amarre o mesa para los bloques ya que la existente daba problemas por la excesiva altura que adquiriría el bloque. Los bloques que tenían un metro de altura no podían mecanizarse porque el Robot incurría en singularidades para alcanzar las posiciones y se bloqueaba. Por tanto se optó por diseñar y fabricar un soporte que diera una respuesta a esta situación. Se trata de una estructura de perfil de acero amarrada al suelo y perfectamente referenciada respecto a la mesa giratoria existente que es la que está configurada dentro del programa Robomove.

Para facilitar el trabajo de centraje y no tener que hacer centraje cada vez que se lance un programa se fijó un punto común para todos los bloques.

Se estableció el origen del sistema de Coordenadas en el punto medio de la cara inferior del bloque (Superficie $\frac{1}{2} \text{ m}^2$). Dicho punto se referenció con respecto a la mesa giratoria la cual al estar configurada dentro de Robomove nos evitaba tener que hacer trabajos de centraje con el Robot.

Configurar los programas haciendo referencia a la mesa giratoria facilitaba y agilizaba considerablemente la fabricación de los tacos.

Antes de “lanzar” el programa en el Robot hay que realizar una puesta a punto y una serie de configuraciones:

1. Filtrar el fichero postprocesado “ncl” en Robomove y obtener fichero “src” que proporcionará las instrucciones de trayectorias al Robot.
2. Cargar el fichero en la CPU de nuestro Robot.
3. Instalar la herramienta.

Se trata de una herramienta Fresa Tórica de Acero Rápido y dos labios de $\varnothing 31.7$ y R de esquina 6,4 mm.

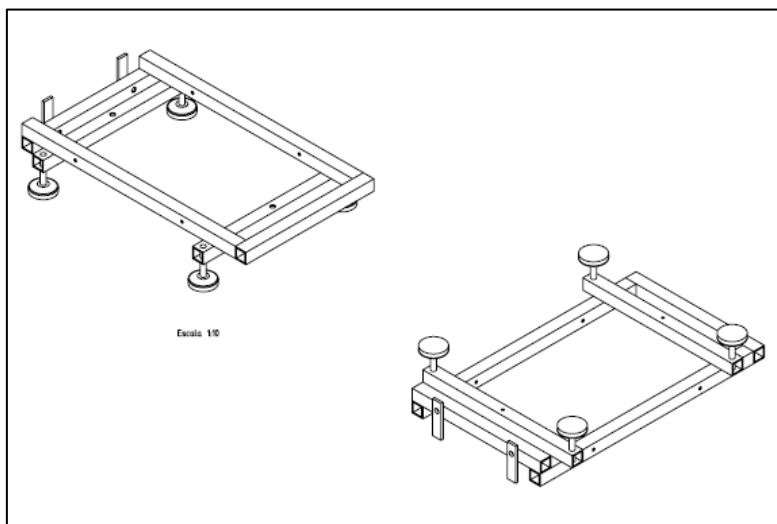
4. Medir la Herramienta y establecer el TCP (Una sola vez)
5. Comprobar que la estructura de amarre del bloque está bien fijada al suelo.

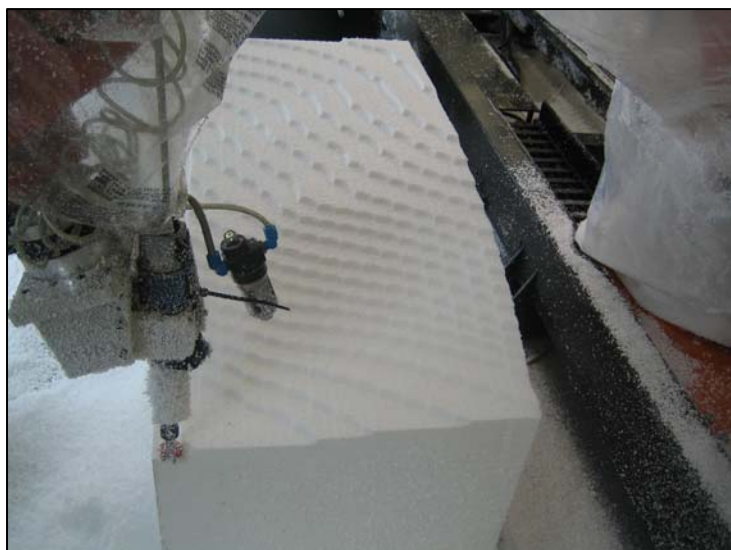
Esta estructura tiene el comportamiento de una mordaza.

6. Si el taco lo permite, hacer uso de hilo de tungsteno para realizar cortes de desbaste al bloque y así ahorrar tiempo de mecanizado.
7. Insertar el Bloque en la estructura y fijarlo bien.
8. Alejarnos y lanzar el programa con la consola.

Este proceso se repite por cada bloque a excepción de la medición de herramienta.

A continuación se muestra un plano de la estructura de amarre o soporte creado para la fijación de los tacos:





- **CAPÍTULO 6. MANUAL DE USUARIO.**

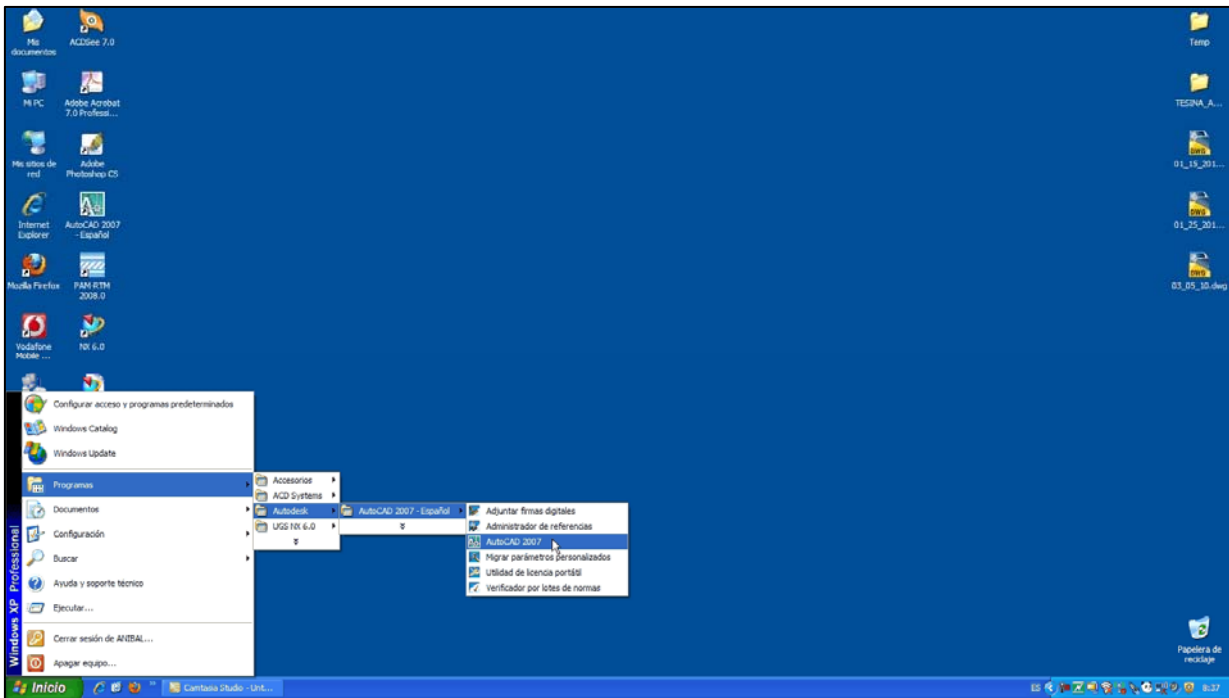
Este capítulo pretende ser un guión de los pasos a seguir para la construcción de un modelo físico. El modelo físico, como bien es sabido, representará el Cauce del Vernissa, en Terrateig. A lo largo de este capítulo se va a describir paso a paso las fases CAD-CAM-Robótica llevadas a cabo.

Las fases CAD y CAM se han realizado con el programa NX y la fase de Robótica con un Simulador llamado Robomove adaptado al Robot a emplear (KUKA KR-15/2). Dentro de la fase Robótica se describirá el trabajo de puesta a punto y fabricación realizado por el Robot.

1. AutoCAD

El plano proporcionado por la CHJ es un archivo AutoCAD. Antes de exportar el archivo es conveniente realizar algunas modificaciones que facilitarán el trabajo de exportación-importación a NX. Esas modificaciones consistirán en recortar curvas de nivel que estén fuera del área de trabajo y en situar el archivo paralelo a los ejes del sistema de Coordenadas Universal. Los pasos serían los siguientes:

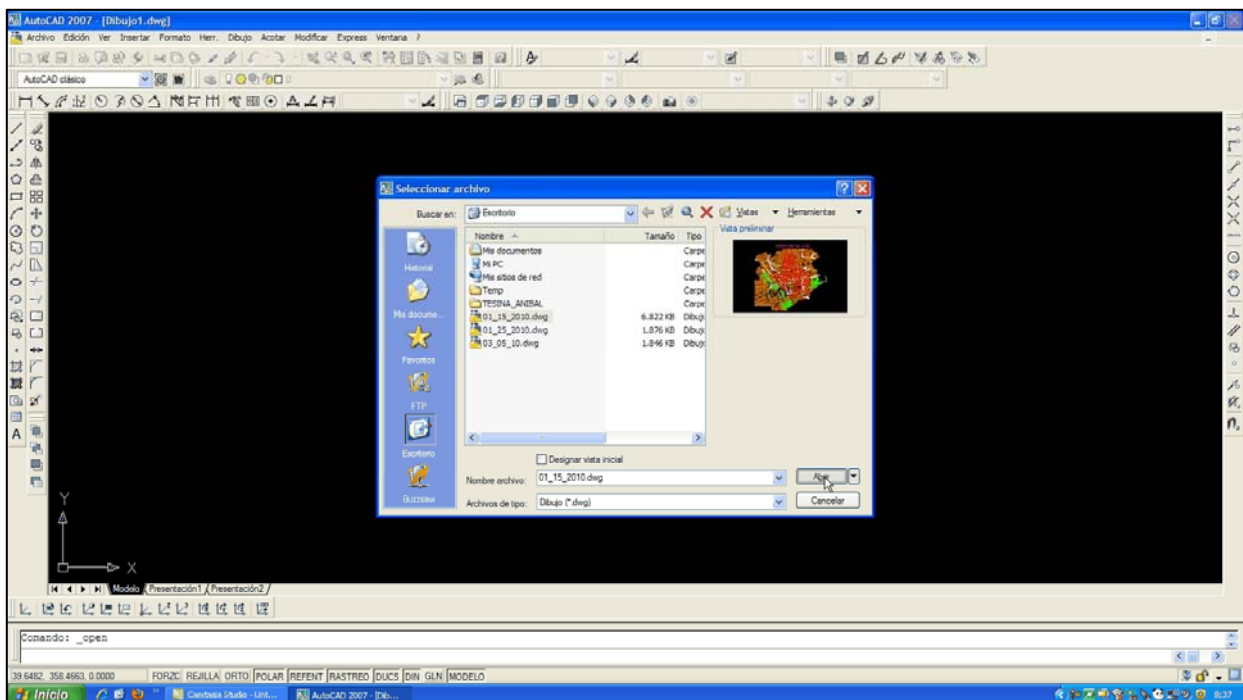
- **Abrir AutoCAD**
 - Inicio
 - Programas
 - Autodesk
 - Autocad 2007
 - Autocad 2007

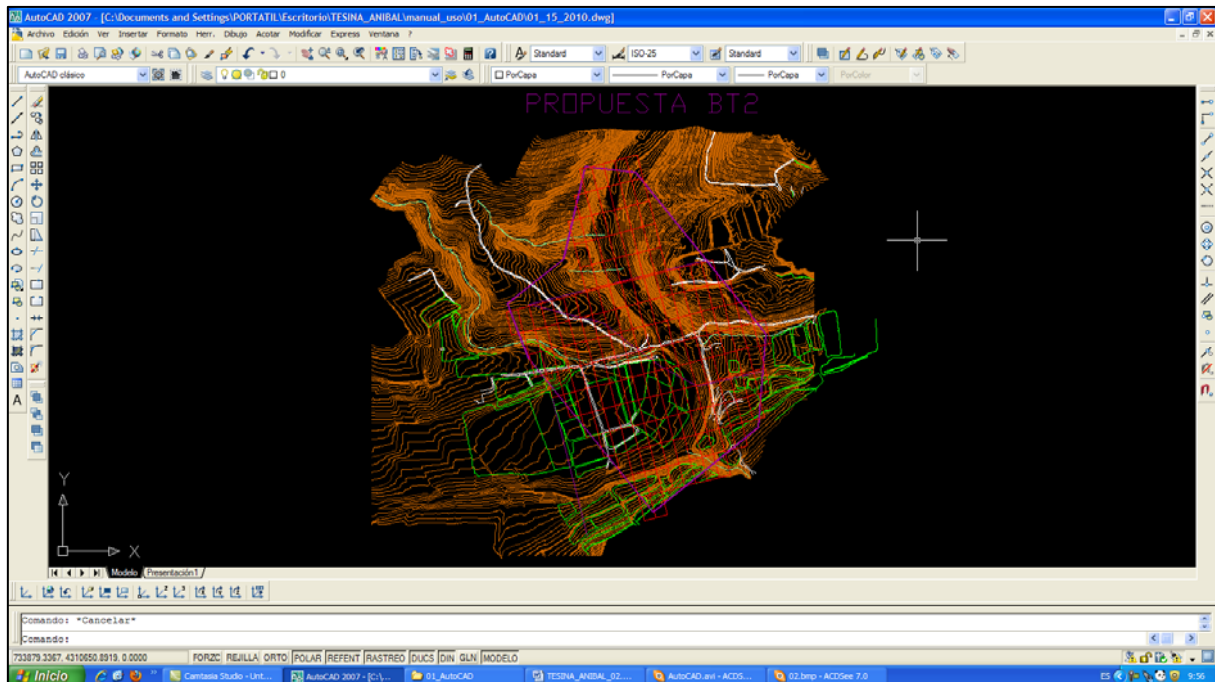


- **Abrir Archivo**

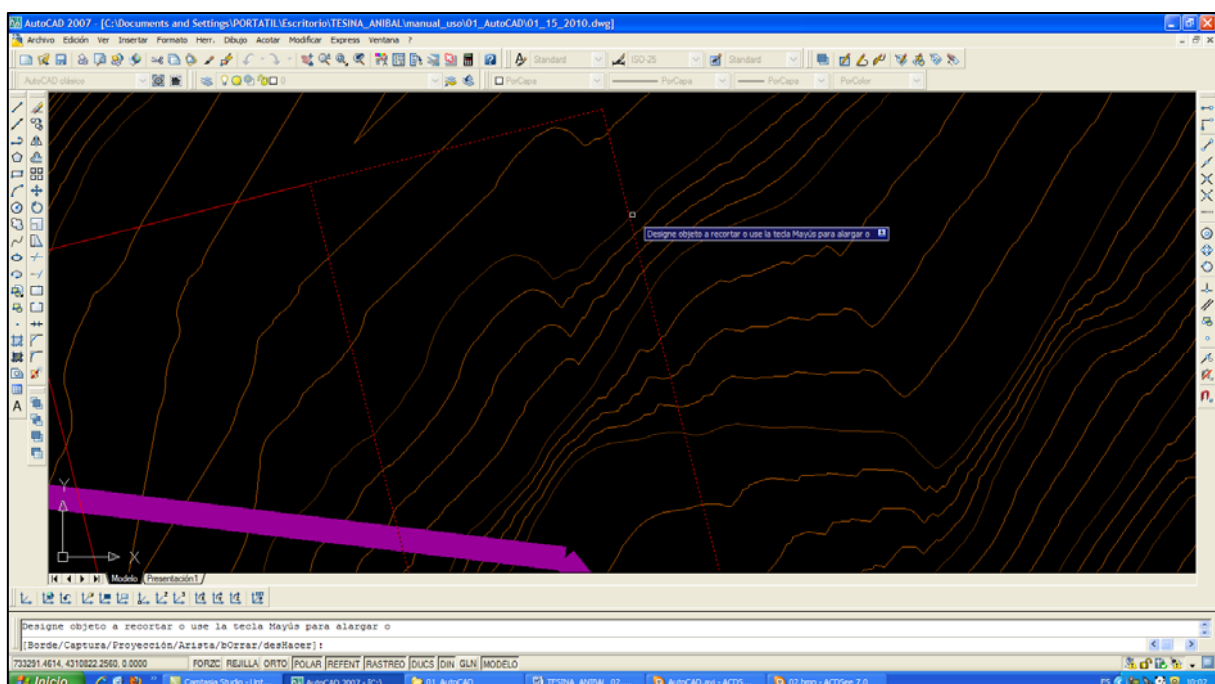
- Archivo
- Abrir

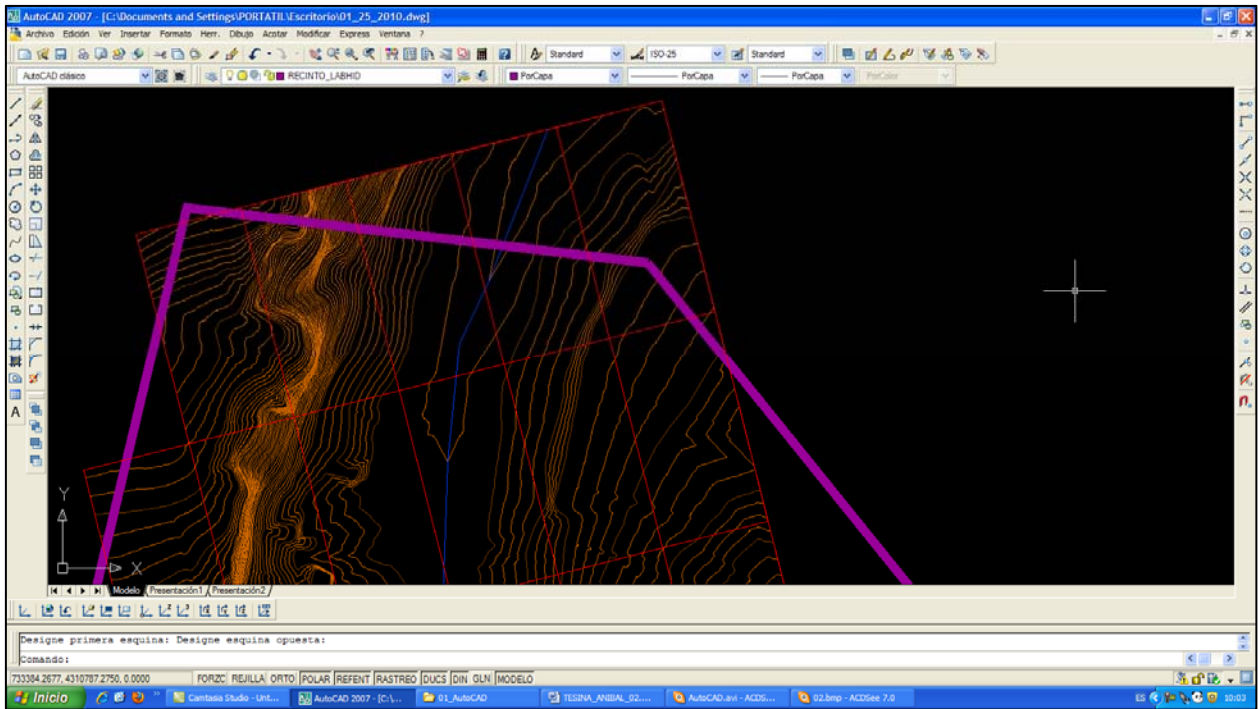
Abrimos el archivo proporcionado por CHJ.



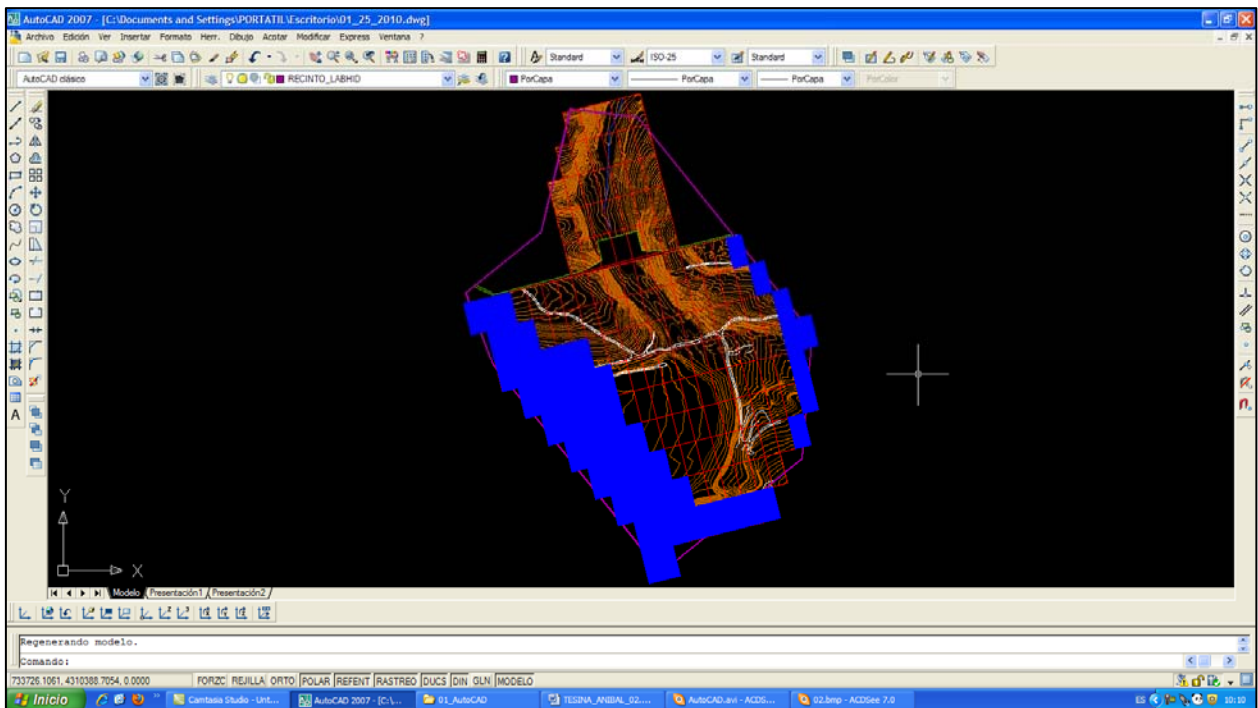


- **Recortar líneas que están fuera del área compuesta por los 174 bloques. 174 Rectángulos Rojos**
 - Modificar
 - Recortar
- Seleccionamos la curva que deseamos recortar y la entidad con la cual deseamos hacerlo
- Aceptar





(Resultado parcial obtenido tras el recorte de curvas)



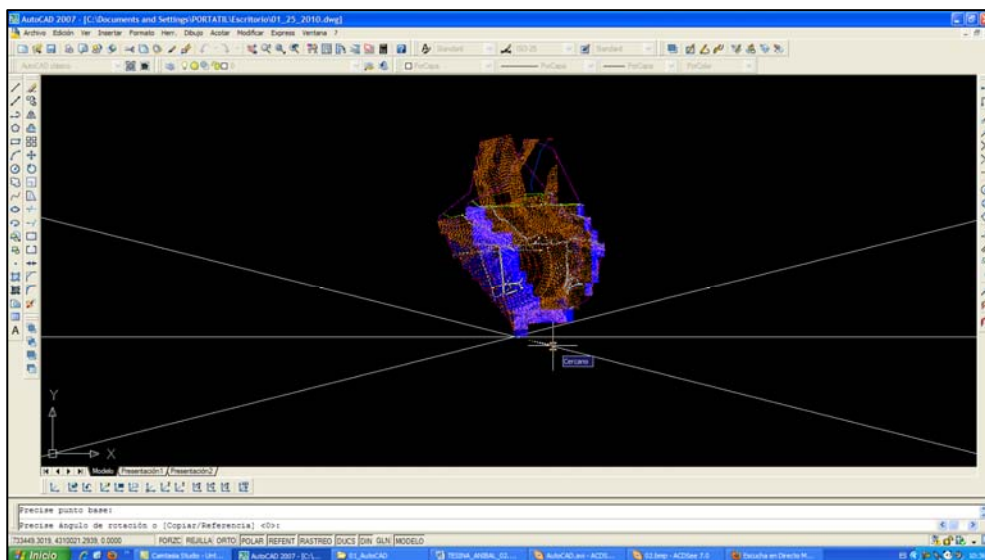
(Resultado total obtenido tras el recorte de curvas)

- Rotar Archivo y hacerlo paralelo a los ejes del SCP Universal. Trasladar el archivo haciendo origen en el vértice del bloque inferior izquierda (175).

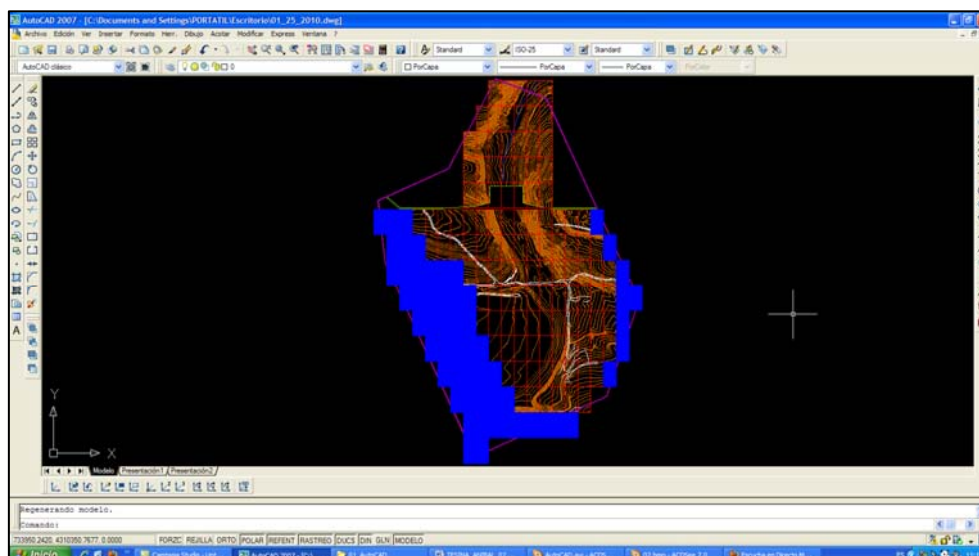
- Modificar
- Girar

Lo seleccionamos todo. Será necesario Activar y hacer visibles todas las capas.

- Seleccionamos el punto a través del cual haremos la rotación.
- Introducimos los grados a rotar o lo giramos con el cursor y damos el segundo punto para hacer efectiva la rotación.



Una vez hecho el giro nuestro archivo tendrá el siguiente aspecto:



- **Desplazamos el archivo al SCP Universal.**

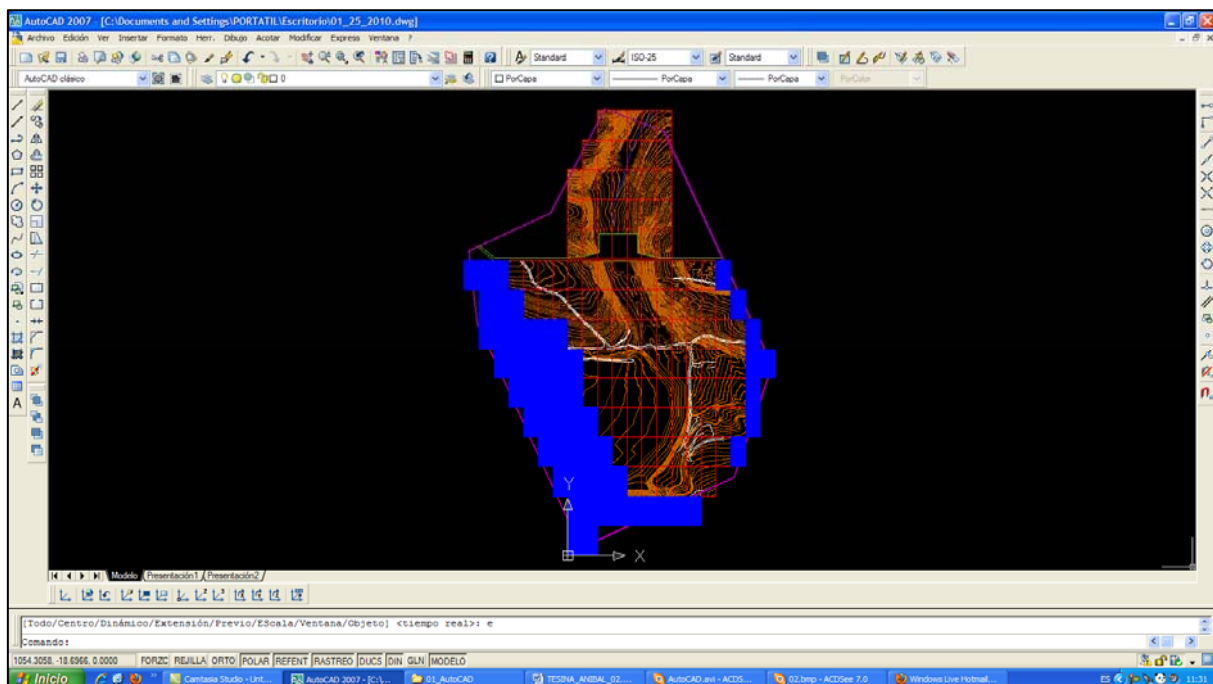
De este modo tendremos nuestro archivo situado en el Origen del Sistema de Coordenadas Universal.

- Modificar

- Desplazar

Lo seleccionamos todo. Será necesario Activar y hacer visibles todas las capas.

- Seleccionamos el punto a través del cual haremos la rotación.
- Indicamos el punto base. Vértice inferior izquierda del bloque 175.
- Indicamos el segundo punto. Introduciremos el punto 0,0,0 o con el cursor lo llevaremos hasta ese punto.

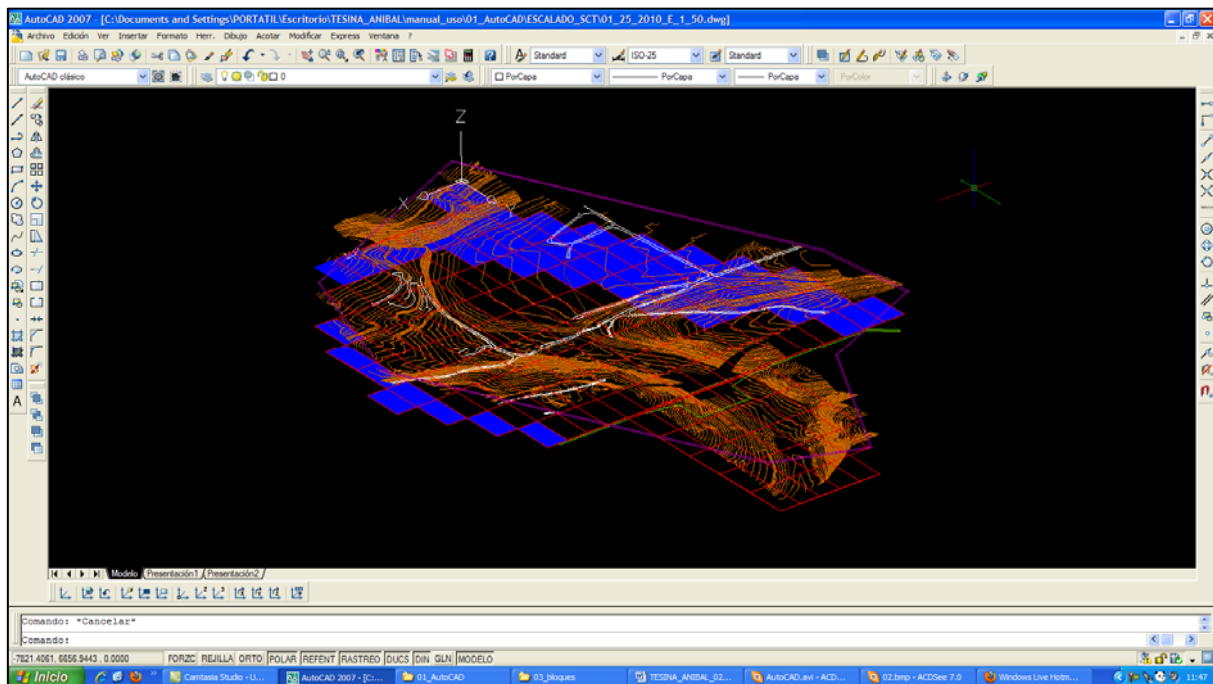


- **Escalamos el archivo y situamos la línea de nivel más baja (está situada en el bloque 004) a 240 mm. del plano XY.**

Con estas dos operaciones tendremos el plano a Escala Real de prototipo y le proporcionaremos los 240 mm. que debe tener la cota de nivel más baja (Requisito de la maqueta).

- Modificar

- Escala
Lo seleccionamos todo. Será necesario Activar y hacer visibles todas las capas.
- Indicamos el punto base. Vértice inferior izquierda del bloque 175. Además se trata del punto origen de nuestro SCP (se trata, también, del SCU)
- Indicamos un valor de 20.
La escala es $\frac{1}{50} \times 1000$ (lo pasamos a mm.) = 20
- Aceptar.
- Modificar
- Desplazar
Seleccionamos la cota de nivel más baja y la situamos a 240 mm del plano XY.
- Se puede hacer de varias formas. Introduciendo los puntos en la barra de comando o con el cursor.
- Aceptar

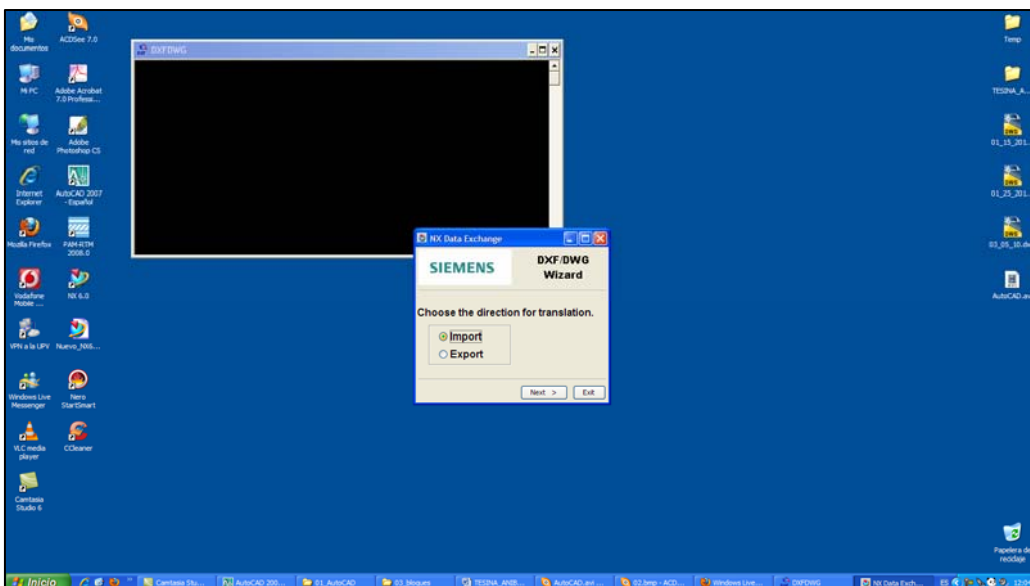
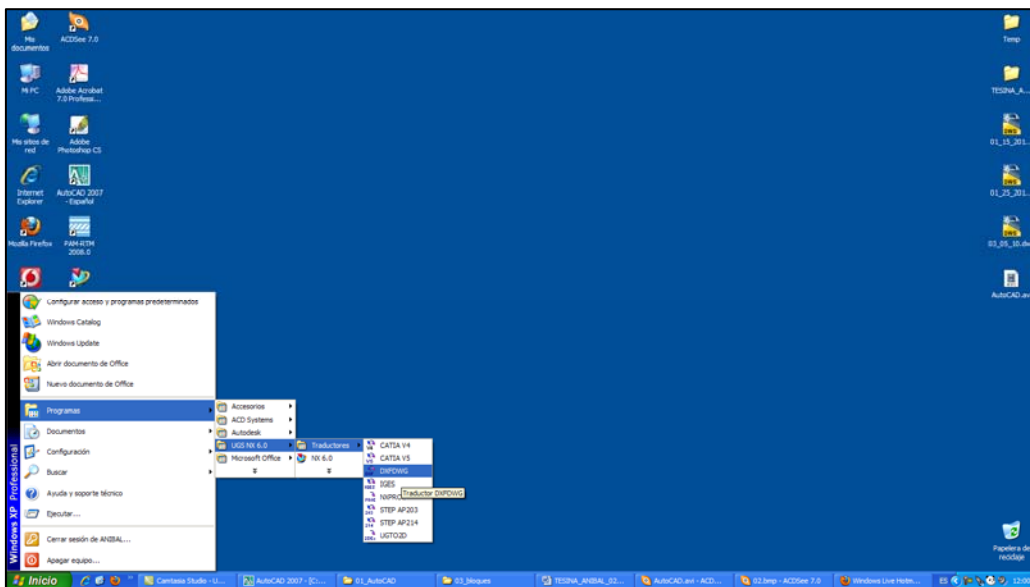


2. Módulo de Traductores/Convertidores NX. Importación de archivo.

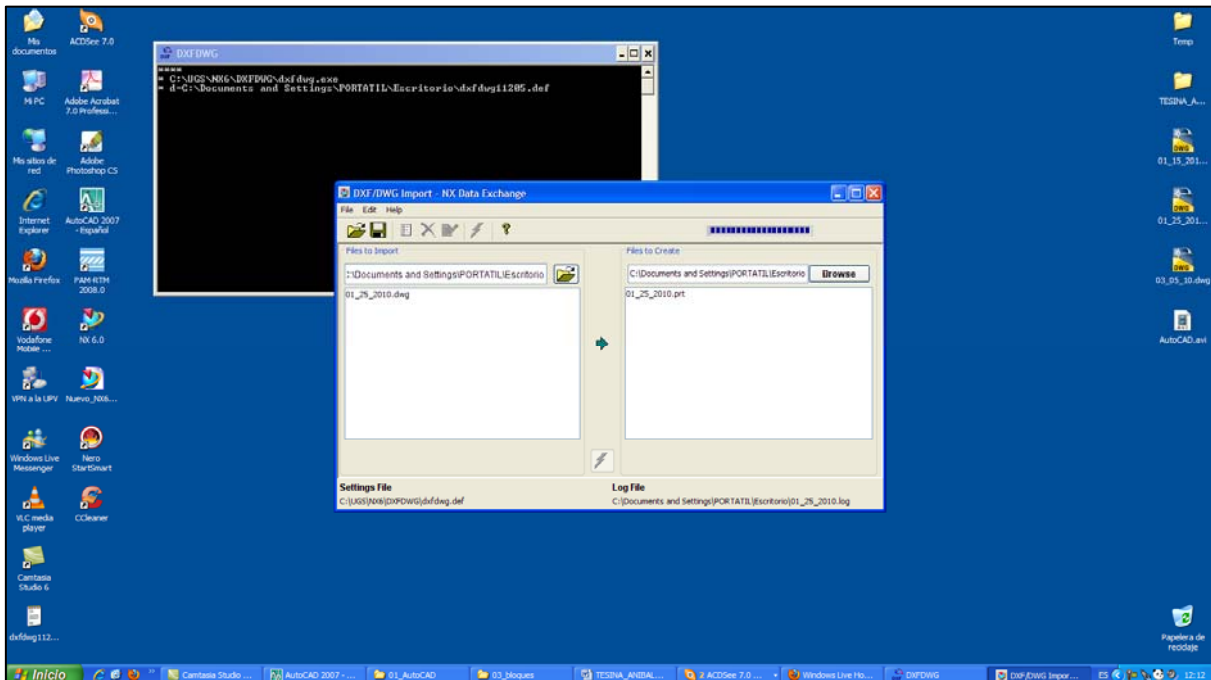
En esta sección se detalla el proceso de importación de archivo de NX.

- Apertura del módulo de Traducción/Conversión de archivos.

- Inicio
- Programas
- UGS NX 6.0
- Traductores.
- DXFDWG



- Next
- Open file
Seleccionamos el archivo que deseamos convertir a NX.
- Abrir
- Edit Settings
Verificamos que las unidades están en mm. y que las entidades a exportar está en splines.
- Ok
- Pulsamos Translate (Es un icono con un rayo).



(Archivo traduciéndose a NX)

- Cerramos la pantalla MS-DOS una vez ha concluido la traducción y nos muestra en la pantalla la palabra “Done”.

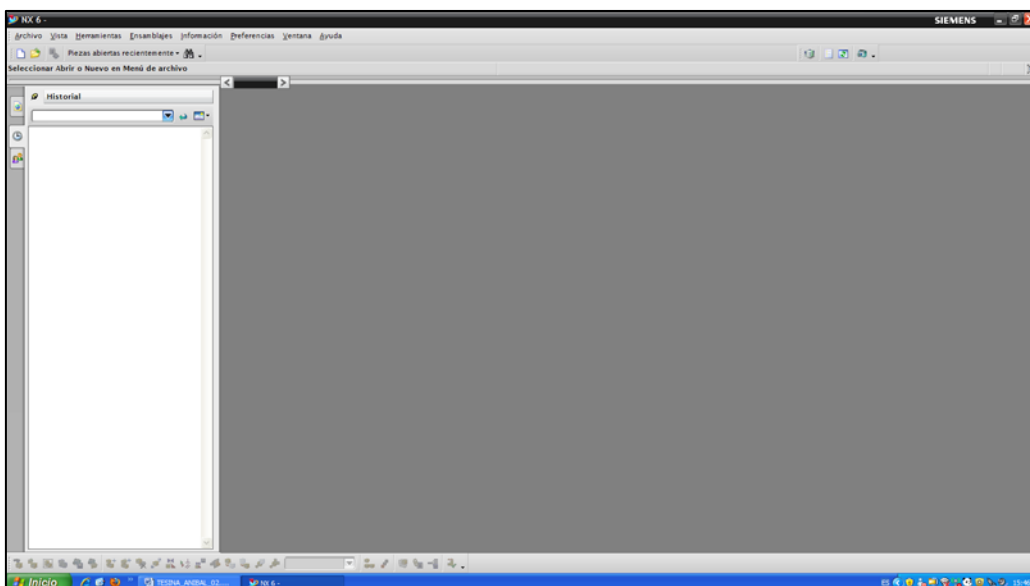
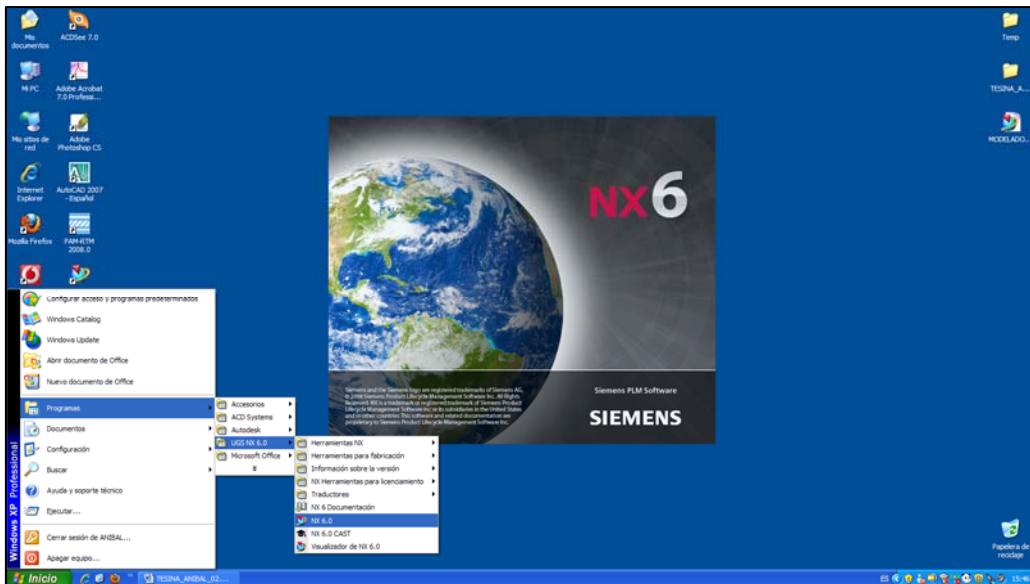
Ya tenemos traducido el fichero a archivo “prt” de NX.

3. Apertura del programa NX y del Archivo.

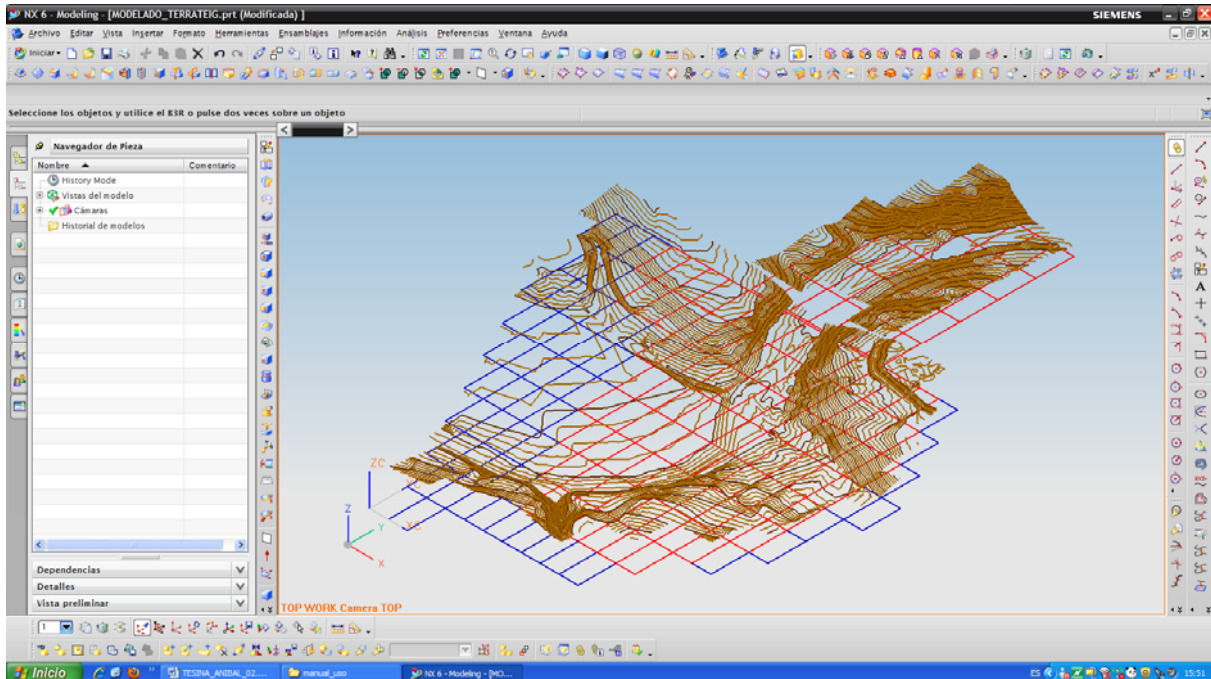
En esta sección se detalla el proceso de apertura del programa NX y del archivo importado.

- **Apertura del archivo importado con NX 6.0.**

- Inicio
- Programas
- UGS NX 6.0



- Archivo
 - Abrir
- Seleccionamos el Archivo importado.
- Ok

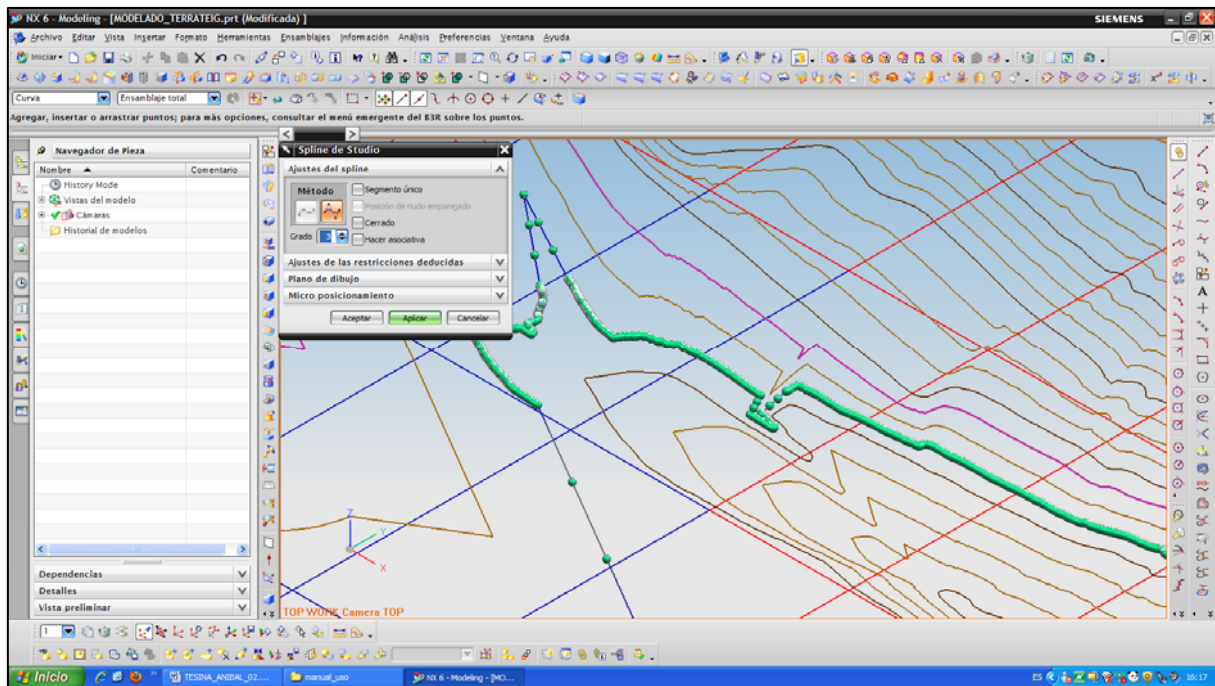


(Este es el aspecto que presenta el archivo cuando se abre por primera vez)

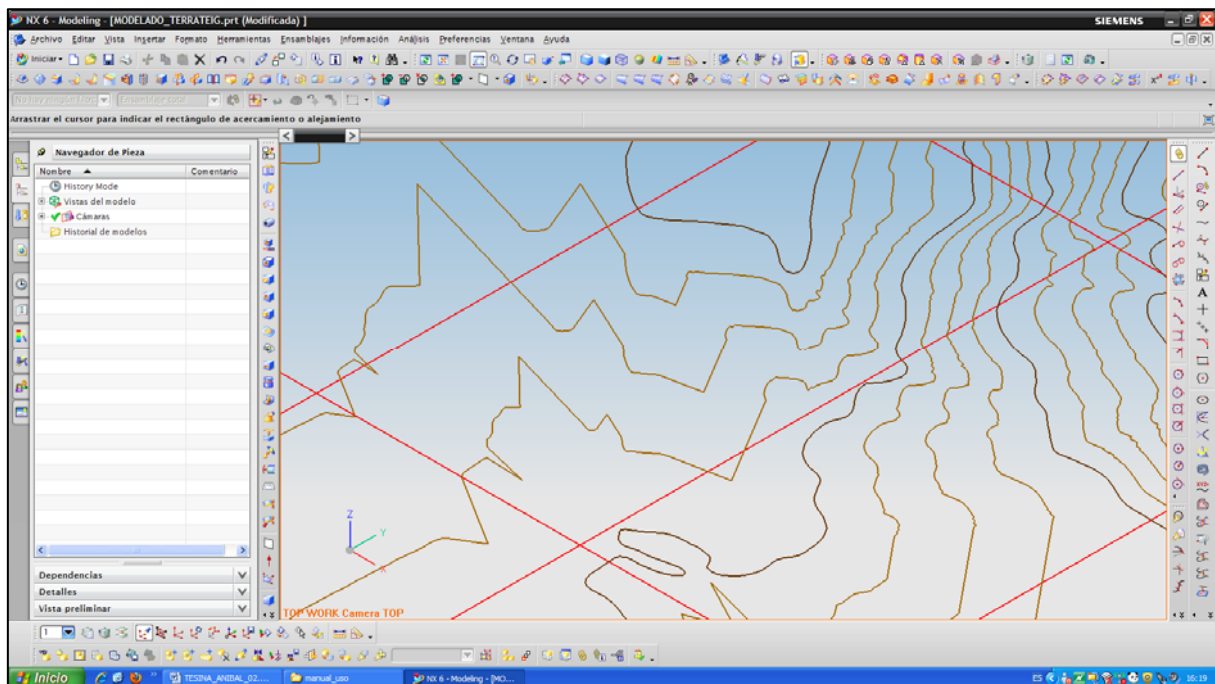
Llegados a este punto y, tras haber explicado en el Capítulo 3 el Tratamiento CAD del archivo, únicamente se mostrará el proceso de construcción de malla con el comando “Superficie N-lados”. Otros comandos susceptibles de ser empleados para la construcción de la malla o superficie no se describirán en este manual. Sin embargo, si se hará mención a la problemática que presentaban las curvas importadas para entender el proceso de diseño y entender el “por qué” de la estrategia adoptada.

4. Problemática Curvas importadas

A continuación se mostrarán varias imágenes con la problemática descrita en capítulos anteriores referente a las líneas importadas.



Las esferas verdes son puntos de definición de la curva. Como se puede ver en la imagen son puntos que están muy juntos. Esto carga de Bytes la curva y dificulta la interpolación de un mallado.

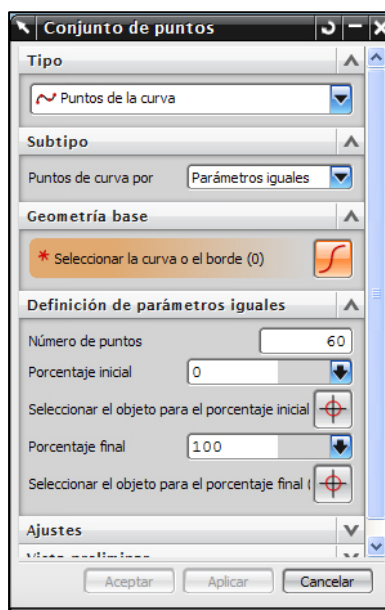
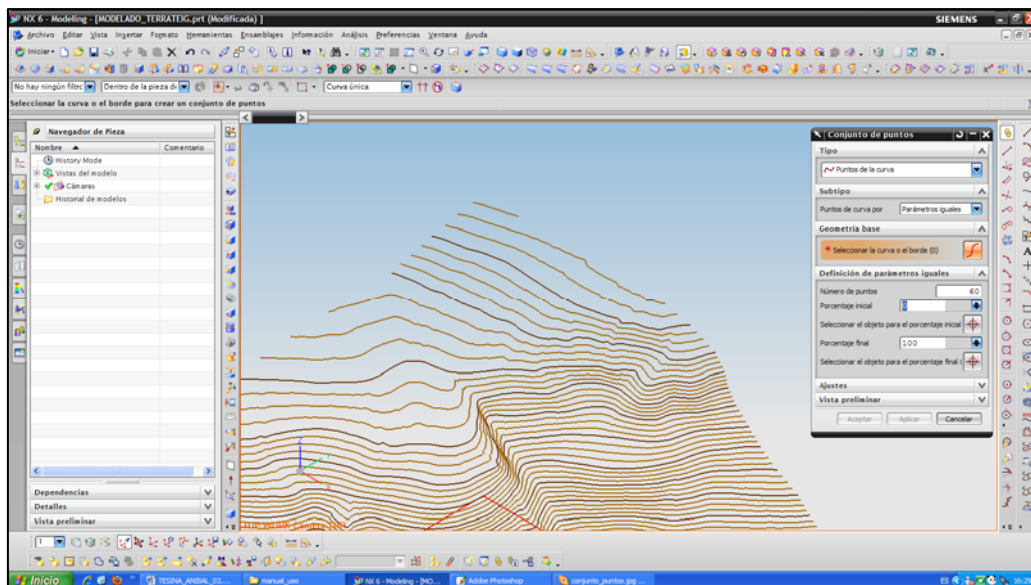


Se observan los picos que hacen las curvas. No suavizar esos picos implicará problemas en la creación de una malla y en el cosido de esta.

5. Reconstrucción de las curvas existentes por curvas nuevas (conjunto de puntos – splines).

En esta sección se detalla el proceso construcción de nuevas curvas a través de los comandos conjunto de puntos y Spline.

- Insertar
- Curvas
- Conjunto de puntos



En este comando debemos seleccionar las siguientes opciones:

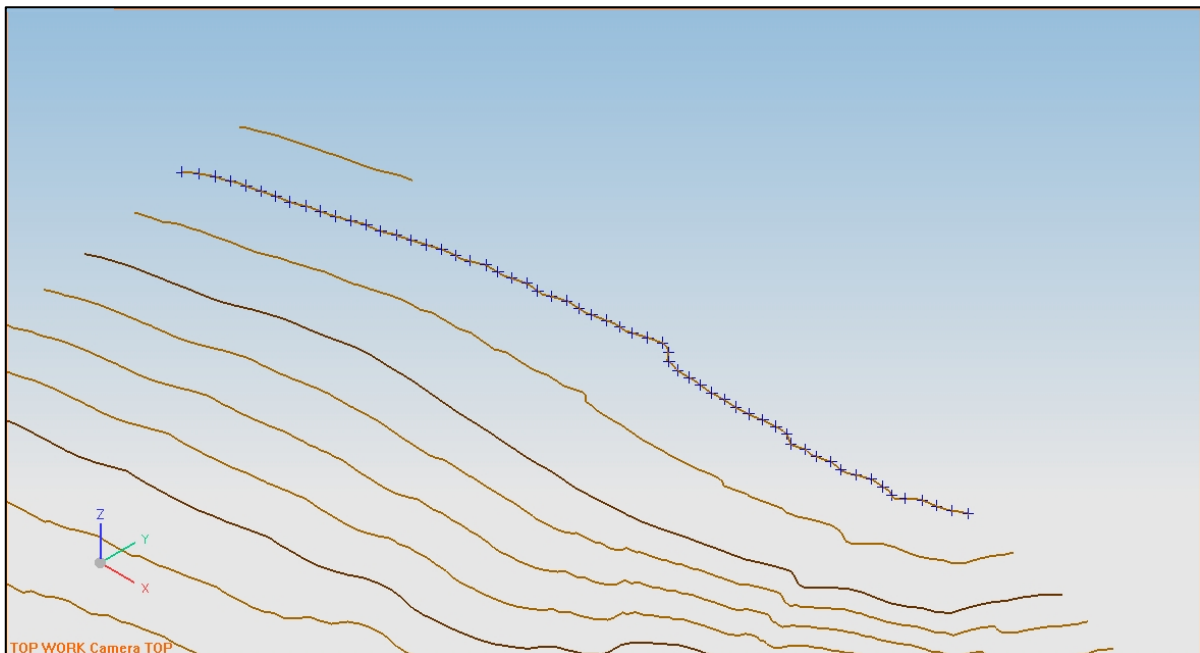
- Puntos de la curva
- Parámetros iguales
- Número de puntos (dependerá de la curva que queramos rastrear)
- Porcentaje inicial 0
- Porcentaje final 100

Esto nos proporciona un punto inicial y final en el comienzo y en el fin de la curva importada.

- Ajustes: Asociativo. Así garantizamos la parametrización de los puntos.
- Seleccionamos la curva a la que deseamos proporcionar el conjunto de puntos con el cursor.

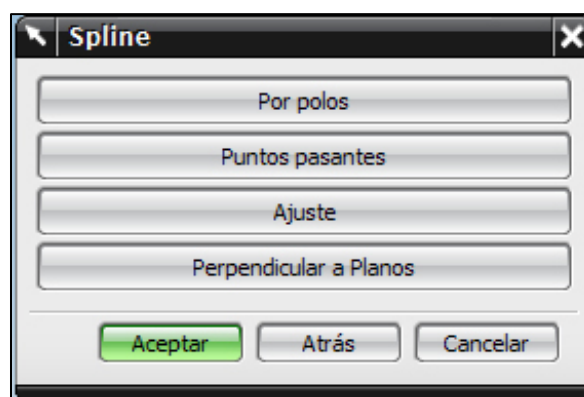
Si tenemos activado el comando “Ver vista preliminar” veremos el resultado antes de aceptar.

- Pulsamos aceptar si estamos de acuerdo

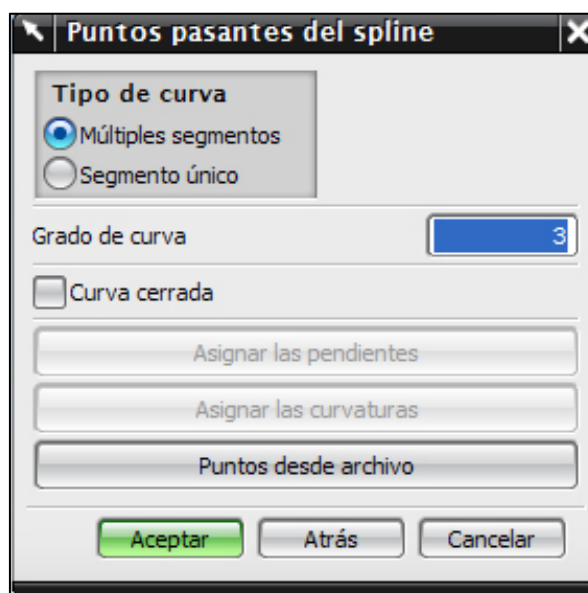


Ocultamos la curva importada y creamos la nueva. Del siguiente modo:

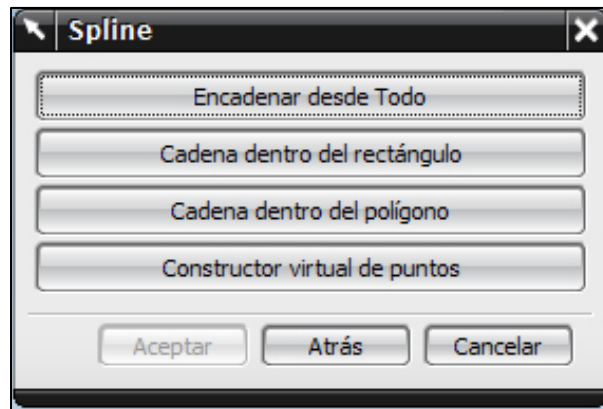
- Crtl + Tecla Letra “B”
- Seleccionamos la Curva importada (la de color marrón rastreada por los puntos).
- Insertar
- Curva
- Spline



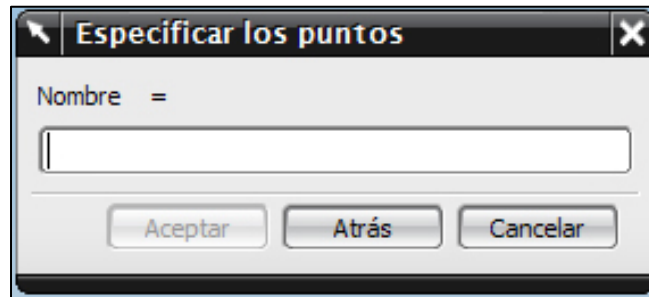
- Seleccionamos puntos pasantes. Aceptar.



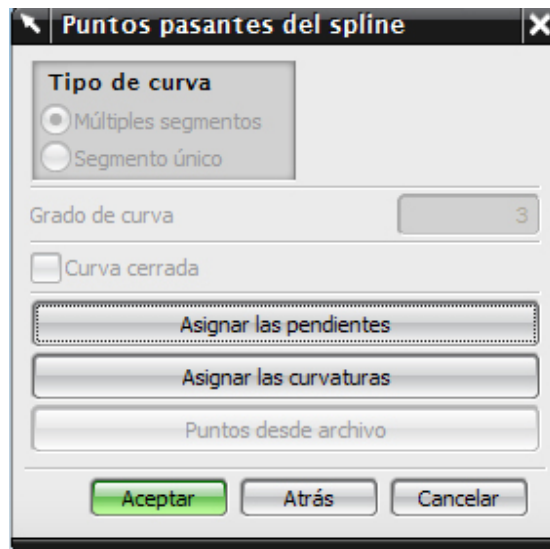
- proporcionamos el Grado a la curva. Aconsejable Grado 3. Seleccionamos un tipo de curva de múltiples segmentos. Aceptar.



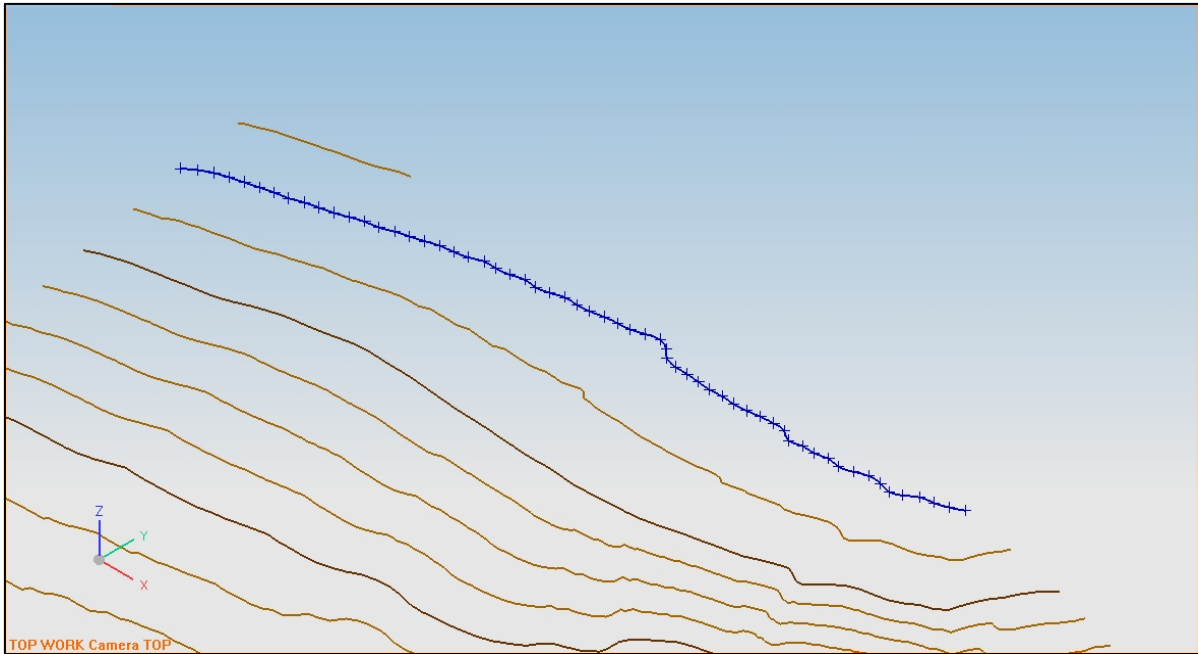
- Seleccionamos “Encadenar desde todo”



- Seleccionamos el punto inicial y final del conjunto de puntos anterior



- Aceptar

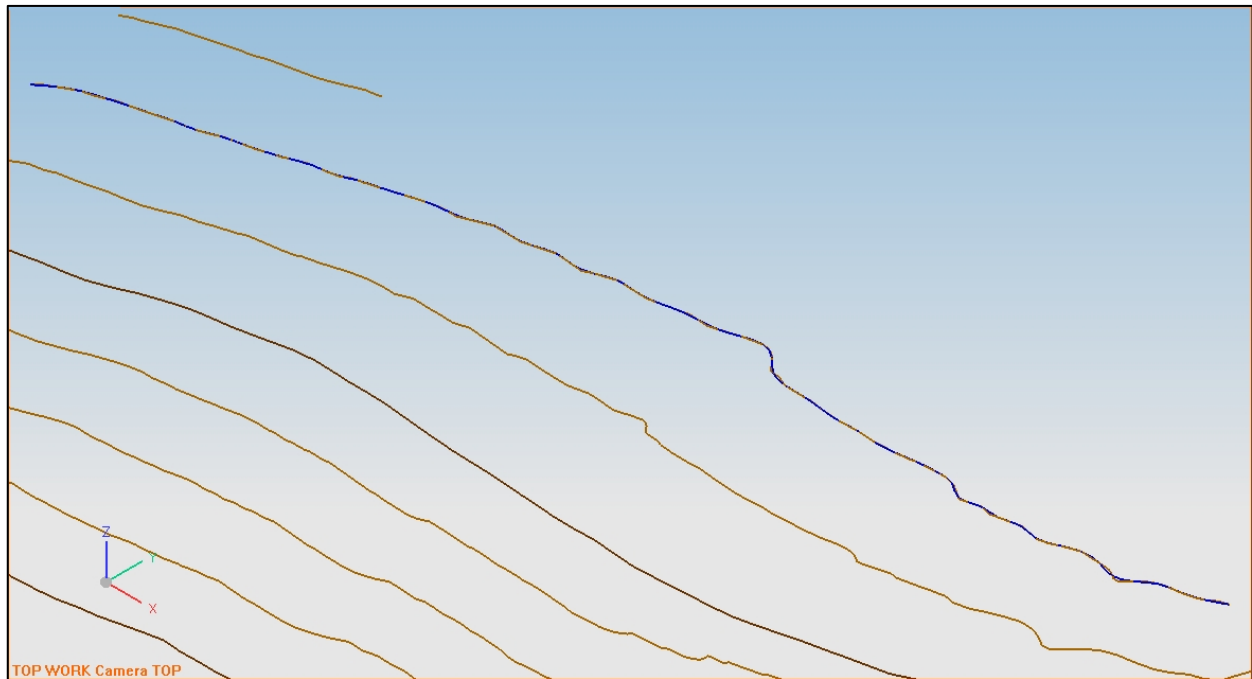


Nueva curva obtenida. A curva obtenida. A continuación se muestra una imagen con la curva nueva y la importada. Ocultamos los puntos del mismo modo que ocultamos la curva y hacemos visible la curva. Para hacer visible cualquier entidad:

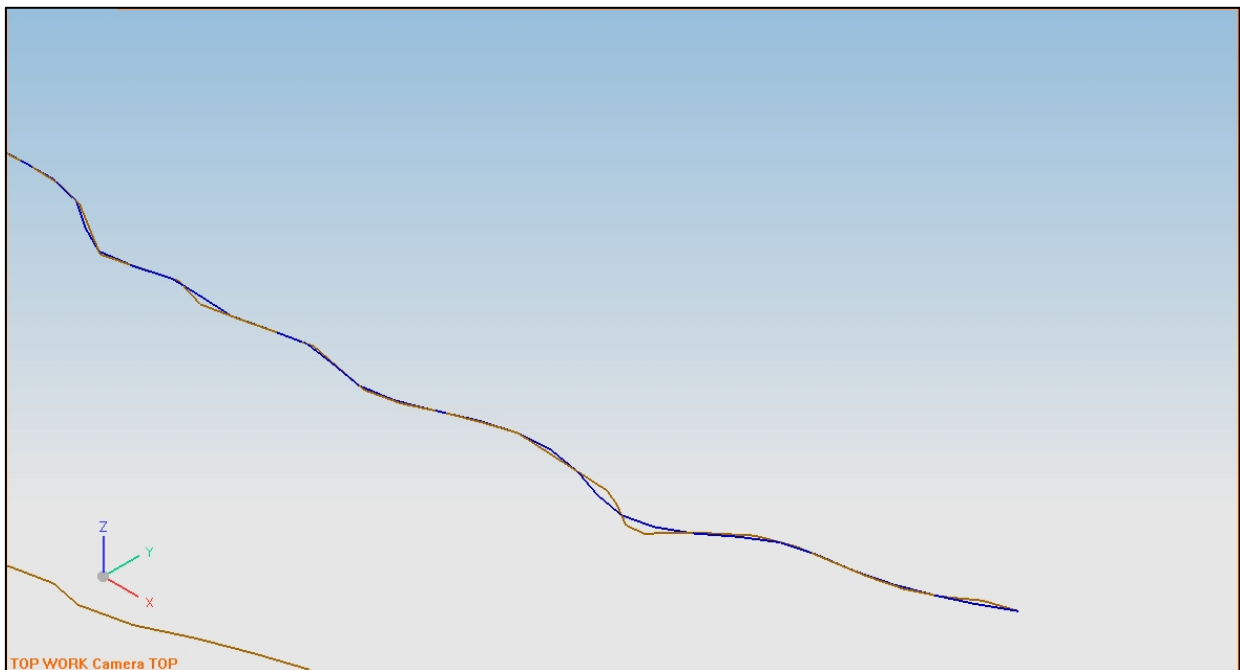
- Ctrl + Flecha + K
- Seleccionamos la curva

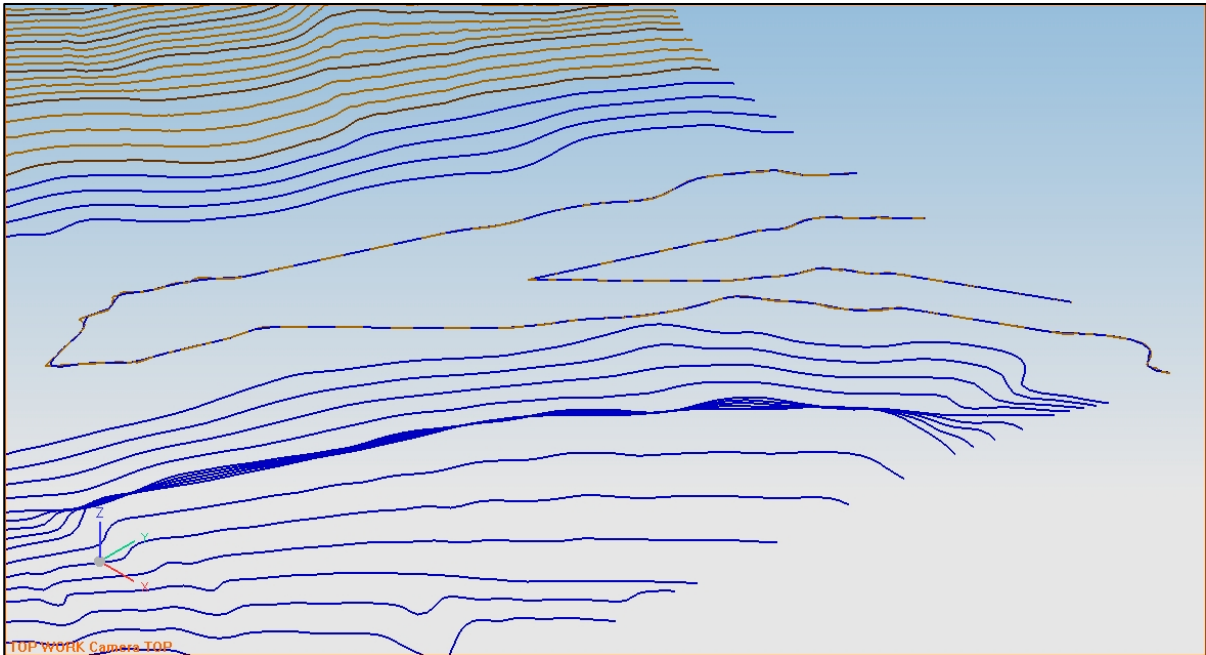
continuación se muestra una imagen con la curva nueva y la importada. Ocultamos los puntos del mismo modo que ocultamos la curva y hacemos visible la curva. Para hacer visible cualquier entidad:

- Ctrl + Flecha + K
- Seleccionamos la curva



Se aprecia que la curva azul se aproxima considerablemente a la curva marrón.
En la imagen de abajo se observa en mayor detalle porque se ha realizado un zoom.

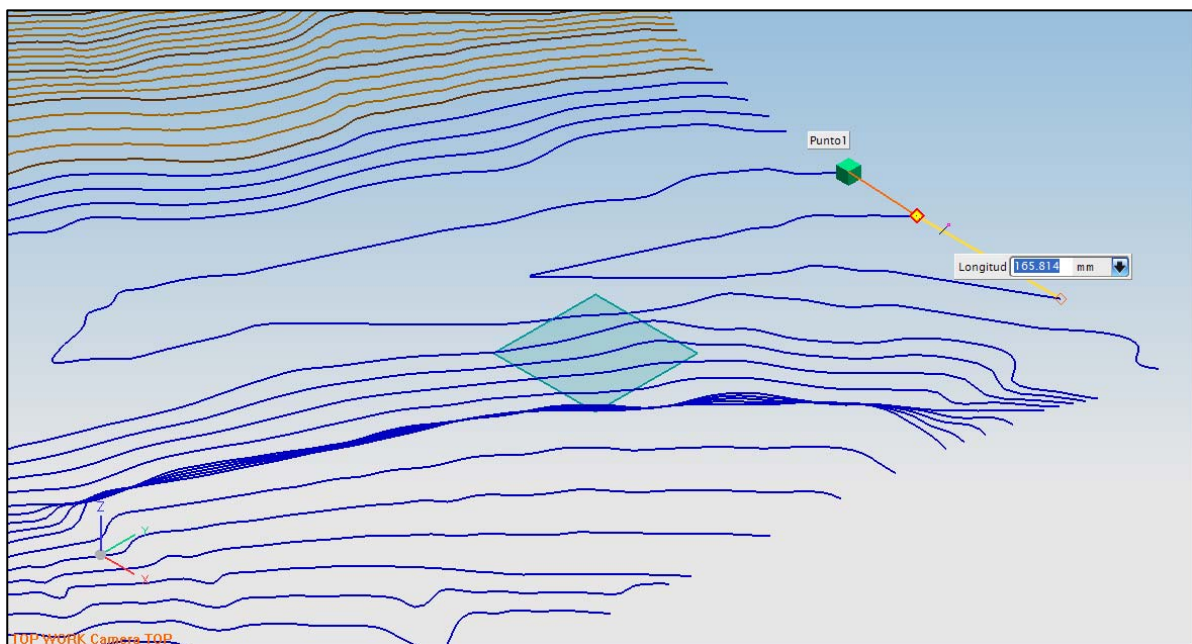


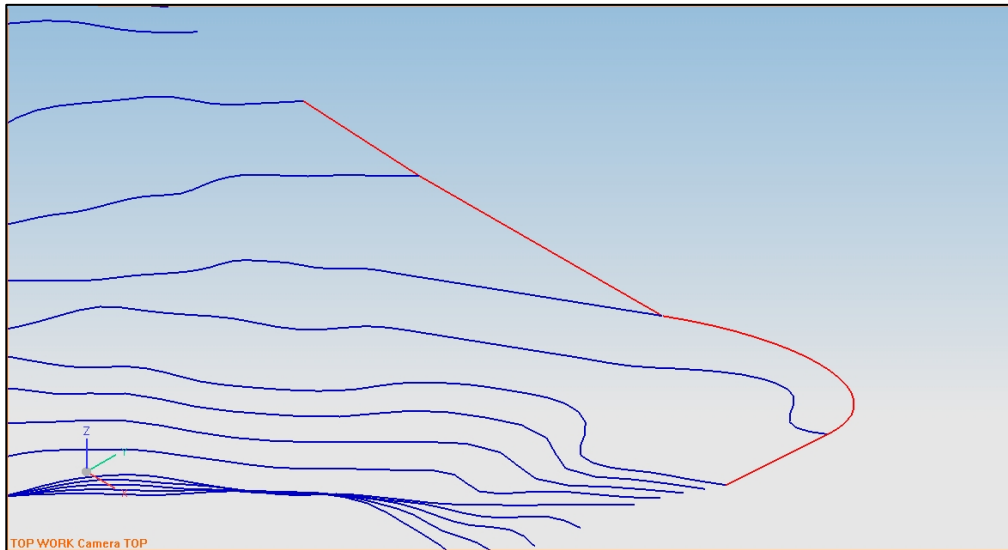


El siguiente paso, previo a efectuar las Superficies N-lados, sería crear bucles cerrados de curva. Para hacer esto procederemos del siguiente modo:

- Insertar
- Curva
- Línea

A través de este comando cerraremos bucles de curvas que después servirán para crear la superficie N-Lados.

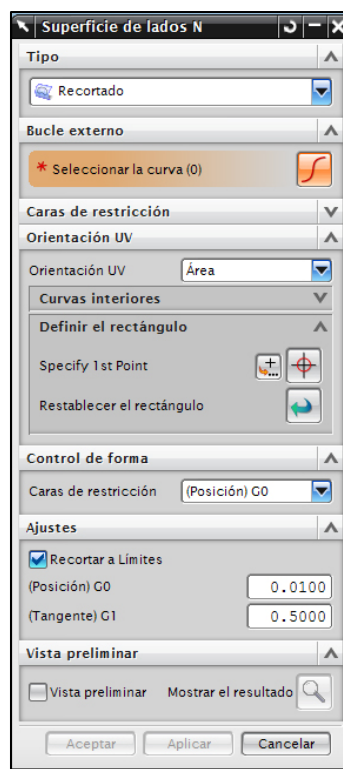




6. Creación de Superficies N Lados.

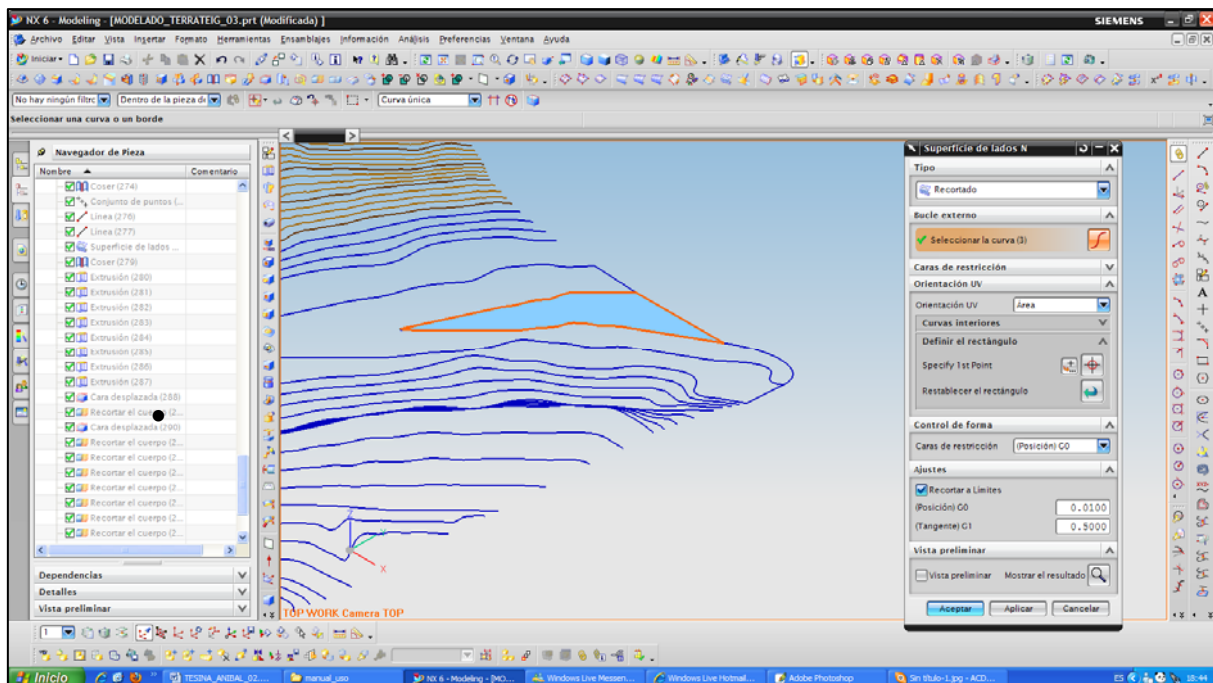
Una vez creados bucles cerrados de curva utilizaríamos el comando “Superficie N-Lados”. Del siguiente modo:

- Insertar
- Superficie de malla
- Superficie de Lados N

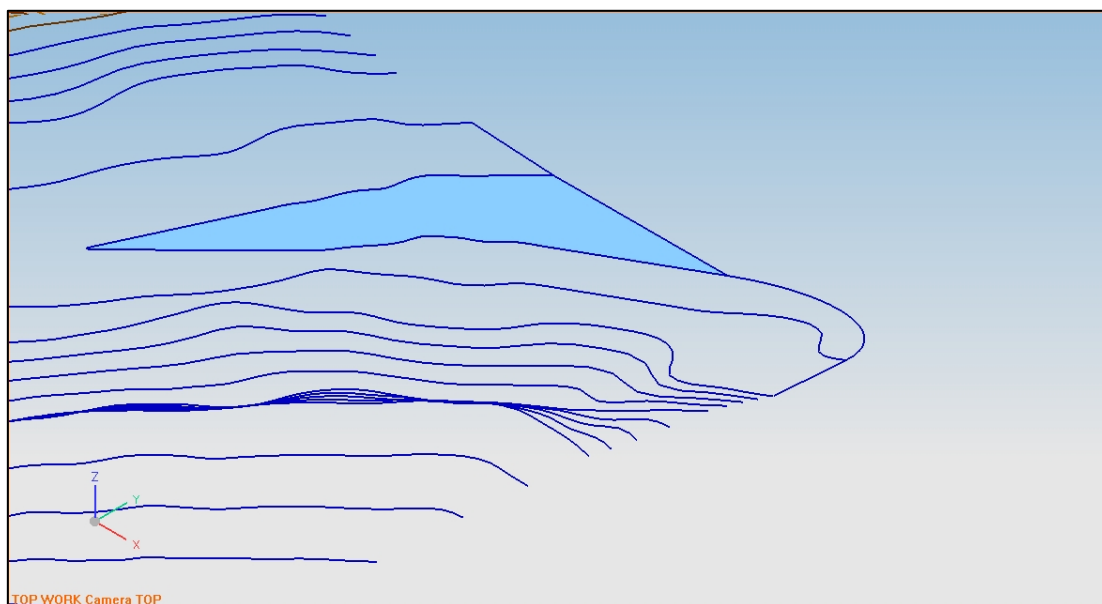


Dentro del menú de este comando seleccionaremos las siguientes opciones:

- Tipo: Recortado.
- Orientación UV: Área.
- Caras de restricción. Posición G0.
- Recortar límites: Activado
- Seleccionamos las curvas

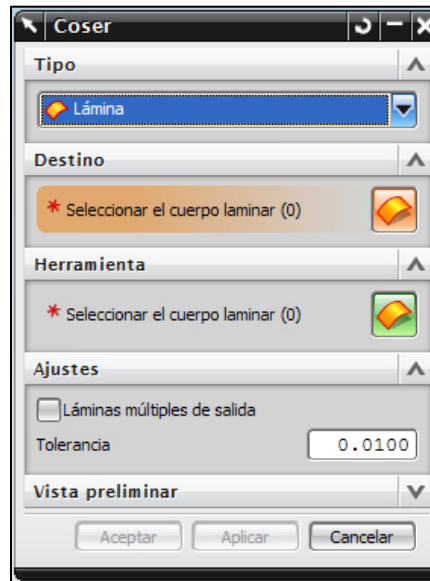


- Aceptar



Después de crear varias superficies por el procedimiento descrito procederemos al cosido de las superficies para crear una sola superficie o malla. Lo haremos del siguiente modo:

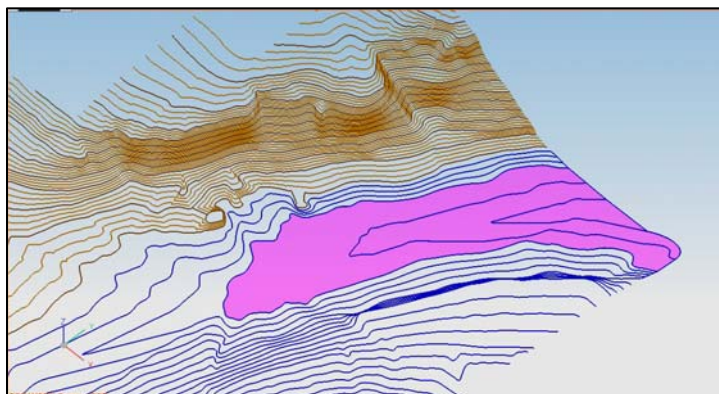
- Operaciones de Figura
- Coser

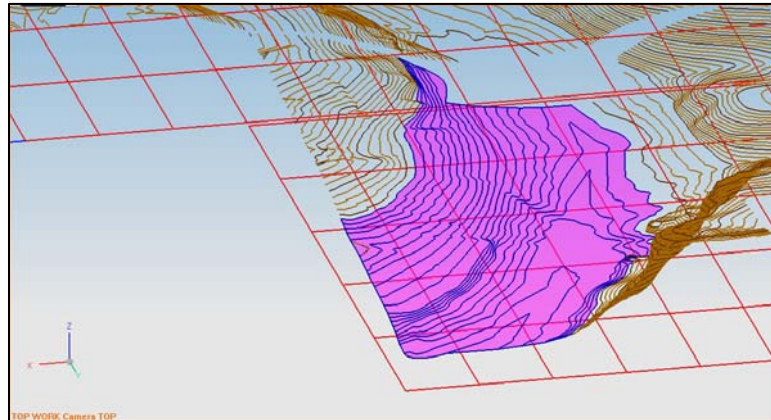


Dentro del menú seleccionamos las siguientes opciones:

- Tipo: Lámina
- Seleccionamos el cuerpo laminar origen
- Seleccionamos el cuerpo laminar destino
- Ponemos una tolerancia de 10 mm.

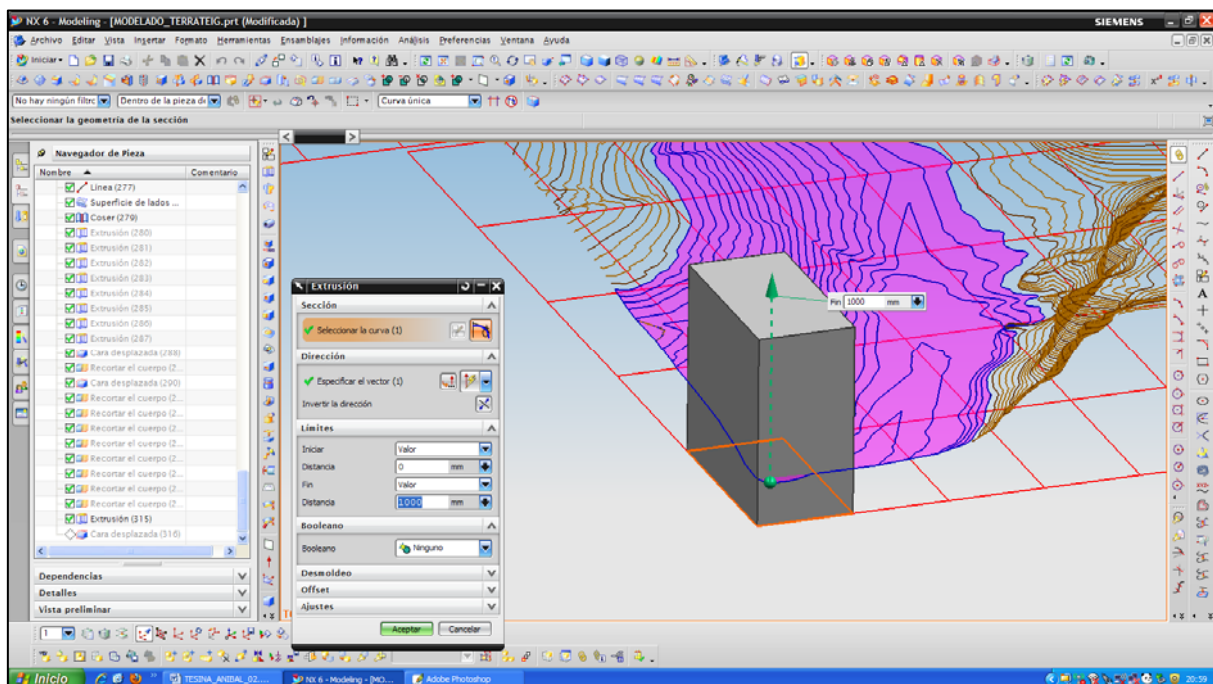
A continuación veremos varias imágenes con los resultados obtenidos.





7. Creación de Bloques.

Para obtener los bloques lo que haremos será recortar una extrusión con la malla creada. Procederemos del siguiente modo:

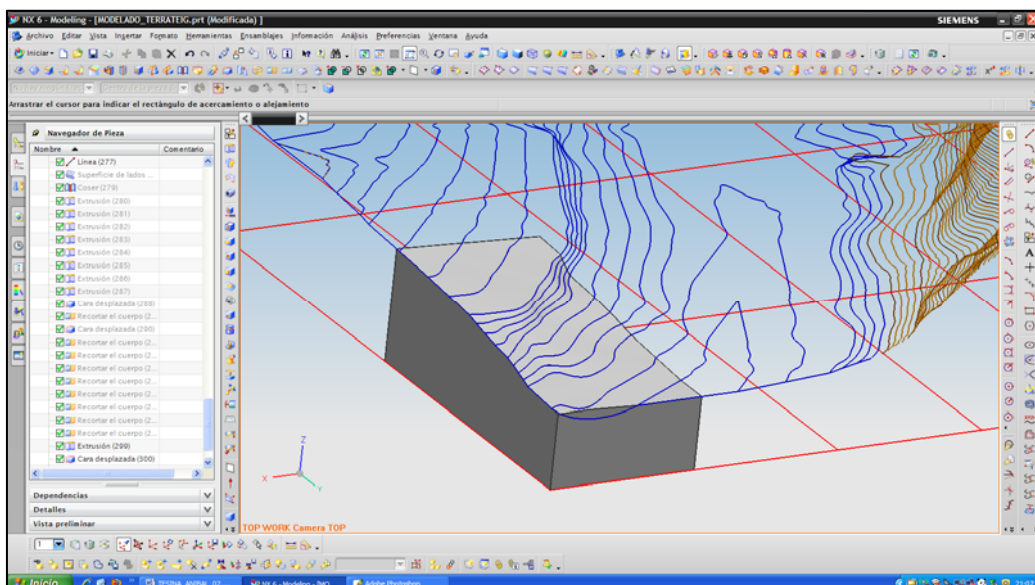
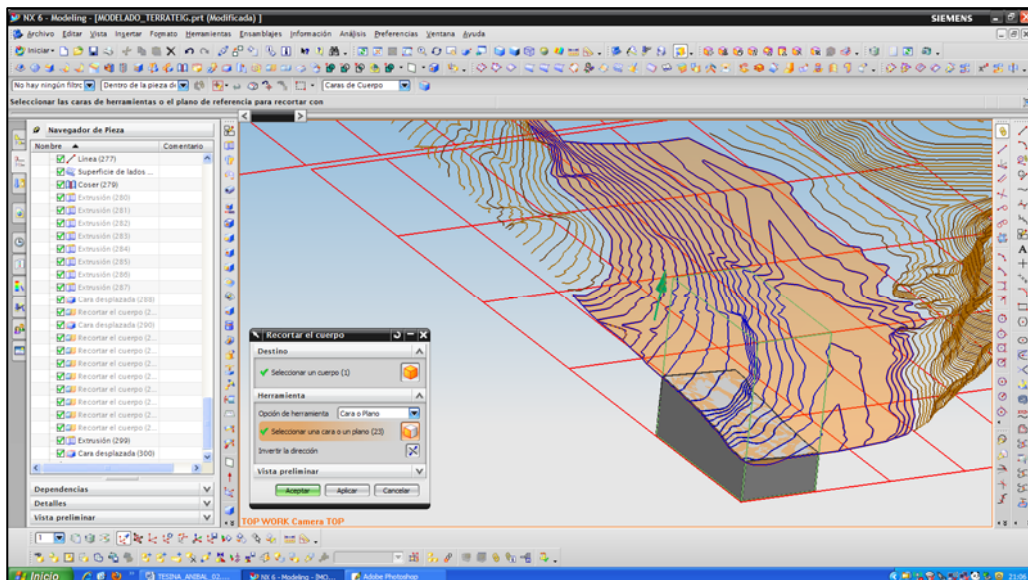


- Figura
- Extrusión
- Seleccionamos las 4 curvas que componen un bloque
- Proporcionamos una altura de 1000 mm., que es lo que miden nuestros bloques.

- Aceptar.

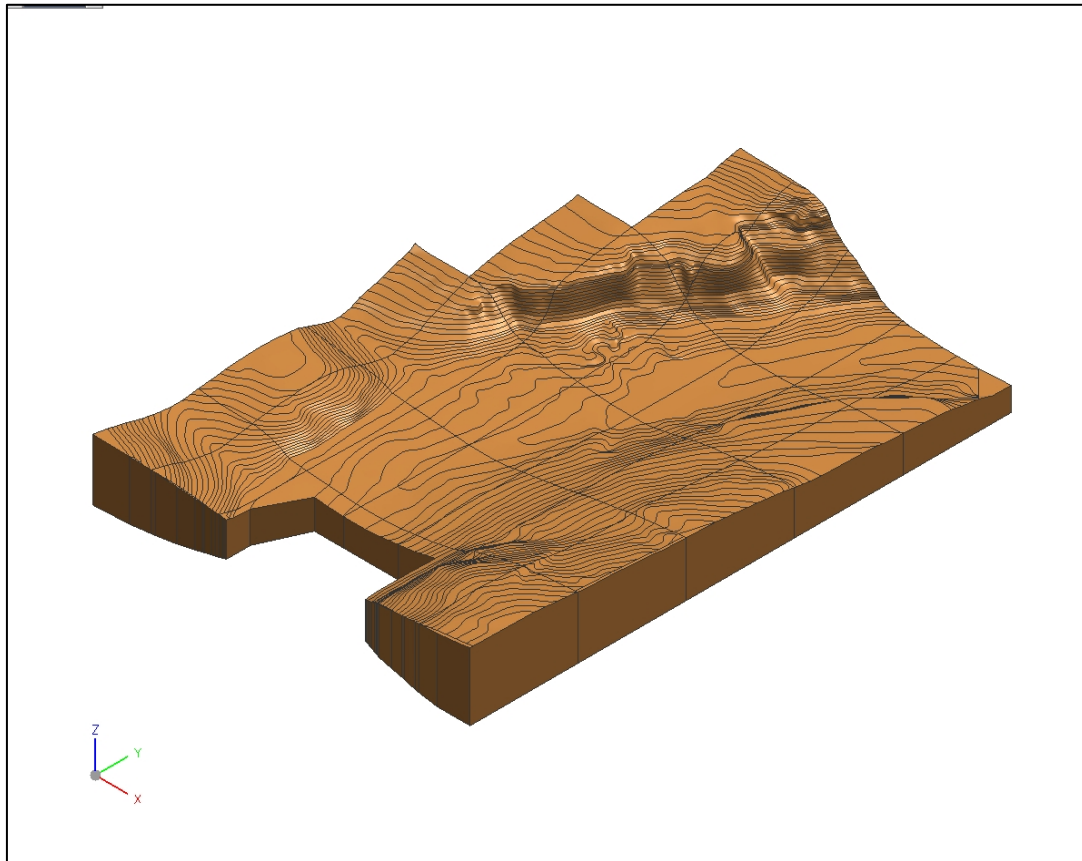
Una vez tenemos nuestro bloque el siguiente paso es recortarlo con la malla creada.

- Operaciones de Figura.
- Recortar el cuerpo
- Seleccionamos la extrusión
- Seleccionamos la superficie
- Definimos el vector
- Aceptar



Todo este proceso se repetiría hasta obtener todos los bloques. Se trata de un proceso repetitivo que requiere tiempo y paciencia.

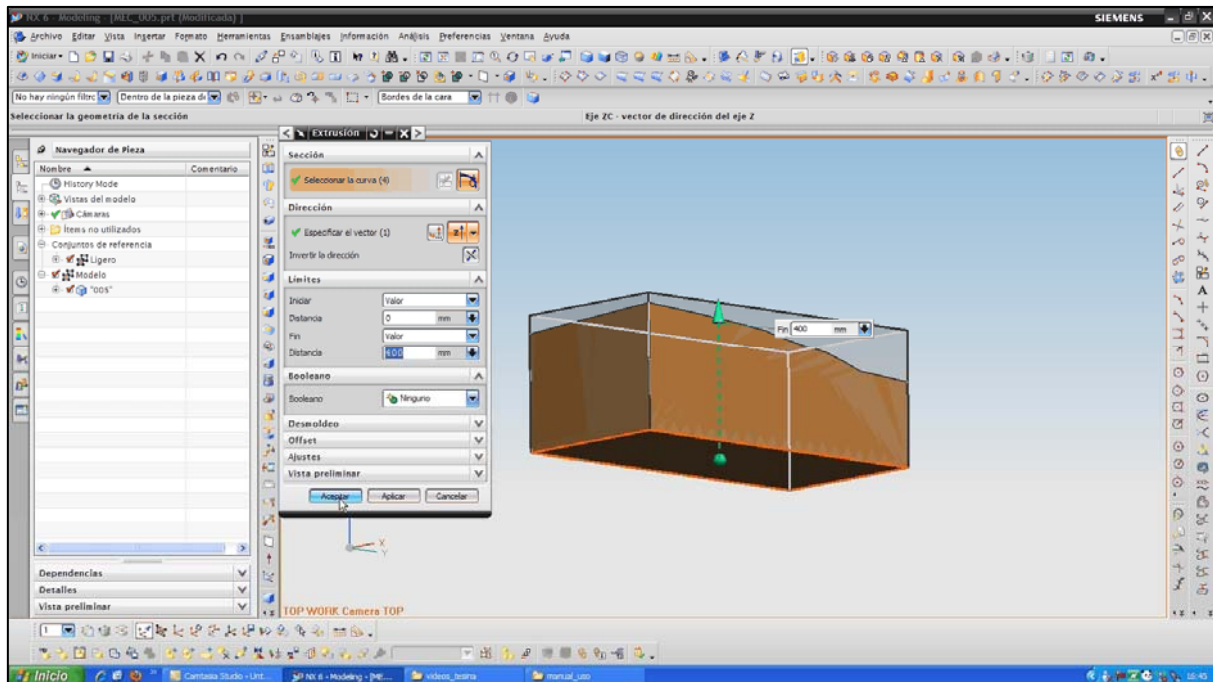
Imagen de un conjunto de bloques creado mediante el proceso descrito:



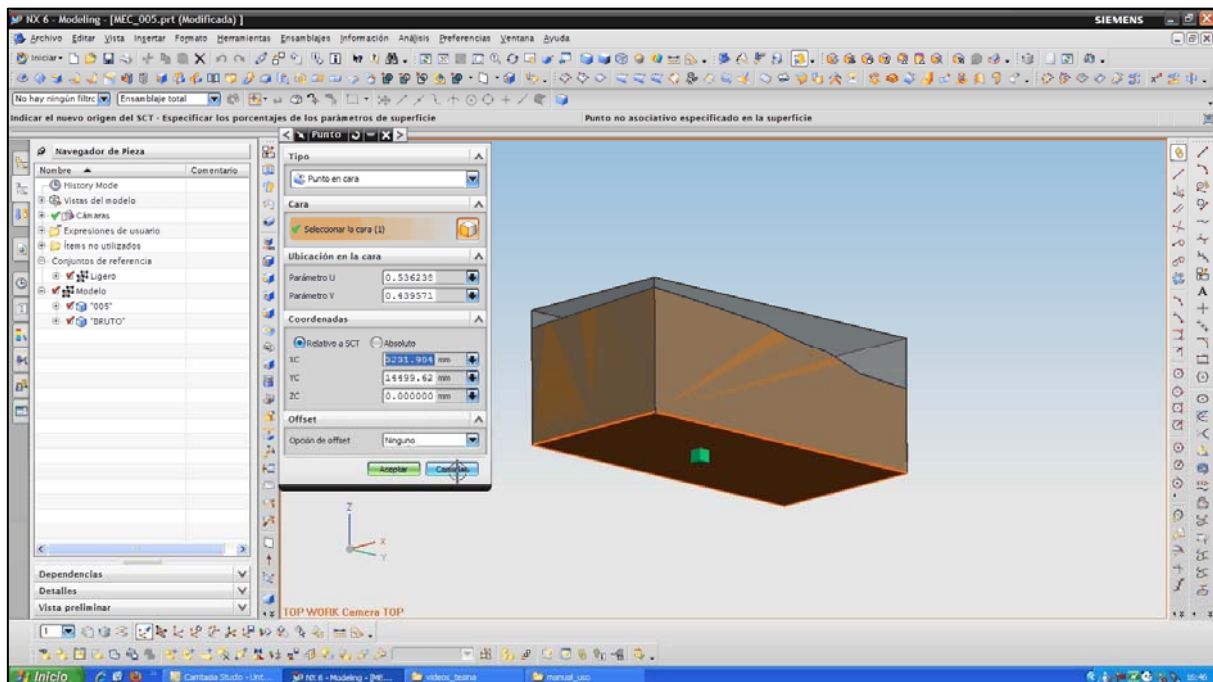
8. Creación de los programas de mecanizado.

En este apartado se explicará en detalle el proceso de elaboración del programa CAM para un bloque. En concreto, para el bloque nº 005. Los pasos serían los siguientes:

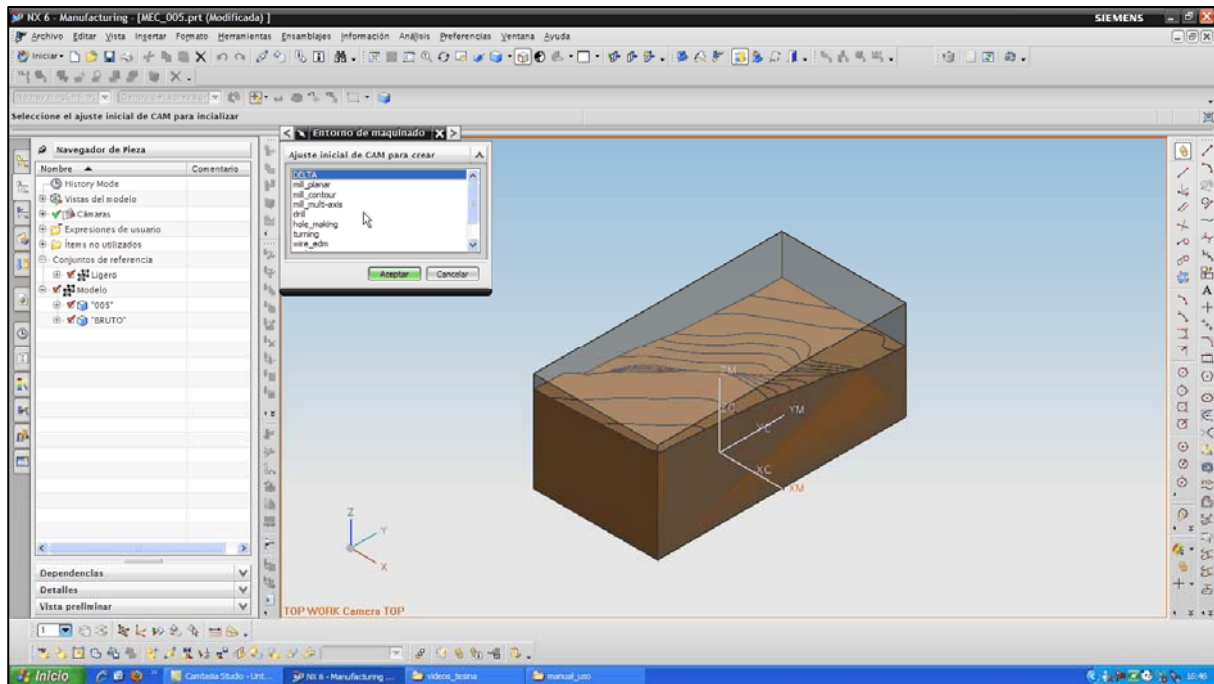
- Dentro de la aplicación NX abrimos un bloque (para nuestro ejemplo el nº 5). Abrir, seleccionamos archivo, etc.
- Hacemos una extrusión seleccionando la cara de abajo y le damos la altura que tendrá nuestro bruto



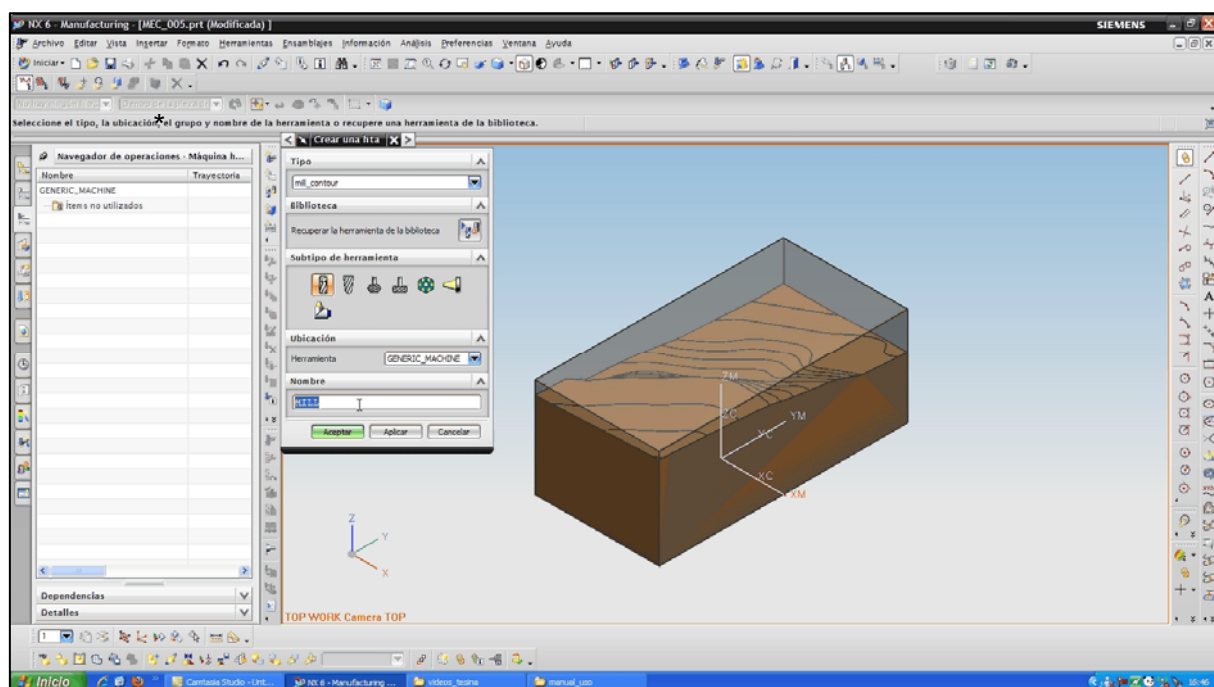
- situamos el Origen de Coordenadas en el punto medio de la cara inferior.



- Abrimos la aplicación de Fabricación. Desplegable Iniciar.
- Fabricación
- Mill Contour

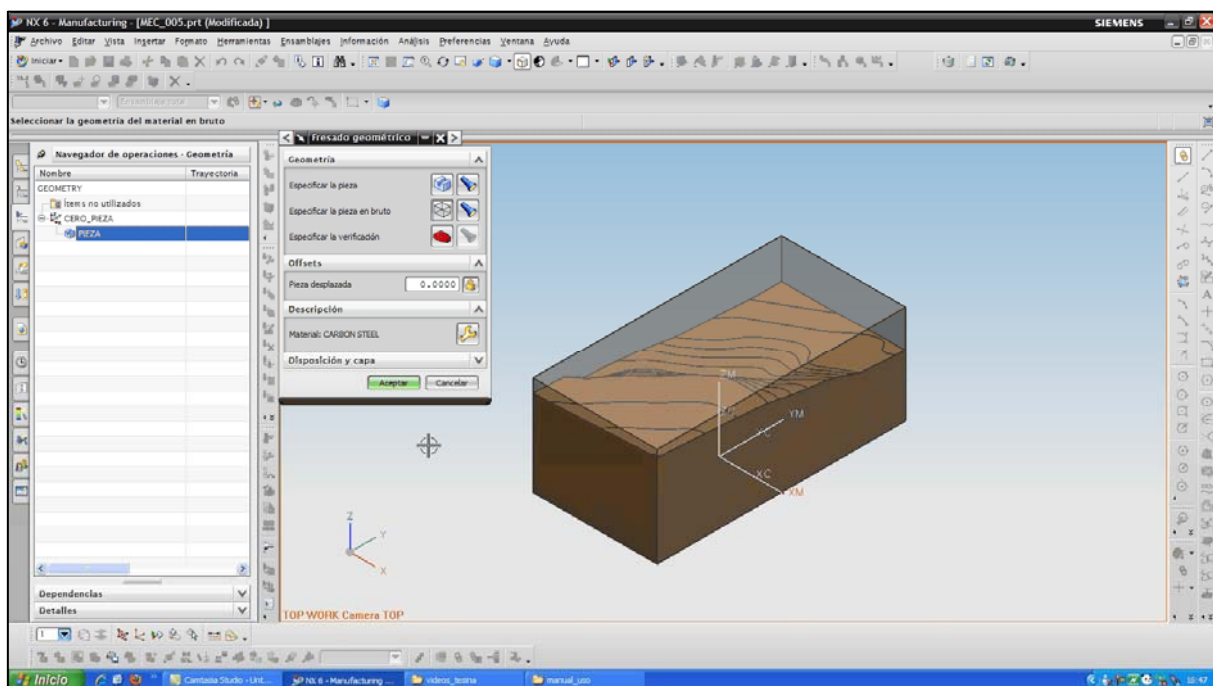
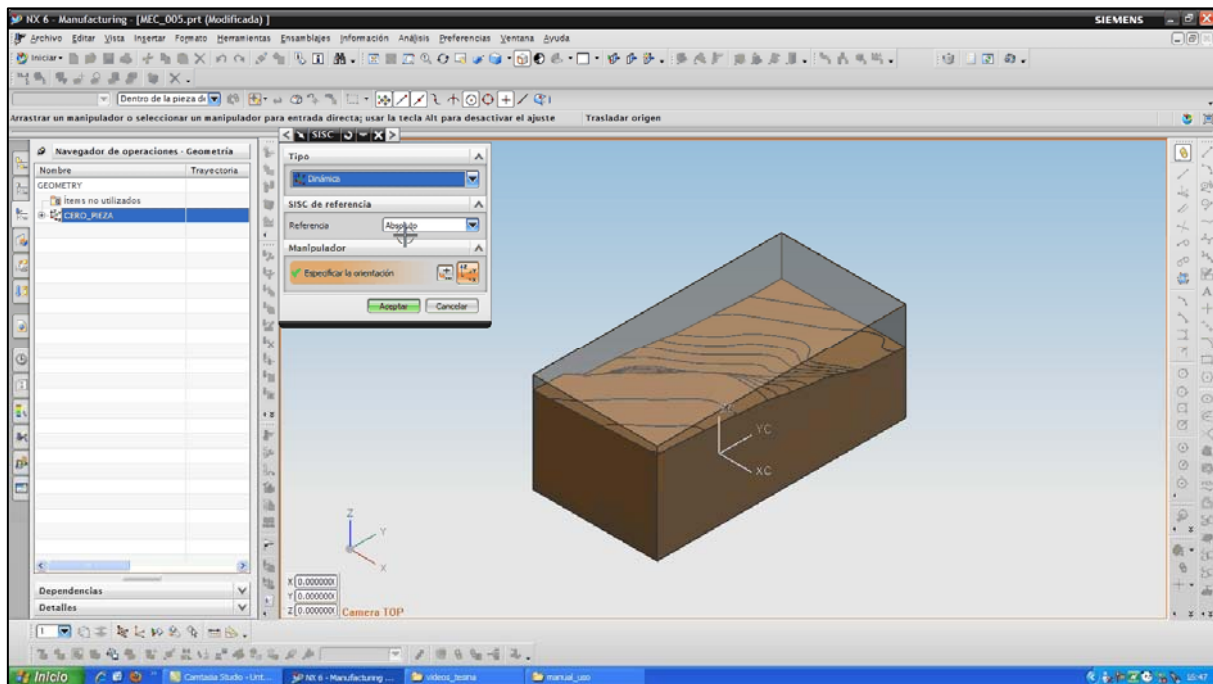


- configuramos las paletas de :
 - PROGRAMA
Damos el nombre a nuestro programa y establecemos el árbol.
 - HERRAMIENTAS
Configuramos la herramienta siguiendo los pasos del menú y aceptamos.



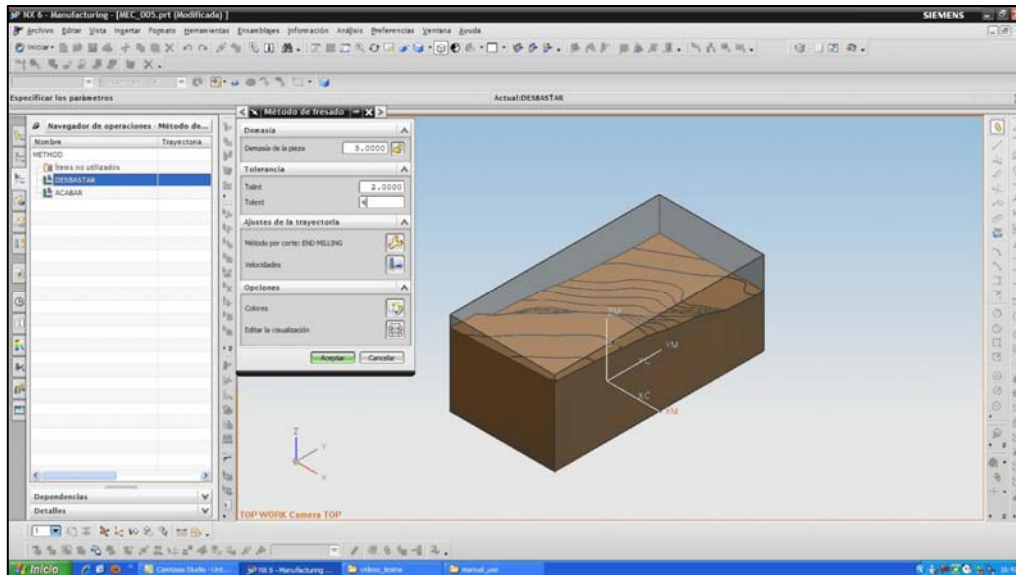
- GEOMETRÍAS

Creamos el Cero pieza, el plano de seguridad y definimos la pieza y el bruto. La pieza debe colgar, en el árbol, del Cero pieza (Sistema de Coordenadas). Para ello enlazaremos el cero máquina con el cero pieza creado en el módulo de diseño.



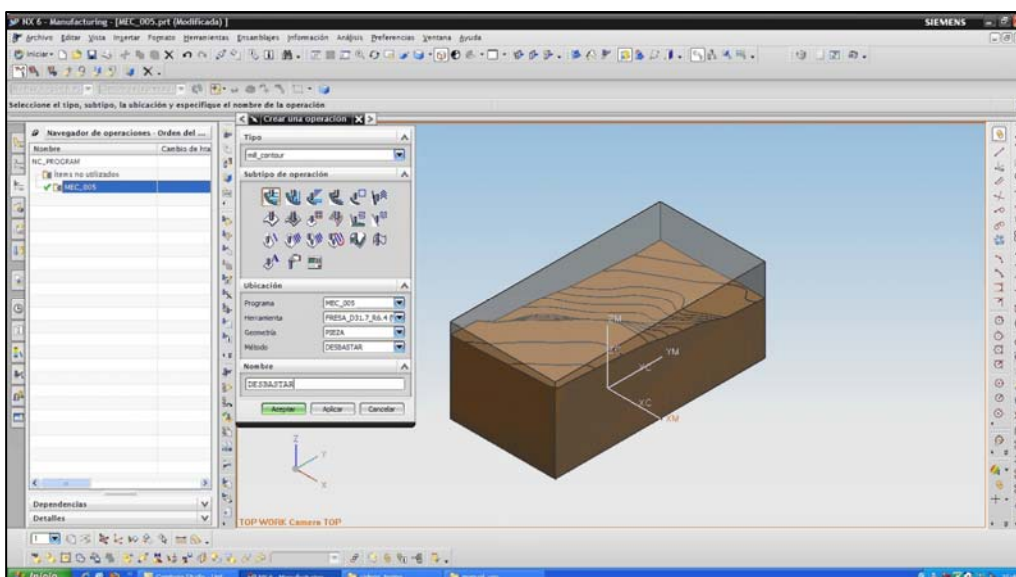
- MÉTODOS DE MAQUINADO

Se establecen las tolerancias y los métodos de mecanizado que se van a utilizar. Las demasías de material, también, se configuran en este apartado.

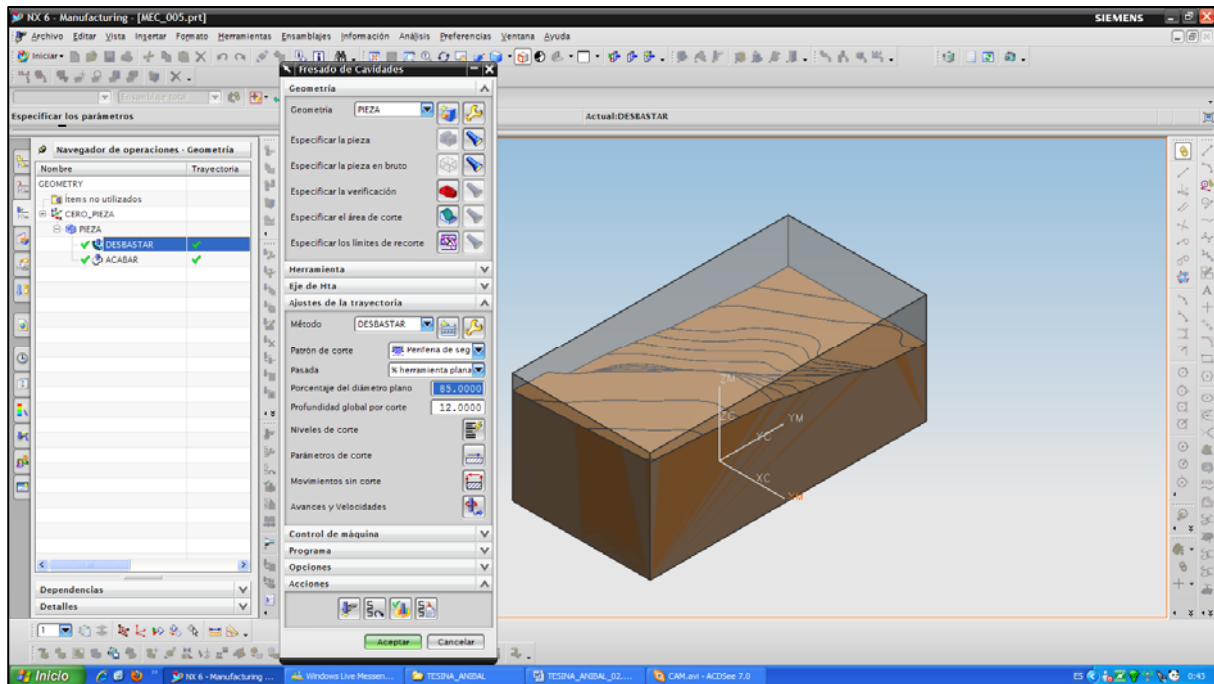


Los menús son bastante intuitivos ya que van acompañados de iconos que visualmente resultan muy representativos. Lo más importante es establecer un orden como el que se ha indicado. El siguiente paso es definir las operaciones que compondrán nuestro programa. Las operaciones colgarán del programa.

- Insertar
- Crear una operación



- Cavity Mill

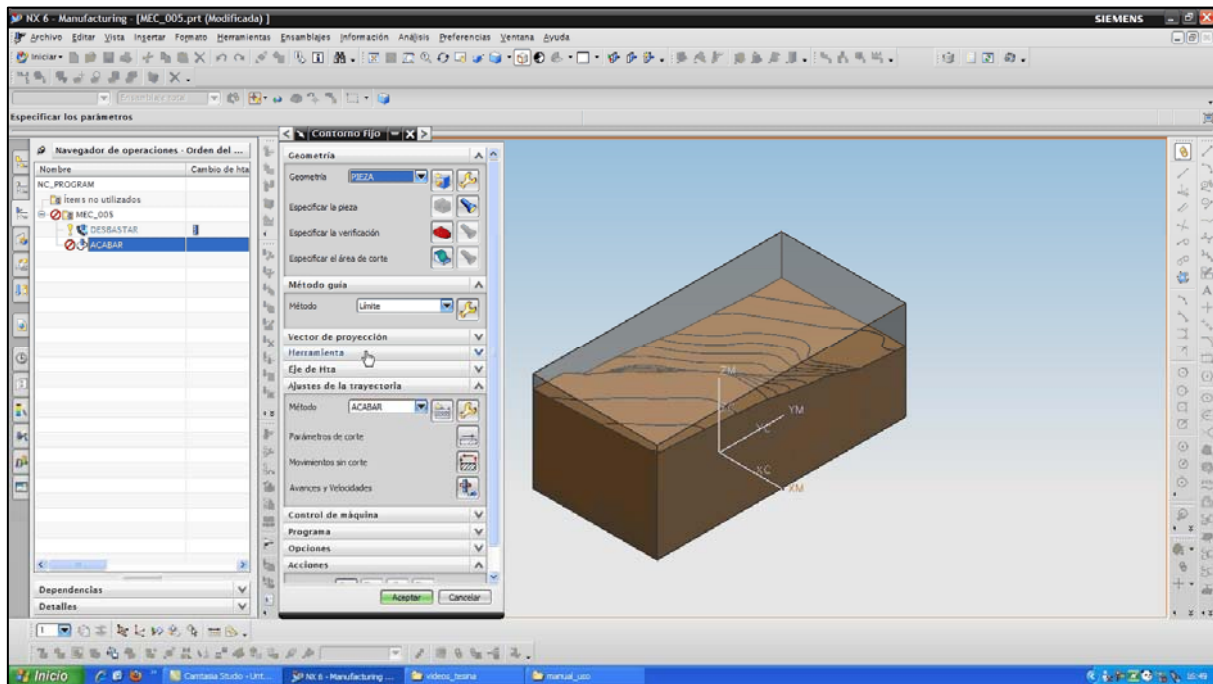


Dentro de la operación se definen las características de la misma. Parámetros como pasada lateral, profundidad de pasada, Patrón de corte, Velocidades, Entrada y salida de herramienta... Todo es perfectamente definible desplegando pestañas dentro de la operación.

- Aceptar. Tendríamos la operación de desbaste creada.

La operación de Acabado se crearía del mismo modo:

- Insertar
- Crear una operación
- Fixed Contour



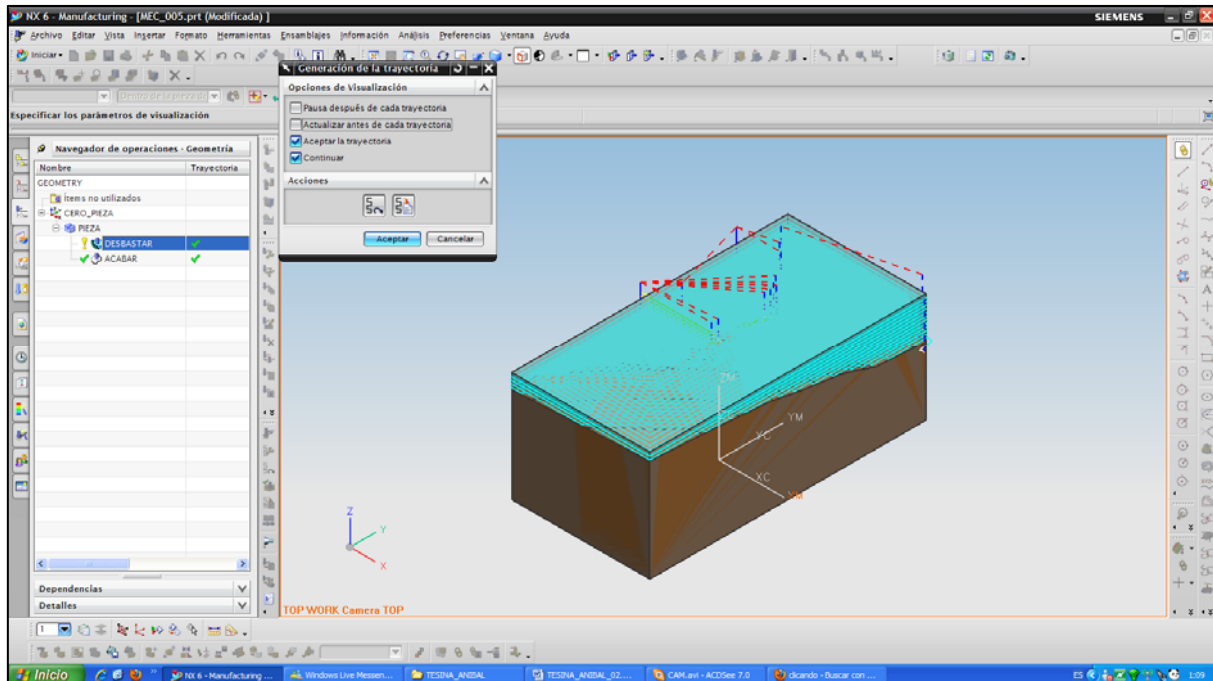
Dentro de la operación se definen las características de la misma. Parámetros como pasada lateral, profundidad de pasada, Patrón de corte, Velocidades, Entrada y salida de herramienta... Todo es perfectamente definible desplegando pestañas dentro de la operación.

- Aceptar. Tendríamos la operación de desbaste creada.

El paso final previo a la operación de postprocesado es el de la generación de trayectorias de mecanizado.

La generación de trayectorias se puede realizar clicando al terminar de definir la operación sobre la propia operación. Del siguiente modo

- Sobre la operación click botón derecho
- Generar
- Aceptar



Este paso lo haríamos con las dos operaciones y ya tendríamos terminado el CAM del bloque. No obstante es muy recomendable lanzar una simulación para visualizar si está todo correcto y si existen interferencias. Del siguiente modo:

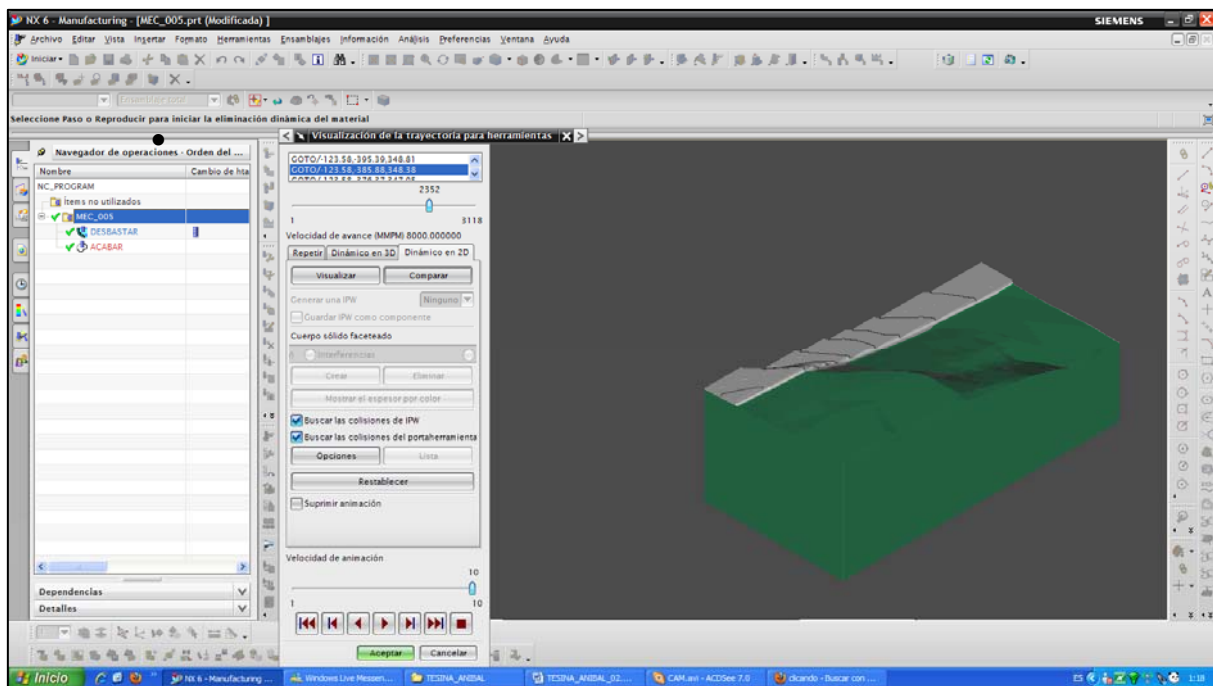
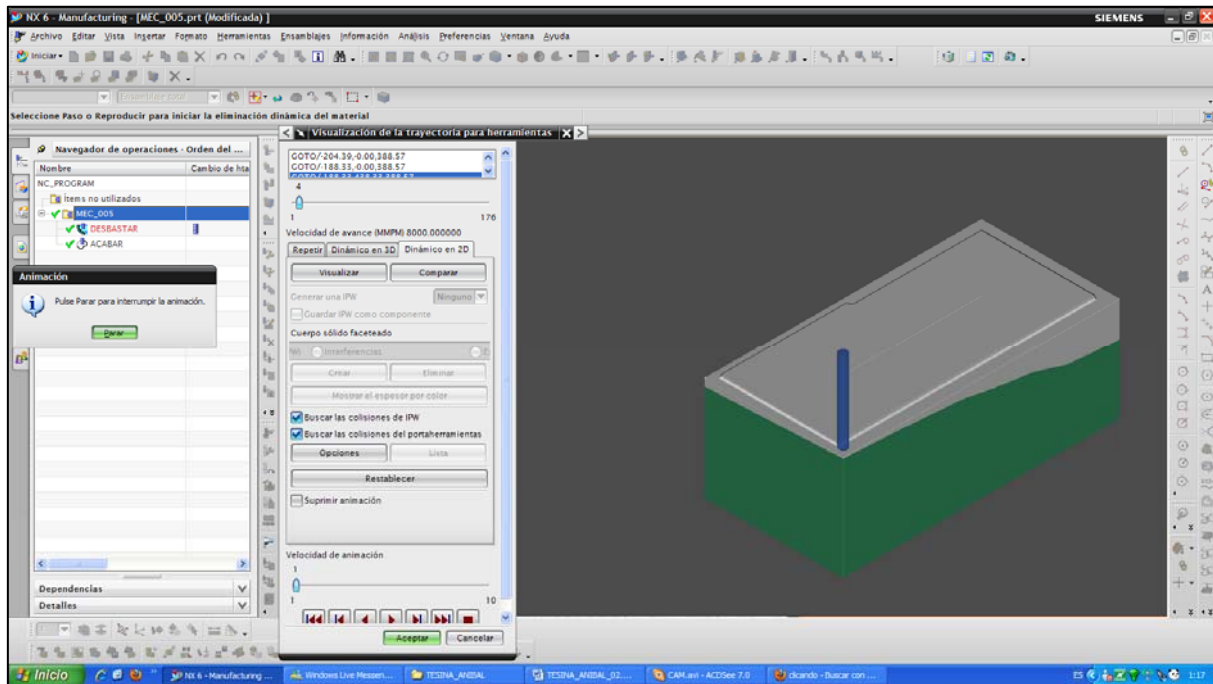
- Click botón derecho sobre la operación
- Verificar interferencias
- Aceptar

Al final saca un informe con el resultado del chequeo realizado. Si hay o no hay interferencias queda reflejado en ese informe.

Esto sería para lo referente a interferencias. Si además queremos visionar el mecanizado haríamos lo siguiente:

- Click botón derecho sobre el programa.
- Trayectoria para herramientas
- Verificar

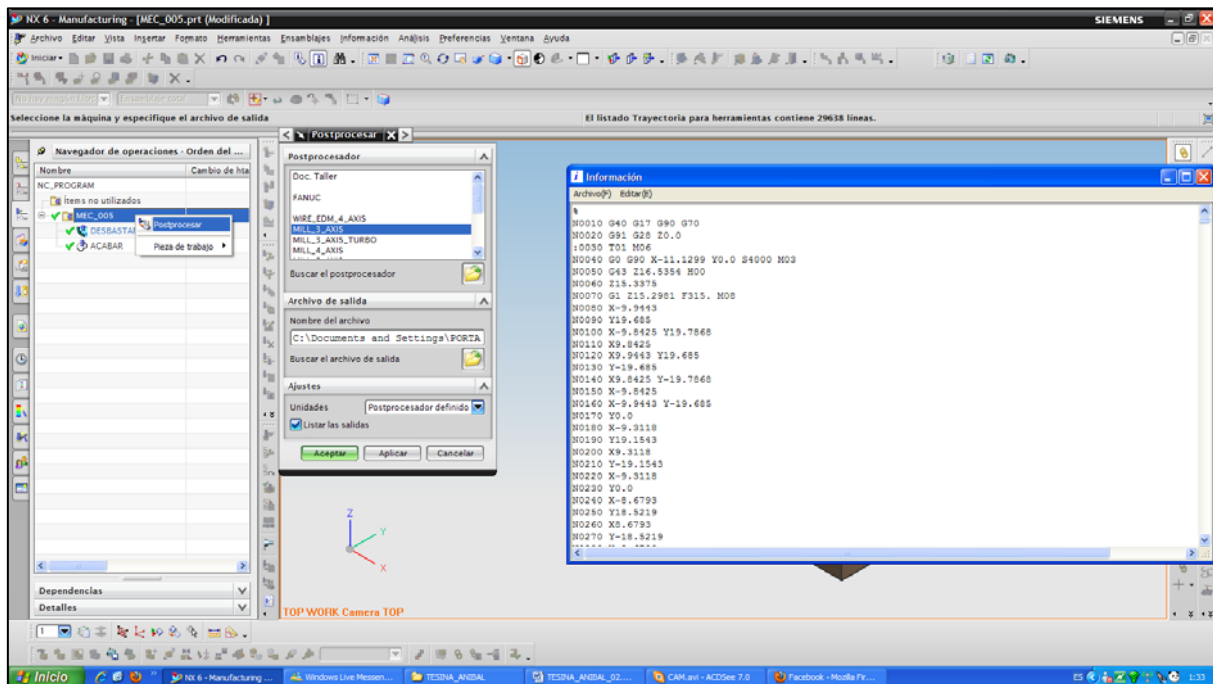
- Dinámico en 2D.
Activamos la opción de pausa en caso de colisión



9. El Postprocesado

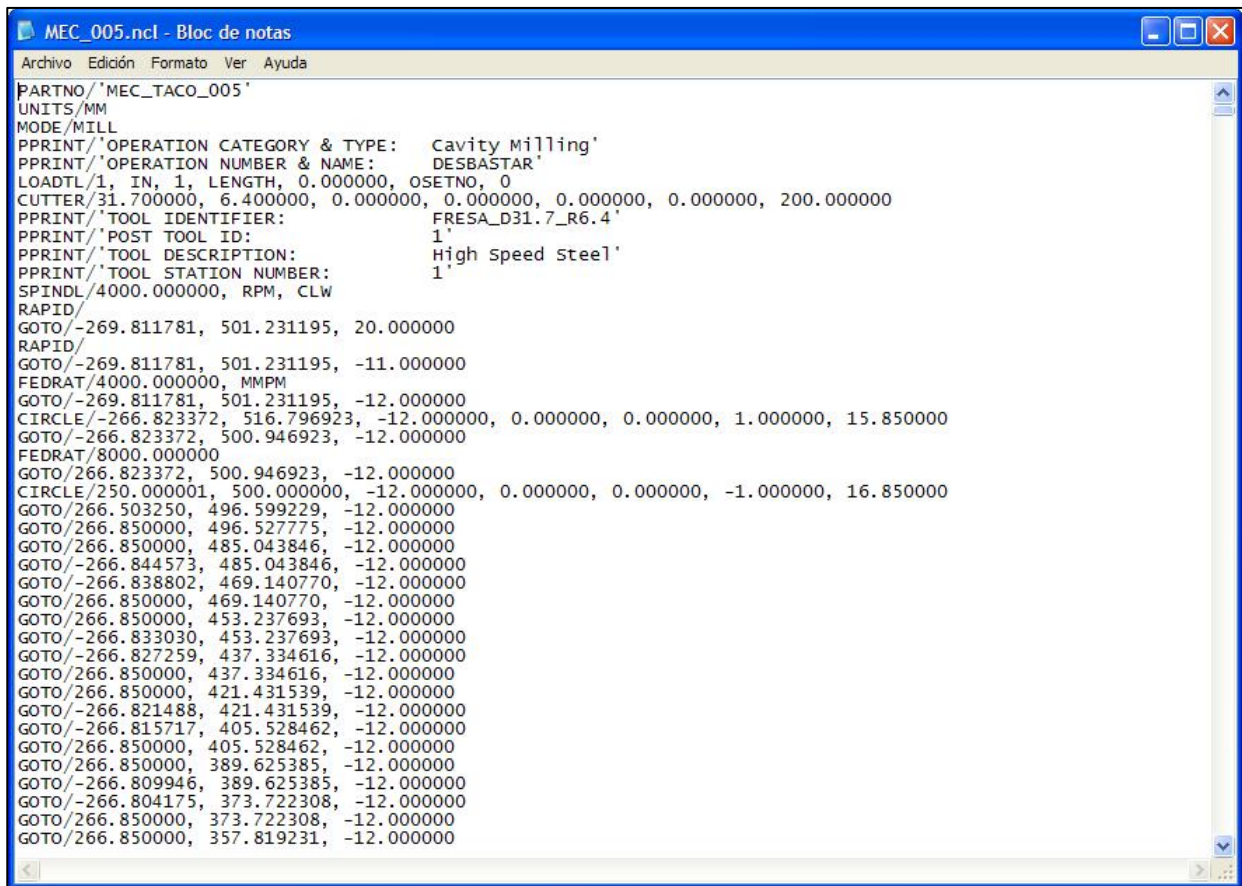
El postprocesado, como ya se ha explicado, es la transformación en lenguaje máquina de esas trayectorias generadas. Se procedería del siguiente modo para obtener ese fichero:

- Click botón derecho sobre el programa.
- Postprocesar
- Seleccionamos el postprocesador Kuka
- Aceptar



Obtenemos un fichero ncl. Con las trayectorias que hará nuestra herramienta.

A continuación se muestra un fichero ncl. Tal cual sale de la fase de postprocesado.

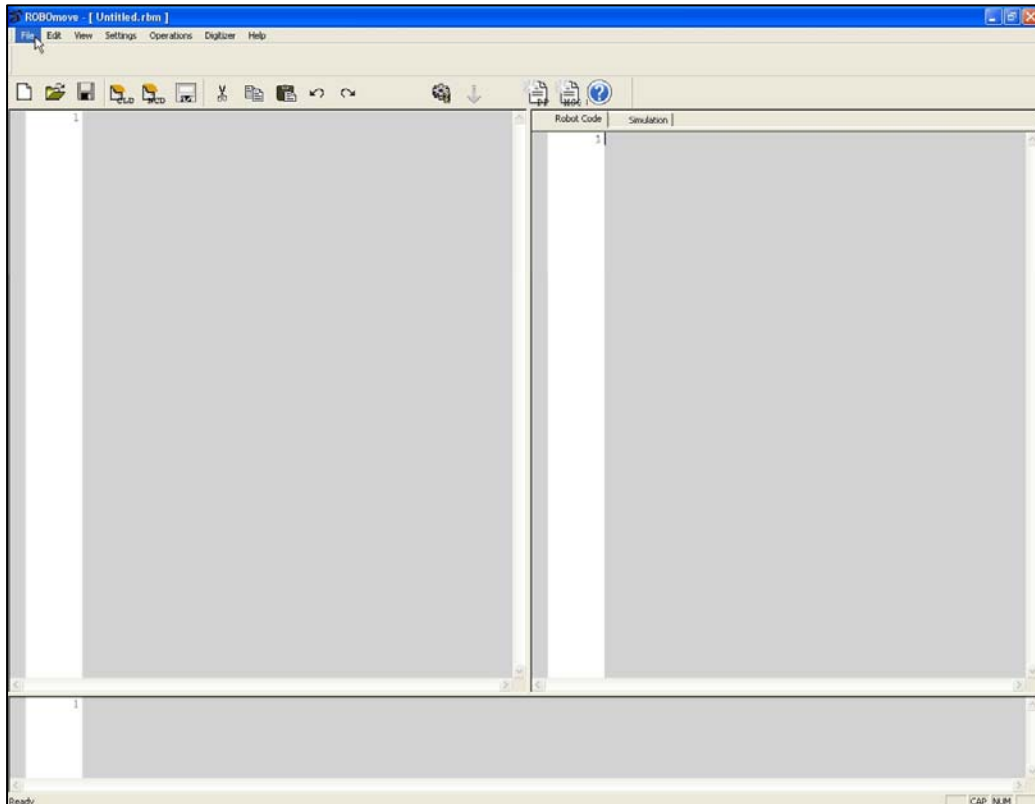


```
MEC_005.ncl - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
PARTNO/'MEC_TACO_005'
UNITS/MM
MODE/MILL
PPRINT/'OPERATION CATEGORY & TYPE:   Cavity Milling'
PPRINT/'OPERATION NUMBER & NAME:   DESBASTAR'
LOADTL/1, IN, 1, LENGTH, 0.000000, OSETNO, 0
CUTTER/31.700000, 6.400000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 200.000000
PPRINT/'TOOL IDENTIFIER:           FRESA_D31.7_R6.4'
PPRINT/'POST TOOL ID:              1'
PPRINT/'TOOL DESCRIPTION:           High speed steel'
PPRINT/'TOOL STATION NUMBER:       1'
SPINDL/4000.000000, RPM, CLW
RAPID/
GOTO/-269.811781, 501.231195, 20.000000
RAPID/
GOTO/-269.811781, 501.231195, -11.000000
FEDRAT/4000.000000, MMPM
GOTO/-269.811781, 501.231195, -12.000000
CIRCLE/-266.823372, 516.796923, -12.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000, 15.850000
GOTO/-266.823372, 500.946923, -12.000000
FEDRAT/8000.000000
GOTO/266.823372, 500.946923, -12.000000
CIRCLE/250.000001, 500.000000, -12.000000, 0.000000, 0.000000, -1.000000, 16.850000
GOTO/266.503250, 496.599229, -12.000000
GOTO/266.850000, 496.527775, -12.000000
GOTO/266.850000, 485.043846, -12.000000
GOTO/-266.844573, 485.043846, -12.000000
GOTO/-266.838802, 469.140770, -12.000000
GOTO/266.850000, 469.140770, -12.000000
GOTO/266.850000, 453.237693, -12.000000
GOTO/-266.833030, 453.237693, -12.000000
GOTO/-266.827259, 437.334616, -12.000000
GOTO/266.850000, 437.334616, -12.000000
GOTO/266.850000, 421.431539, -12.000000
GOTO/-266.821488, 421.431539, -12.000000
GOTO/-266.815717, 405.528462, -12.000000
GOTO/266.850000, 405.528462, -12.000000
GOTO/266.850000, 389.625385, -12.000000
GOTO/-266.809946, 389.625385, -12.000000
GOTO/-266.804175, 373.722308, -12.000000
GOTO/266.850000, 373.722308, -12.000000
GOTO/266.850000, 357.819231, -12.000000
```

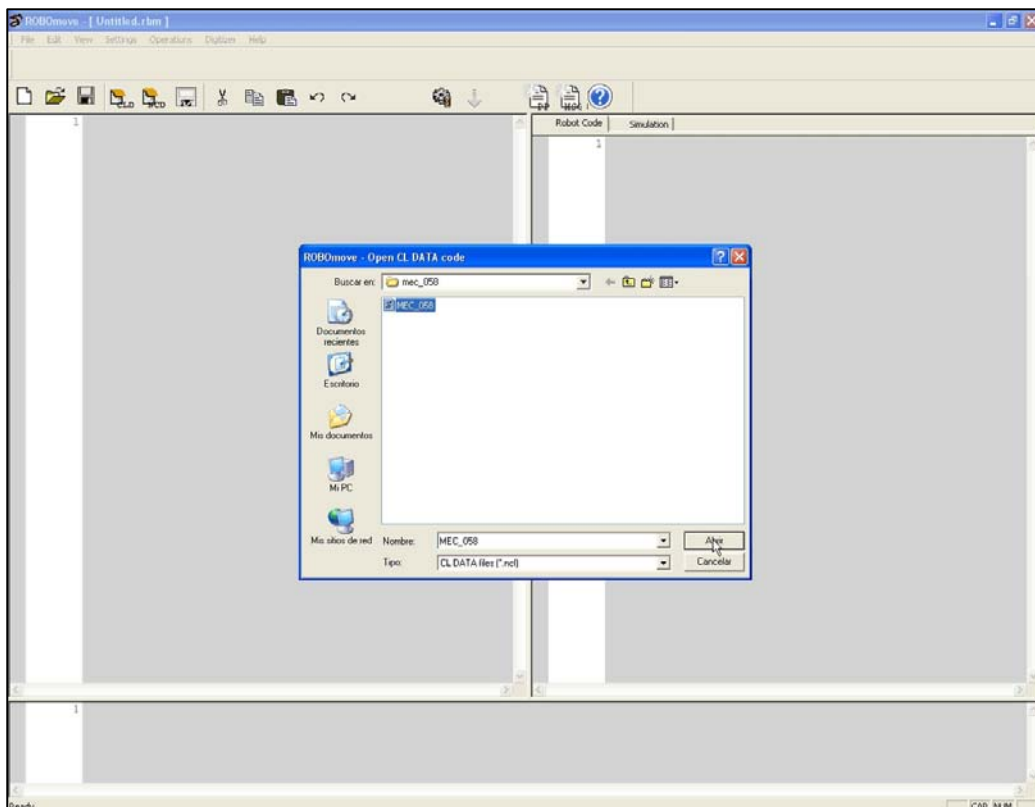
10. Robomove.

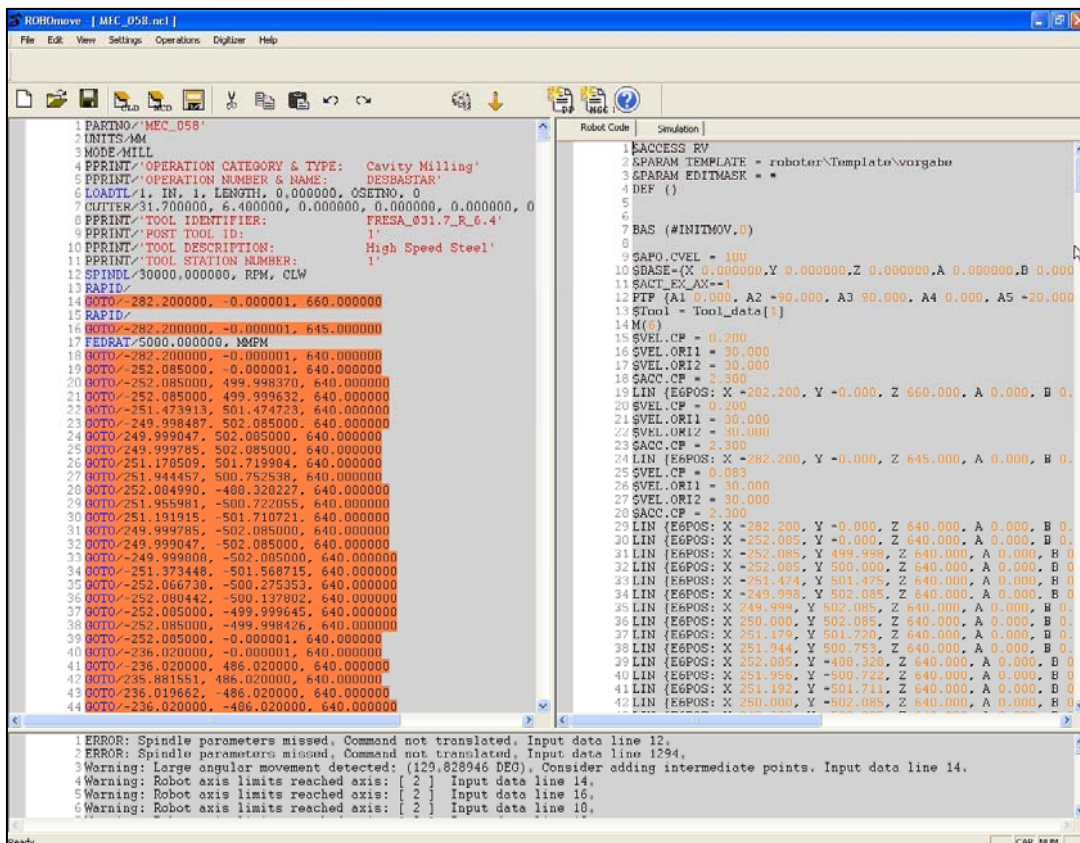
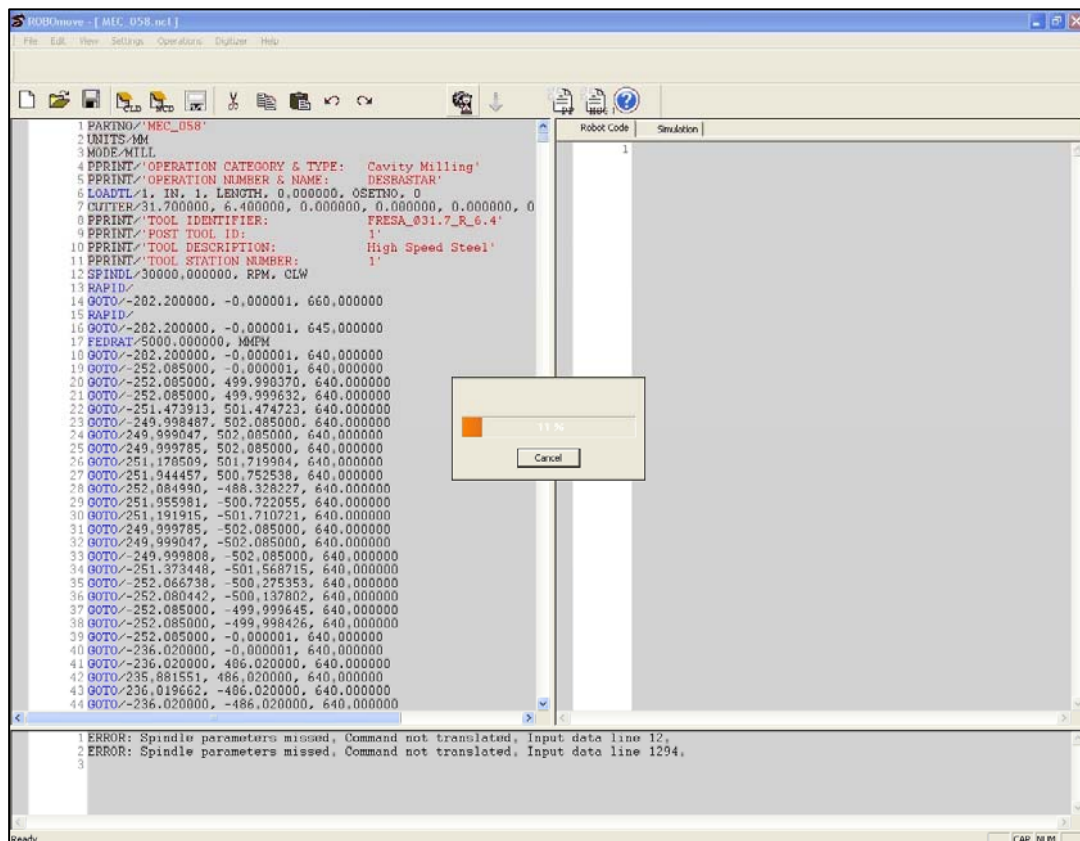
Robomove como ya se ha explicado, es un programa de simulación virtual y post procesado de cualquier tipo de recorrido de la herramienta a fin de crear el programa de trabajo para el robot. A continuación se describe el proceso que va desde la apertura de Robomove y del archivo postprocesado de NX a la generación del fichero que se cargará en la CPU del Robot.

- Inicio
- Programas
- Robomove



- Abrimos el archivo ncl. Generado con NX. File.
- Open CL Data Code
- Seleccionamos el archivo y clicamos abrir.

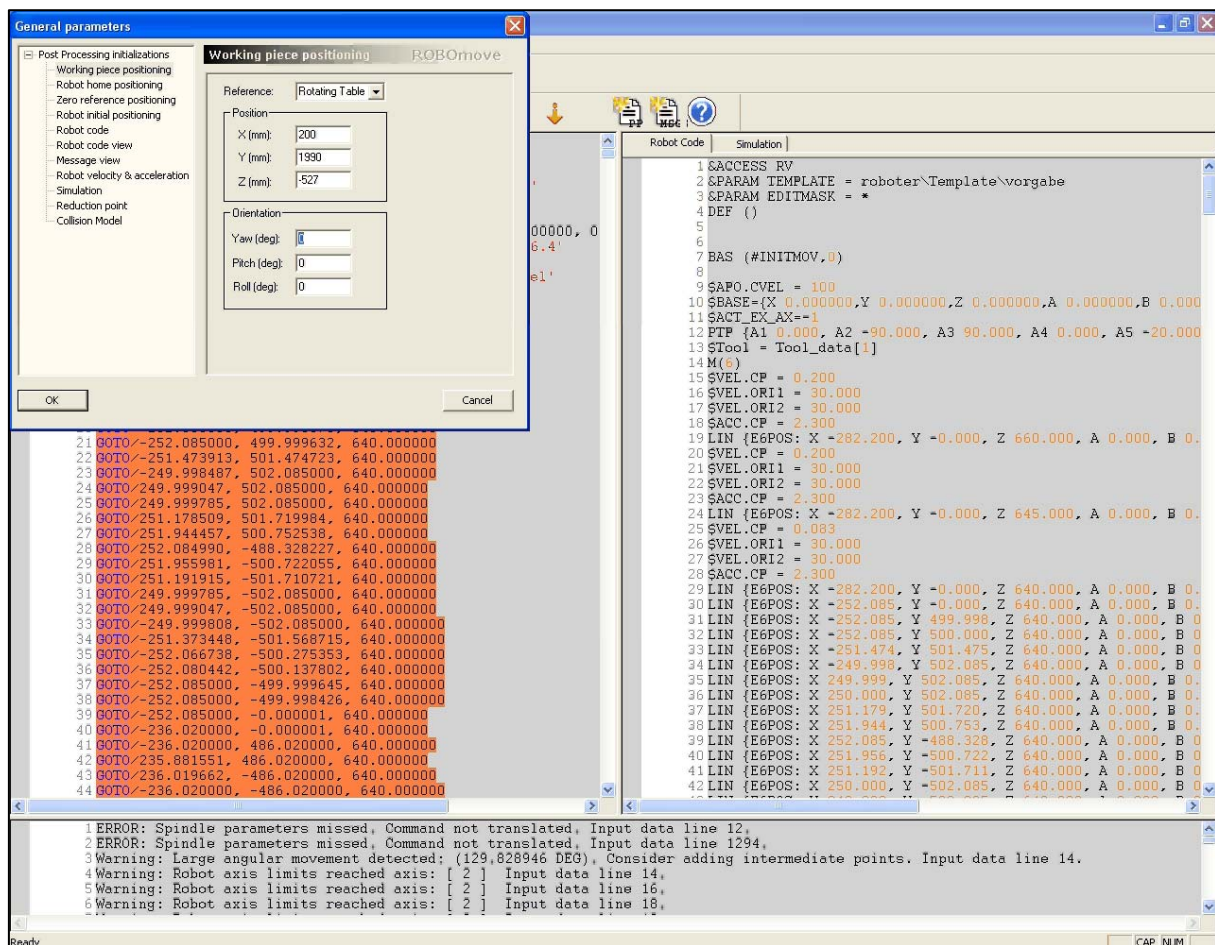




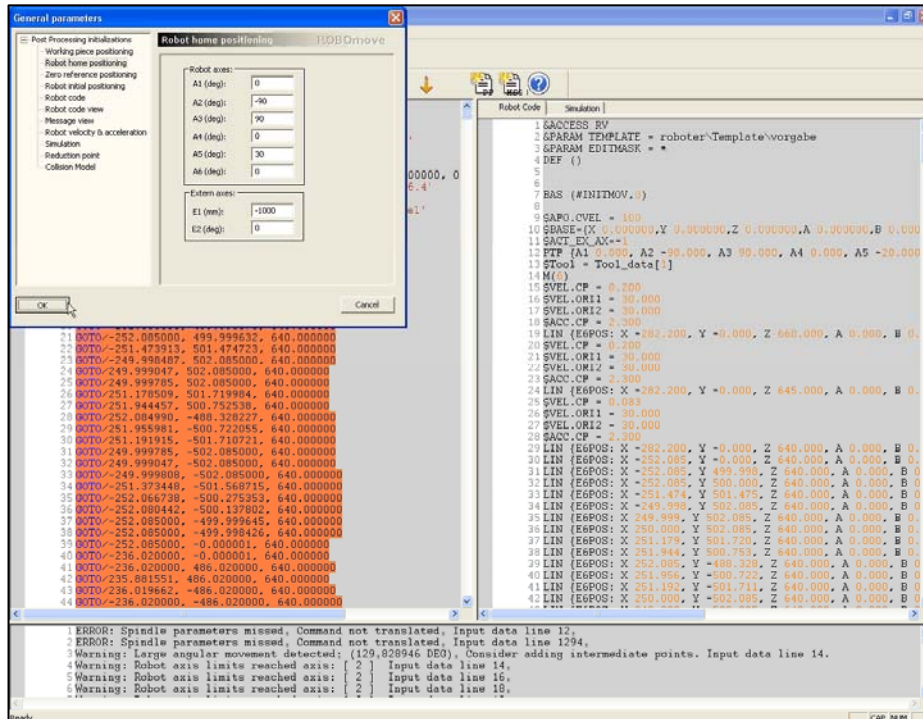
En la ventana derecha vemos el código Robot generado y en la ventana inferior vemos los errores detectados.

Se aprecia que hay unos cuantos y eso se debe a que no se han configurado los parámetros generales del Robot.

Para quitar los errores se debe entrar a la pestaña “Parámetros Generales” y hacer una serie de ajustes.

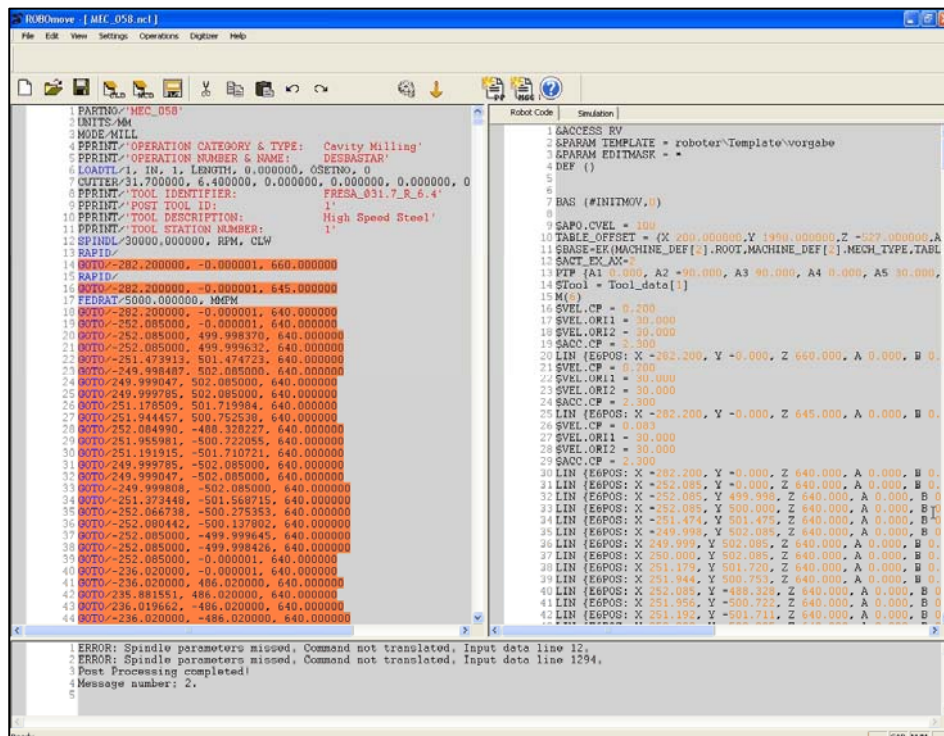


- Settings
- Working piece positioning. Imagen de arriba y se introducen los parámetros. Estos hacen referencia a la Mesa Rotatoria que es la que está configurada dentro de Robomove.
- Robot Home positioning. Imagen siguiente. Se introducen los parámetros para situar el Robot.

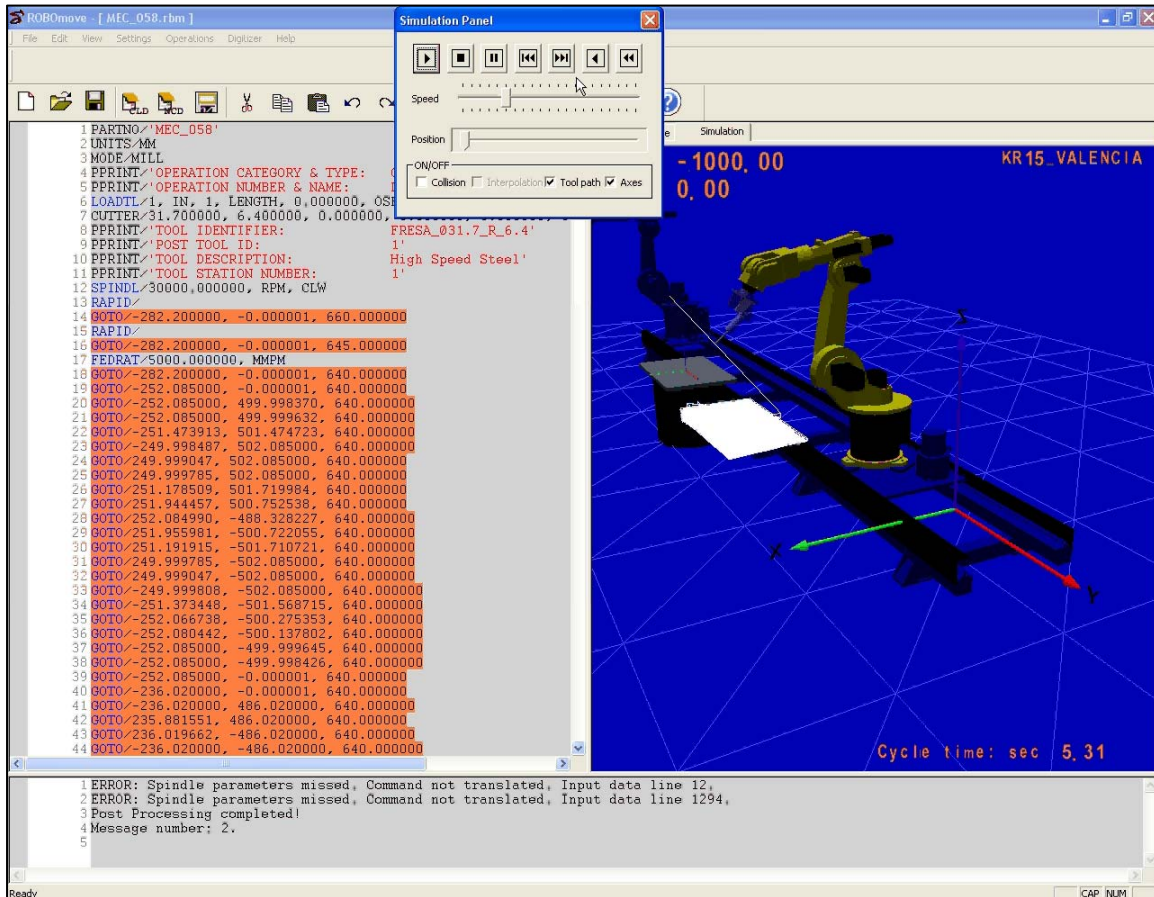


- OK
- Pulsamos postprocesar.

Si nos fijamos ahora en la ventana inferior observamos que ya no existen fallos y eso significa que no habrá ninguna incidencia cuando se ejecute el programa con el Robot.



Pulsar la pestaña “simulation” y reproducir el programa nos ofrecerá una simulación del programa. Puede ser muy útil para comprobar que todo se comporta conforme a lo previsto.



Para terminar generamos un fichero rbm y otro src. Este último será el que cargaremos en la CPU del Robot.

- File
- Save rbm. Proporcionamos nombre al archivo.
- Save src. Proporcionamos nombre al archivo.
- Aceptar.

Sin embargo antes de cargar el programa src. En el robot hay que ajustar algunas órdenes que dan problemas:

Estas son:

- DEF ()
- \$BASE=EK(MACHINE_DEF[2].ROOT,MACHINE_DEF[2].MECH_TYP
E,TABLE_OFFSET)
- \$Tool = Tool data[1]
- M(6)
- \$VEL.ORI1 = 30.000
- \$VEL.ORI2 = 30.000
- \$ACC.CP = 2.300

Hay que cambiar por:

- DEF MEC_005(). O sea, Después de DEF nombre del programa.
- \$BASE=EK(MACHINE_DEF[3].ROOT,MACHINE_DEF[3].MECH_TYP
E,TABLE_OFFSET)
- \$Tool = Tool_data[6]
- Eliminar:
 - M(6)
 - \$VEL.ORI1 = 30.000
 - \$VEL.ORI2 = 30.000
 - \$ACC.CP = 2.300

Imagen de programa antes de filtrar:

```

MEC_058.src - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
&ACCESS RV
&PARAM TEMPLATE = roboter\Template\vorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF ()

BAS (#INITMOV,0)

$APO.CVEL = 100
TABLE_OFFSET = {X 200.000000,Y 1990.000000,Z -527.000000,A 0.000000,B 0.000000,C 0.000000}
$BASE=EK(MACHINE_DEF[2].ROOT,MACHINE_DEF[2].MECH_TYPE, TABLE_OFFSET)
$ACT_EX_AX=2
PTP {A1 0.000, A2 -90.000, A3 90.000, A4 0.000, A5 30.000, A6 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000, E3 0, E4 0, E5 0, E6 0}
$Tool = Tool_data[1]
M(6)
$VEL.CP = 0.200
$VEL.ORI1 = 30.000
$VEL.ORI2 = 30.000
$ACC.CP = 2.300
LIN {E6POS: X -282.200, Y -0.000, Z 660.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
$VEL.CP = 0.200
$VEL.ORI1 = 30.000
$VEL.ORI2 = 30.000
$ACC.CP = 2.300
LIN {E6POS: X -282.200, Y -0.000, Z 645.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
$VEL.CP = 0.083
$VEL.ORI1 = 30.000
$VEL.ORI2 = 30.000
$ACC.CP = 2.300
LIN {E6POS: X -282.200, Y -0.000, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -252.085, Y -0.000, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -252.085, Y 499.998, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -252.085, Y 500.000, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -251.474, Y 501.475, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -249.998, Y 502.085, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
    
```

Imagen del programa después de filtrar:

```

MEC_058_02.src - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
&ACCESS RV
&PARAM TEMPLATE = roboter\Template\vorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF MEC_058()

BAS (#INITMOV,0)

$APO.CVEL = 100
TABLE_OFFSET = {X 200.000000,Y 1990.000000,Z -527.000000,A 0.000000,B 0.000000,C 0.000000}
$BASE=EK(MACHINE_DEF[3].ROOT,MACHINE_DEF[3].MECH_TYPE, TABLE_OFFSET)
$ACT_EX_AX=2
PTP {A1 0.000, A2 -90.000, A3 90.000, A4 0.000, A5 30.000, A6 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000, E3 0, E4 0, E5 0, E6 0}
$Tool = Tool_data[6]
$VEL.CP = 0.200

LIN {E6POS: X -251.553, Y -532.163, Z 660.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
$VEL.CP = 0.200

LIN {E6POS: X -251.553, Y -532.163, Z 645.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
$VEL.CP = 0.133

LIN {E6POS: X -251.553, Y -532.163, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -251.553, Y -516.276, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -251.553, Y 516.276, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -250.777, Y 516.332, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -249.998, Y 516.350, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -236.756, Y 516.350, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
LIN {E6POS: X -236.756, Y -516.350, Z 640.000, A 0.000, B 0.000, C 0.000, E1 -1000.000, E2 0.000} C_VEL
    
```

Ahora ya está todo preparado para lanzar el programa. Se trata de cargarlo por red a la CPU del Robot y ejecutar con la consola.

- **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES FINALES, AGRADECIMIENTOS Y TRABAJOS FUTUROS.**

Esta tesina desarrolla de forma extensa y exhaustiva todo el proceso que va del diseño a la fabricación de un producto mediante robots. Es por tanto un claro ejemplo de integración CAD-CAM-Robótica.

En esta tesina se han tratado múltiples aspectos de esta integración CAD-CAM-Robótica. Tales como:

- Manejo de ficheros de diseño CAD, así como las operaciones de tratamiento de los mismos de cara a su acondicionamiento, restauración, etc.
- En el ámbito del CAM se ha estudiado y trabajado con un post propio desarrollado para una célula robotizada compleja. Se trata de un post elaborado por el IDF para generar trayectorias con Robots KUKA KR/15.
- En el ámbito de la fabricación me he tenido que enfrentar al funcionamiento de un sistema robotizado complejo basado en robots industriales. Las posibilidades de mecanizado que ofrece un Robot son superiores a las que puede ofrecer una máquina de 5 ejes. Si bien es cierto que la complicación de generar un código adecuado para ejecutar órdenes es más complejo.
- Es importante el trabajo también en cuanto al análisis de que materiales emplear en la fabricación de grandes prototipos. Se estudió en detalle la idoneidad del Poliestireno para realizar este tipo de trabajos. Aspectos como la viruta, baja densidad, la calidad superficial y la facilidad para aplicar posteriores acabados, como pintura de latex, se tuvo muy en cuenta para la elección de este material.
- Dado que el proyecto ha tratado sobre la construcción de una orografía, se han tenido que estudiar aspectos hidráulicos, como de prototipado a escala reducida.

Para la realización de la tesina me he apoyado en enseñanzas propias de mi carrera como del master en Diseño y Fabricación CAD-CAM-CIM. Master impartido por la Universidad Politécnica de Valencia y del cual es director el catedrático Josep Tornero. De hecho, gran parte del profesorado que imparte el

Master forma parte del Instituto en Investigación de Diseño y Fabricación (IDF) proporcionándonos unos conocimientos muy valiosos y que están enfocados desde una perspectiva formativo-académica y empresaria-laboral. En concreto los conocimientos relacionados con las asignaturas CAD, CAE, Fabricación, Procesos de Fabricación y Prototipado Rápido (RP) han sido muy útiles para la realización de este trabajo.

No quiero dejar pasar la ocasión de agradecer a Juan Antonio García Manrique, a Josep Tornero y Vicente Franch los sabios consejos que me han proporcionado y la oportunidad que me han brindada para poder realizar un trabajo de este tipo. Un trabajo completamente nuevo para mí y que ha resultado ser muy estimulante.

Por último, decir que este es un procedimiento que se ha visto muy interesante para posteriores construcciones de orografías a escala. De hecho estamos planteando, además de desarrollar otras orografías de otras cuencas hidrográficas, la posibilidad de desarrollar orografías de fondos marinos y lagos dentro de alguno de los proyectos que el IDF tiene en marcha. En concreto el Proyecto Divisamos. Proyecto que tiene por objeto el diseño de Vehículos de Inspección Submarina. De esas inspecciones se desprenderán Orografías submarinas que probablemente sean susceptibles de ser representadas siguiendo un proceso como el descrito en esta tesina.

- **CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA.**

- Los modelos como Herramienta valiosa para el diseño hidráulico. Dr. Ing. Arturo Rocha Felices. 2003. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sobre la modelación hidráulica en Obras de Saneamiento Básico. Dr. Marco Castro D. Departamento de Ciencias del Agua Escuela Politécnica Nacional
- La modelación Híbrida como técnica de Análisis y Diseño Óptimo de las Obras Hidráulicas de Defensa contra inundaciones en entornos urbanos. Juan. F Fernández Bono. Universidad Politécnica de Valencia.
- La Modelación Física en las Obras Hidráulicas. Cristóbal Mateos. Ingeniería del Agua Vol. 7, Nº 1 Marzo 2000.
- Manual Práctico NX6 CAD. Asier Iturregui Abad. Servicios Informáticos DAT, S.L.
- Manual Práctico NX CAM. Ricardo Pizá. Servicios Informáticos DAT, S.L.