

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

“Diseño de un intérprete para un CNC de
una máquina de oxicorte ”

Curso 2013/2014

Alumno/a:

Mario López Navarro

Director/es:

Alejandro López Martínez



Índice:

1. Memoria descriptiva.....	4
1.1. Interés y objetivos.....	4
1.2. Introducción.....	5
1.2.1. Evolución histórica de la industria y las máquinas-herramienta hasta nuestros días.....	5
1.2.2. Clasificación de la manufactura automatizada y objetivos de la automatización.....	10
1.2.3. Clasificación de los tipos de mecanizado.....	12
1.2.4. Control numérico: tipos, principios, ventajas e inconvenientes.....	13
1.2.5. Proceso del oxicorte y descripción de la máquina.....	16
1.2.6. Aplicaciones prácticas.....	29
1.2.7. Descripción del software.....	30
1.2.8. Conclusiones y propuestas de mejora.....	40
1.2.9. Bibliografía.....	42
2. Especificaciones técnicas y generales.....	43
2.1. Guía del usuario.....	43
2.1.1. Propósito.....	43
2.1.2. Requisitos.....	43
2.1.3. <i>CNC Creator</i> paso a paso.....	44
2.1.4. Dudas frecuentes y mensajes de error.....	52
2.1.4.1. Mensaje de advertencia relativo a la ranura de corte.....	52
2.1.4.2. Mensaje de error relativo al número de vértices.....	53
2.1.4.3. Mensaje de error relativo al número de polígonos.....	54
2.1.4.4. Mensaje de error relativo a la apertura del archivo.....	54
2.1.5. Estructura de los archivos de entrada y salida.....	55
2.1.5.1. Estructura de un archivo con formato .tex.....	55
2.1.5.2. Estructura de un archivo con formato .mpg.....	57
2.1.6. Ejemplos, comparaciones y problemas resueltos.....	58
3. Planos: arquitectura del programa.....	111
3.1. Análisis.....	111

3.2. Diseño.....	112
3.2.1. Diseño preliminar.....	112
3.2.1.1. Nuevas tipologías.....	112
3.2.1.2. Arquitectura del programa.....	114
3.2.1.3. Interfaces entre los módulos.....	117
3.2.2. Diseño detallado.....	118
3.2.3. Codificación.....	119
4. Mediciones: bloques del programa.....	120
5. Presupuesto.....	125

1. Memoria descriptiva:

1.1. Interés y objetivos:

El objetivo principal del trabajo consiste en desarrollar un programa de software empleando el lenguaje de programación C capaz de leer una geometría generada mediante programas de diseño asistido por ordenador (CAD), analizarla y a través de una serie de operaciones generar el código numérico con las instrucciones de mecanizado de la geometría diseñada para obtenerla mediante la máquina de oxicorte en una chapa metálica.

Los objetivos específicos consistirán en extraer la información necesaria (coordenadas) de un archivo de texto, análisis y comprensión de la geometría por parte del programa, manipulación de dicha información para su clasificación en piezas y desperdicios para establecer un orden lógico de mecanizado y que se lleve a cabo de forma correcta dicho corte y, por último, en base a lo expuesto anteriormente, la generación del código numérico en un archivo .mpg con las instrucciones de movimientos y corte de la máquina de forma razonable en función del análisis de la geometría realizado anteriormente.

El interés de dicho trabajo se justifica por la necesidad docente por parte del profesorado de la Universidad de Almería que en sus asignaturas imparte la realización de prácticas con la máquina de oxicorte y que tienen como fin obtener chapas metálicas con geometrías específicas. Este trabajo se realiza con el fin de crear un software gratuito que permita tanto a alumnos como profesores la realización de las prácticas de las asignaturas. En la actualidad dichas prácticas se llevan a cabo mediante un programa de uso restringido bajo licencia privada. Así por tanto, queda solucionada dicha problemática de una forma más sencilla. Además, todo aquel profesional del campo de la ingeniería que requiera de dicho software libre también podrá hacer uso de él.

Otro punto de interés con el que se justifica es la realización de un Trabajo Fin de Grado en el que ponga de manifiesto los conocimientos adquiridos a través de distintas asignaturas del plan de estudios de Grado en Ingeniería Mecánica tales como Fabricación Industrial, Tecnología de la Fabricación o Programación para la obtención del título y ejerciendo algunas de las competencias propias de un Ingeniero Mecánico en el mundo laboral.

1.2. Introducción:

1.2.1. Evolución histórica de la industria y las máquinas-herramienta hasta nuestros días:

Lo primero que debemos realizar para un mejor entendimiento de este trabajo es definir la manufactura. ^[1] La manufactura, en un sentido completo, es el proceso de convertir materias primas en productos. También comprende las actividades en que el propio producto fabricado se utiliza para elaborar otros productos. Algunos ejemplos podrían ser las grandes prensas que forman las hojas metálicas usadas en accesorios y carrocerías de automóviles, la maquinaria para fabricar ropa interior, como tornillos y tuercas, y las máquinas de coser ropa. Cuanto mayor sea la actividad manufacturera de un país, mayor será el estándar de vida de su gente.

Hasta antes de la Revolución Industrial, que comenzó en Inglaterra durante la década de 1750, los bienes se producían en lotes y se requería mucha confianza en la mano de obra en todas las fases de producción. A dicha revolución también se le denomina Primera Revolución Industrial, ya que la segunda comenzó a mediados del siglo XX con el desarrollo de dispositivos electrónicos de estado sólido y las computadoras. La mecanización moderna comenzó en Inglaterra y el resto de Europa con el desarrollo de la maquinaria textil y las máquinas herramienta para cortar metales. Esta tecnología se trasladó rápidamente a Estados Unidos, en donde se desarrolló más y se introdujo el importante avance del diseño, la fabricación y el uso de partes intercambiables, creadas por Eli Whitney a principios de 1800. Antes de esa aportación era necesario en gran medida el ajuste a mano, porque no se podían fabricar dos partes exactamente iguales. Ahora se da por entendido que podemos reemplazar un tornillo roto de cierto tamaño con uno idéntico comprado años después en una ferretería local. Pronto siguieron nuevos desarrollos, cuyos resultados son incontables productos de uso común y sin los cuales hoy no podríamos imaginar nuestra vida.

^[2] A continuación nos vamos a centrar, para explicar en mayor profundidad, la Primera Revolución Industrial. El invento revolucionario por excelencia es la máquina de vapor del escocés James Watt. Desde 1780 la máquina de vapor se introduce en las fábricas de hilados de algodón y posteriormente en la fundición del hierro, estimulada igualmente por la sustitución del carbón vegetal por el coque hacia 1820. A lo largo del siglo se van sucediendo los inventos

que posibilitaron la transición definitiva desde la época artesanal o doméstica hasta la concentración industrial que representan las fábricas.

A la rápida difusión de los conocimientos contribuyeron factores como el transporte, representado por la máquina de vapor y por extensión del ferrocarril, y los medios de comunicación proporcionados por mejoras en el telégrafo. En 1837 los ingleses Wheastone y Cooke y el estadounidense Morse patentaron, casi simultáneamente un sistema telegráfico eléctrico. El de Morse transmitía señales consistentes en impulsos largos y cortos, de manera que las letras más utilizadas fueran las más fáciles de transmitir.

Al producirse la Revolución Industrial, el pequeño taller artesanal va evolucionando progresivamente hacia centros de producción en cadena, o fábricas, con gran número de operarios y planteamientos productivos radicalmente diferentes. Surgen otros problemas y enfoques que obligan a adoptar nuevas soluciones. Entre ellas hay que destacar los requerimientos de intercambiabilidad de las piezas y el montaje, en la fabricación de elementos complejos y máquinas. Un ejemplo de esto lo supuso el mecanizado interior del cilindro de la máquina de vapor de James Watt por la casa Boulton & Watt, mediante el empleo de la mandrinadora desarrollada por John Wilkinson en 1775.

En una primera etapa, lo que más interesaba a la industria era el desarrollo y perfeccionamiento de métodos de producción en masa de objetos estándar, que en el caso de constituir piezas de maquinaria, pudieran ser fácilmente intercambiables. Se desarrolla así una ingeniería de precisión que encontrará en el acero un poderoso aliado, mucho más apropiado que el hierro forjado o fundido. Desde 1856 el proceso Bessemer, fundado sobre el principio de la oxidación, y poco después el horno abierto de Siemens, permitieron la obtención del acero a precios bajos.

A principios del siglo XIX Jacquard desarrolló un método que consistió en fijar una cadena de tarjetas perforadas en un bloque giratorio encima del telar. Los hilos solo podían levantarse en los puntos donde había agujeros, y para ello era necesario utilizar pequeños ganchos. Así el tejido iba formando el dibujo. Después de utilizar cada tarjeta para formar una pequeña parte del dibujo, se le hacía dar un cuarto de vuelta al bloque para poder acomodar la siguiente tarjeta. El telar ideado por Jacquard se puede considerar como uno de los primeros precursores de lo que sería más adelante el control numérico, ya que permitía la obtención de

tejidos con distintas tramas sin más que cambiar un programa que era suministrado a la máquina por medio de tarjetas perforadoras.



Ilustración 1: Telar de Jacquard

Muchos historiadores coinciden en señalar el período de tiempo comprendido entre 1870 y 1914 con el término de Segunda Revolución Industrial indicando con ello un momento en el que el progreso tecnológico continuo pasó a ser un elemento estructural en la economía mundial. Se produce un proceso continuo de innovaciones que se fueron extendiendo de un país a otro cada vez con más facilidad.

Uno de los aspectos en los que tuvo mayores connotaciones de revolución fue en la utilización de nuevas fuentes de energía (petróleo y electricidad) cuyas primeras aplicaciones a la producción de energía mecánica o calorífica datan de 1876 y 1881 respectivamente. Con la pila Volta, los generadores de corriente continua y los de corriente alterna y otras innovaciones que en diversos campos hicieron posible la extracción, producción y distribución de estas energías se dio una respuesta a las necesidades generadas por el crecimiento económico en marcha, desde la iluminación hasta la construcción de aparatos de precisión.

La introducción de los nuevos materiales para las herramientas supuso un gran avance ya que en la práctica una operación de torneado que a principios del siglo XX llevaba 100

minutos, con las herramientas fabricadas con las nuevas aleaciones con alto contenido en carbono se podía realizar en 26 minutos. La utilización de herramientas de aleación fundida permitió rebajar el tiempo de mecanizado a 15 minutos. En 1927 era posible reducir el tiempo de mecanizado a 6 minutos empleando herramientas de corte fabricadas con los nuevos carburos cementados.

En 1913 Henry Ford decidió probar en su fábrica de Detroit un nuevo sistema denominado línea de fabricación de coches en cadena. Para ello se monta el chasis del coche sobre una cadena de eslabones que se mueven a lo largo de la nave industrial. Los operarios permanecen en posiciones fijas de forma que cada uno monta los componentes que tiene asignados cuando el coche pasa por delante de su puesto. De este modo se ahorra mucho tiempo y se podía llegar a fabricar un coche cada minuto. Con la fabricación en cadena se consigue una disminución del tiempo de montaje en un 85% y el precio de venta se reduce a una tercera parte. En 1915 se terminaban en la fábrica de Detroit dos vehículos cada tres minutos.

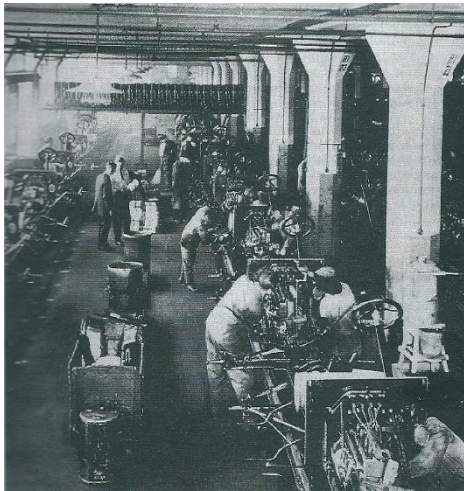


Ilustración 2: Cadena de montaje de automóviles.

El control por leva fue utilizado para la automatización hasta la llegada de los sistemas hidráulicos y electrónicos. También se desarrollaron los interruptores de fin de carrera que pudieron montarse tanto para controlar el movimiento mecánico como para conectar las máquinas-herramienta. La industria aeroespacial fue la que impulsó el progreso de las máquinas-herramienta.

La evolución de los ordenadores, tanto en su acepción de software como en hardware, posibilitaron la realización del programa diseñado en 1942 por Bendix Corporation para mecanizar una leva tridimensional para el regulador de la bomba de inyección de motores de aviación. El objetivo de esta leva era disminuir el consumo de combustible de los aviones y con ello aumentar su radio de alcance desde su base en el portaaviones. Dada la complejidad de la geometría no se podía realizar utilizando los métodos convencionales.

Para obtener esta leva tridimensional, se conecta una fresadora tridimensional de altas prestaciones a un potente calculador que envía a la máquina información codificada de la

trayectoria de la herramienta. Este hecho, es considerado como el precursor del control numérico de máquinas de fabricación, y es precursor de la robótica por cuanto ésta no es sino la confluencia natural del control numérico de máquinas con los manipuladores mecánicos concebidos hasta la fecha.

Otro hito importante se sitúa en 1947, cuando el estadounidense John C. Pearsons concibe el control automático con entrada de información de carácter numérico para una máquina-herramienta de tipo fresadora. El soporte de la información de entrada era a base de tarjetas perforadas y el control traducía dicha información en señales de mando a los accionamientos de dos ejes de la máquina.

Hacia 1950 se desarrollaron estudios para la aplicación del control numérico de procesos en los que únicamente era preciso controlar el posicionamiento de la herramienta con respecto a la pieza.

Hacia 1961 se publica el lenguaje APT, *adaptive program tooling*, de programación de control numérico. Por esta época comenzaron a utilizarse los primeros sistemas de ingeniería asistida por computador dirigidos fundamentalmente a la realización de cálculos.

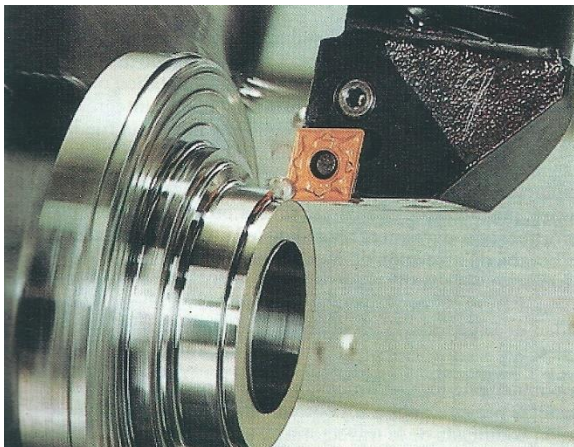


Ilustración 3: Plaquita intercambiable utilizada en torneado.

En la línea de automatización de procesos era necesario incluir el cambio automático de herramientas y esto se consiguió a finales de los años 50. También las herramientas eran cambiadas desde el husillo de las máquinas a un bastidor, con un código incluido en el programa de control numérico de la máquina.

En la década de los 70 se introdujeron de lleno en la fabricación el diseño asistido por ordenador, la fabricación asistida por ordenador y las máquinas de control numérico.

En los 80 la duración de los proyectos pasó a ser un factor decisivo, de hecho, la reducción de los tiempos totales de desarrollo ha pasado a ser un factor de competencia en muchas empresas. Se realizaron estudios para determinar la situación industrial de las máquinas herramientas comprobándose que un porcentaje alto de tiempos se perdía en operaciones no productivas como cambios de herramientas, puestas a punto para el mecanizado y reglaje de

máquinas. Esto significa que cualquier acción encaminada a reducir los tiempos improductivos en las máquinas reportaría enormes ganancias y los estudios se encaminaron hacia la creación de las herramientas modulares y la mejora de las geometrías de corte.

Los materiales utilizados en la industria aeroespacial condujeron a unas menores velocidades de corte hasta que se introdujeron por un lado los metales duros con recubrimiento y por otro los nuevos métodos de mecanizado como el láser o la electroerosión.

Las mejoras en el material de la herramienta significaron una reducción en los tiempos de mecanizado, para una determinada pieza como puede ser una barra de acero al carbono que era torneada desde 100 minutos hasta menos de 1 minuto.

En la actualidad, a la hora de abordar un proceso productivo, además de elegir el método de fabricación es necesario al mismo tiempo realizar un estudio detallado con objeto de determinar la secuencia de operaciones y métodos. Es necesario conocer cómo se realizará la producción, dónde se llevará a cabo, cuando se ejecutará y cuanto tiempo llevará hacerlo, entrando de lleno en lo que se conoce como Ingeniería de la Fabricación. Muchas industrias están extendiendo la ingeniería de la fabricación a aspectos como factores ergonómico-humanos, para su uso en diseño de lugares de trabajo, equipos y productos ya que hay numerosos ejemplos que demuestran que puede ser lograda una mayor productividad eliminando o minimizando el esfuerzo y las demandas innecesarias del puesto de trabajo. La implicación del trabajador en el proceso industrial, dotándole de responsabilidad y capacidad de crítica sobre su trabajo con el fin de mejorar el proceso global y su función específica dentro del mismo, ha contribuido al desarrollo alcanzado en algunos procesos de producción, como los implicados en la industria automovilística, que en cierto sentido se habían quedado un poco anquilosados.

1.2.2. Clasificación de la manufactura automatizada y objetivos de la automatización:

En la actualidad, ^[1] los sistemas de manufactura, en orden creciente de automatización, incluyen las siguientes clasificaciones:

- Trabajos de taller: en estas instalaciones se utilizan máquinas de propósito general y centros de maquinado con altos niveles de participación de mano de obra.
- Producción autónoma de NC: utiliza máquinas de control numérico pero con una interacción significativa operador/máquina. Este tipo de sistema de manufactura es el que se da en la nave en la que se encuentra la máquina de oxicorte en la que se centra el trabajo fin de grado.
- Celdas de manufactura: utilizan un conjunto diseñado de máquinas con control integrado por computadora y manejo flexible de materiales, a menudo con robots industriales.
- Sistemas flexibles de manufactura: utilizan control por computadora de todos los aspectos de la manufactura, incorporación simultánea de varias celdas de manufactura y sistemas automatizados de manejo de materiales.
- Líneas flexibles de manufactura: organizan la maquinaria controlada por computadora en líneas de producción en lugar de celdas.
- Líneas de flujo y líneas de transferencia: constan de agrupamientos organizados de maquinaria con manejo automatizado de materiales entre las máquinas.

La automatización tiene los siguientes objetivos principales:

- Integrar diversos aspectos de las operaciones de manufactura de manera que se mejoren la calidad y uniformidad de los productos, se minimicen los tiempos y esfuerzos de los ciclos y se reduzcan los costos de mano de obra.
- Mejorar la productividad reduciendo los costos de manufactura mediante un mejor control de la producción. Las partes se cargan, alimentan y descargan en las máquinas de modo más eficiente, las máquinas se utilizan de manera más efectiva y la producción se organiza en forma más eficaz.
- Mejorar la calidad utilizando procesos de mayor repetibilidad.
- Reducir la participación humana, el aburrimiento y de esta manera la posibilidad del error humano.
- Reducir el daño de las piezas de trabajo causado por el manejo manual de las partes.

- Elevar el nivel de seguridad del personal, sobre todo en condiciones de trabajo peligrosas.
- Economizar el espacio de suelo en la planta arreglando las máquinas, el manejo y el movimiento de materiales y equipo auxiliar de manera más eficiente.

1.2.3. Clasificación de los tipos de mecanizado:

^[2] El corte de metales puede realizarse de tres modos:

- Procesos mecánicos:
 - Corte.
 - Mecanizado ultrasónico.
 - Abrasivos (chorro de agua).
- Procesos térmicos:
 - Corte por haz de electrones.
 - Láser.
- Procesos químicos:
 - Erosión selectiva (ataque químico, grabado ácido).
 - Combustión-oxidación (oxicorte).
 - Electroquímico.
- Procesos eléctricos.

En el caso de nuestra máquina se produce la combustión-oxidación que se trata de un tipo de proceso en el que el corte se realiza utilizando sopletes de gas similares a los utilizados en los procesos de soldadura. En este caso la fuente de calor es de tipo químico. El calor se transfiere desde la llama hacia la pieza de trabajo por convección y radiación. Gran parte de los componentes utilizados en los equipos son comunes entre oxicorte y plasma, encontrándose en muchos casos la posibilidad de trabajar indistintamente.

1.2.4. Control numérico: tipos, principios, ventajas e inconvenientes.

^[1] El control numérico (CN) es un método que controla los movimientos de los componentes de una máquina, insertando instrucciones codificadas en forma de números y letras directamente en el sistema. Éste interpreta en forma automática esos datos y los convierte en señales de salida. A su vez, dichas señales controlan diversos componentes de las máquinas, como la activación de husillos, cambio de herramientas, movimiento de la pieza de trabajo o de las herramientas a lo largo de trayectorias específicas, y activación y desactivación de fluidos de corte.



Ilustración 4: Torno de CNC.

En las operaciones de control numérico, los datos que se relacionan con todos los aspectos de la operación de maquinado (como localizaciones de herramientas, velocidades, avances y fluidos) se almacenan en discos duros. Con base en la información de entrada, se pueden activar relevadores y otros dispositivos (controles cableados) para obtener la configuración deseada de la máquina. Se realizan con facilidad operaciones complejas (como el torneado de una parte que tiene diversos contornos o el estampado de dados o matrices en una fresadora). Las máquinas de CN se utilizan mucho en la producción de cantidades pequeñas y medianas (por lo general, 500 partes o menos) de una amplia variedad de partes, tanto en tiendas pequeñas como en grandes instalaciones de manufactura.

El siguiente paso en el desarrollo del control numérico se produjo cuando el equipo de control se convirtió en un control por computadora local mediante software. Se desarrollaron dos tipos de sistemas computerizados: control numérico directo (DNC) y control numérico por computadora (CNC). En el control numérico directo se controlan diversas máquinas directamente (paso a paso) mediante una computadora de unidad de procesamiento central. En este sistema, el operador tiene acceso a la computadora central de una terminal computerizada. Con el DNC, el estatus de todas las máquinas en una instalación de manufactura puede

monitorear y determinar desde una computadora central. Sin embargo tiene una desventaja crucial: si la computadora se apaga, todas las máquinas se vuelven inoperables.

Por otro lado, el control numérico por computadora (CNC) es un sistema en el que una microcomputadora de control es parte integral de una máquina. El operador de la máquina puede programar las computadoras integradas, modificar los programas en forma directa, prepararlos para diferentes partes y almacenarlos. En la actualidad, se utilizan ampliamente sistemas CNC debido a la disponibilidad de pequeñas computadoras con gran memoria, controladores programables y microprocesadores de bajo costo, y capacidades de edición de programas.

A continuación se describen los elementos funcionales del control numérico y los componentes implicados:

- Entrada de datos: la información numérica se lee y almacena en la memoria de la computadora.
- Procesamiento de datos: los programas son leídos en la unidad de control de la máquina para su procesamiento.
- Salida de datos: esta información se traduce en comandos (por lo general, comandos por pulsos) al servomotor. Después éste mueve la mesa de trabajo (en la que se monta la pieza de trabajo) a posiciones específicas por medio de movimientos lineales o giratorios usando motores paso a paso, tornillos de avance y otros dispositivos similares.

Una máquina CN se puede controlar mediante dos tipos de circuitos: de lazo abierto y de lazo cerrado. En el sistema de lazo abierto las señales se envían al servomotor mediante el controlador, pero en los movimientos y las posiciones finales de la mesa de trabajo no se verifica la precisión. El sistema de lazo cerrado está equipado con diversos transductores, sensores y contadores que miden de manera precisa la posición de la mesa de trabajo. Mediante el control de retroalimentación, la posición de dicha mesa se compara con la señal, y los movimientos de la tabla terminan cuando se alcanzan las coordenadas adecuadas.

La medición de la posición en las máquinas CN se realiza por medio de métodos indirectos o directos. En los sistemas de medición indirecta, los codificadores rotatorios o reductores convierten el movimiento rotatorio en traslación. Sin embargo existe una zona muerta (el juego entre dos dientes de acoplamiento adyacente) que puede afectar la precisión de la medición de manera significativa. En los sistemas de medición directa, un dispositivo de

detección lee una regla graduada en la mesa de la máquina o en la corredera para producir un movimiento lineal. Este sistema es el más preciso.

En el control numérico existen dos tipos básicos de sistemas de control: punto a punto y contorneado. En un sistema punto a punto cada uno de los ejes de la máquina se acciona por separado mediante tornillos de avance y a diferentes velocidades, dependiendo del tipo de operación. La máquina se mueve al principio a máxima velocidad para reducir el tiempo no productivo, pero se desacelera cuando la herramienta se aproxima a su posición definida numéricamente. La trayectoria continua, de una posición a otra es importante sólo en un aspecto: debe seleccionarse para minimizar el tiempo de recorrido a fin de tener un mejor rendimiento. El sistema punto a punto se utiliza principalmente en las operaciones de taladrado, punzonado y fresado. Por otro lado, en un sistema de contorneado, tanto el posicionamiento como las operaciones se realizan a lo largo de trayectorias controladas, pero a diferentes velocidades. Debido a que la herramienta actúa conforme avanza a lo largo de una trayectoria prescrita, es importante el control preciso y sincronización de velocidades y movimientos. Por lo general, el sistema de contorneado se utiliza en tornos, fresadoras, rectificadores, soldadoras y centros de maquinado.

Las principales ventajas que presenta el control numérico frente a los métodos convencionales de control de máquinas son:

- Se mejora la flexibilidad de la operación, así como la capacidad de producir formas complejas con buena precisión dimensional, buena repetibilidad, reducción en la pérdida por desperdicios, altas velocidades de producción, productividad y calidad de los productos.
- Se reducen los costos del herramental, debido a que no se requieren plantillas ni soportes fijos.
- Se facilita el ajuste de las máquinas.
- Se pueden realizar más operaciones con cada configuración y el tiempo requerido para el inicio y maquinado es menor en comparación con los métodos convencionales.
- Se pueden elaborar programas con rapidez y es posible reutilizarlos en cualquier momento mediante microprocesadores.
- Es posible reducir prototipos con rapidez.

- La experiencia requerida del operador es menor que la de un maquinista califica y aquél tiene más tiempo para atender otras tareas en el área de trabajo.

Las limitaciones principales del control numérico son el costo inicial relativamente alto del equipo, la necesidad y el costo del tiempo de programación y la computadora y el mantenimiento especial requerido. Debido a que estas máquinas son sistemas complejos, las descomposturas pueden ser costosas, así que el mantenimiento preventivo es fundamental.

1.3. Proceso del oxicorte y descripción de la máquina:



Ilustración 5: Equipo de oxicorte con control numérico.

^[3] El corte mediante oxicorte consiste en separar o dividir un metal mediante la combustión del mismo en presencia de oxígeno a alta concentración. El oxicorte es un proceso de corte químico (oxidación-combustión), similar (en funcionamiento) a los procesos de corte por láser o por plasma. Mientras que en el láser y el plasma la fuente de calor es de tipo eléctrico, en el oxicorte es de tipo químico.

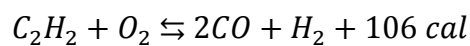
La herramienta (boquilla o soplete) se sitúa perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo (generalmente chapas u hojas metálicas). El chorro, llama de precalentamiento, se dirige hacia la pieza perpendicularmente, o a bisel, y calienta el material hasta su temperatura de ignición. En ese momento, se activa un chorro de oxígeno de alta pureza y se produce el corte de la pieza por la combustión del acero.

^[2] En el corte con llama, oxicorte o combustión-oxidación, es un tipo de proceso de corte en el que se emplean sopletes de gas similares a los utilizados en los procesos de soldadura. El calor se transfiere desde la llama hacia la pieza de trabajo por convección y radiación.

En algunos equipos industriales empleados en el corte con boquilla de plasma se pueden encontrar montadas además una o varias boquillas de oxicorte. El motivo es que gran parte de los componentes utilizados en los equipos son comunes, encontrándose en muchos casos la posibilidad de trabajar indistintamente con un tipo de soplete u otro.

Existen distintos gases e hidrocarburos susceptibles de ser utilizados en procesos de corte de este tipo aunque a escala industrial los más utilizados son las mezclas oxígeno-acetileno u oxígeno-hidrógeno. También es común el uso de la mezcla oxígeno-propano en las industrias españolas. La llama se produce al suministrar a la antorcha una cantidad aproximadamente igual en volumen de oxígeno y acetileno. Esta llama se distribuye en un círculo en torno a una salida central de gas oxígeno o aire a presión. La misión de éste aporte extra de oxígeno es doble. Por un lado oxida el metal y por otro, empuja al metal fundido hacia afuera, asegurando que no se endurezca en el mismo sitio uniéndose a la parte que aún falta por fundir.

La producción de calor en la llama se basa en la reacción que tiene lugar en su base que es la siguiente:



La molécula de acetileno se compone de dos átomos de carbono unidos por un triple enlace, y de dos átomos de hidrógeno dispuestos en forma simétrica. Esta estructura molecular explica la gran cantidad de energía liberada por la combustión, la alta temperatura alcanzada en la llama y su velocidad de ignición. Estos tres parámetros hacen que el proceso tenga un alto rendimiento. Al contrario de lo que sucede con otros hidrocarburos, en la descomposición de la molécula de acetileno se libera energía. Esta energía, que es el calor de formación o entalpía de formación, hace que se liberen o estén disponibles 874 kJ/kg durante el proceso. A esta cantidad hay que añadir aún la combustión parcial del oxígeno incorporado.

Por otro lado, con el acetileno se consigue la máxima velocidad de ignición. Esto está directamente relacionado con el grado de efectividad térmica que será mayor cuanto mayor sea la transferencia de los productos de combustión sobre la superficie de la pieza de trabajo. Esta condición es especialmente importante cuando se está trabajando con materiales metálicos de alta difusividad térmica como son el aluminio, el cobre o los aceros.

Con el fin de controlar perfectamente todos los factores que intervienen en el proceso de corte, como el volumen correcto de mezcla de gases o la distancia entre boquilla y pieza de trabajo, se han desarrollado distintos equipos industriales que pueden estar controlados por un ordenador.

El trabajo de corte con llama no implica unos equipos muy sofisticados. El componente fundamental en éste caso es la boquilla que puede estar formada por dos salidas concéntricas de gas. Por la zona central sale el oxígeno de corte y envolviendo a ésta se produce la salida de

la mezcla compuesta por acetileno y oxígeno precalentado u oxígeno extra. Se han desarrollado distintos tipos de boquillas en función de las características específicas de los procesos a realizar obteniéndose una mejora apreciable en los resultados:

- Portasopletes con soplete de corte verticales, para cortar piezas de cualquier geometría con flancos de corte perpendiculares respecto a las superficies de las mismas. Muchas veces están equipados con un sistema de guías que permiten su desplazamiento en altura y un sensor electrónico que permite mantener constante la distancia entre la pieza a cortar y la boquilla.
- Sopletes equipados con tres sopletes para corte en bisel en distintas geometrías como V, X, Y y K. Al igual que los anteriores disponen de reguladores de altura y reguladores de ajuste de los ángulos de corte que pueden variar entre 0 y 45°.

Como ya se ha indicado, la misión de la llama es calentar la zona que se desea cortar hasta la temperatura de ignición. En este sentido es de suma importancia controlar la temperatura de la llama ya que cuanto mayor sea la temperatura más rápida será la transmisión de calor entre la llama y la pieza. Existen distintas posibilidades de conseguir altas temperaturas a través del aporte calórico de una llama, pero la compuesta por la relación 1:1,5 acetileno/oxígeno es la que consigue temperaturas más elevadas, que rondan los 3150 °C.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que todo el calor liberado durante el proceso de combustión no se puede utilizar en el calentamiento de la pieza y que solo es aprovechable el calor producido en la zona más próxima a la boquilla o zona primaria. El resto de calor se disipa.

La máxima temperatura se alcanza en la primera zona de la llama, a la que se denomina llama primaria o zona reductora. En esta zona es en la que tiene lugar la reacción descrita anteriormente. Envolviendo esta zona y prolongándose más allá se encuentra la denominada llama de dispersión.

El calor liberado por combustión total o poder calorífico, es la suma del calor liberado en la zona primaria, el calor útil en la técnica, más el calor liberado en la llama de dispersión. Este último no es utilizable en esta técnica y disminuye a medida que nos alejamos de la llama primaria, de ahí que uno de los parámetros a controlar durante los procesos de corte sea precisamente la distancia entre la pieza de trabajo y la boquilla.

La velocidad de salida y la rapidez de ignición están en relación directa. Cuanto más alta sea la velocidad de ignición más alta podrá ser la velocidad de salida. A su vez, cuanto

más alta sea la velocidad de salida más alto será el consumo de gas por unidad de tiempo sobre la zona de trabajo y por lo tanto más calor se liberará de forma concentrada sobre la pieza.

En cuanto a las condiciones de trabajo hay que señalar que dada la baja densidad del acetileno ($1,905 \text{ kg/m}^3$ en condiciones normales) un 10% más ligero que el aire, en caso de producirse una fuga de gas pasaría a estar en una capa superior a la del aire, y disolverse, sin riesgo de formación de mezclas explosivas a ras de suelo.

^[3] En el corte mediante oxicorte se pueden diferenciar dos etapas:

- Precalentamiento: el material a cortar se calienta a elevada temperatura (870°C aproximadamente) con la llama producida por el oxígeno y un gas combustible.
- Corte: mediante oxígeno a presión (y muy alta pureza) se oxida el metal y se expulsan los óxidos resultantes.

El proceso de oxicorte no consiste en la fusión del metal, sino que el corte se produce por combustión. Al cortar, se está quemando el metal a medida que se avanza con el soplete. Algunos aspectos a tener en cuenta son:

- Es requisito que la temperatura de ignición esté por debajo de la temperatura de fusión.
- Capas de óxido en el metal pueden tener la temperatura de fusión menor a la del metal a cortar dificultando el proceso del corte.
- La conductividad térmica del metal no debe ser demasiado elevada.
- La presencia de aleantes se hace crítica, ya que merman la capacidad del acero a ser quemado.
- Cuanto mayor sea el contenido de carbono en el acero, mayor será la temperatura de precalentamiento necesaria (se dificulta el corte).
- El corte se produce por el flujo del chorro de O_2 a alta presión, que quema el metal y retira la escoria líquida formada.
- Las condiciones de oxicorte solo las cumplen el hierro, el acero al carbono y el acero de baja aleación.

En una reacción de combustión son necesarios tres elementos: el combustible (a su temperatura de ignición), el comburente (en una mínima proporción) y un agente iniciador.

En oxicorte tenemos que el combustible es el hierro (Fe), el comburente es el oxígeno (O_2) y el agente iniciador es la llama del soplete (precalentamiento).

En condiciones normales, aunque apliquemos un agente iniciador a una pieza de acero, ésta no arde espontáneamente; el Fe contenido no está a su temperatura de ignición

(aproximadamente 870°C) y el oxígeno atmosférico no es lo suficientemente puro (se necesita un 99.5% de O₂ para quemar el Fe).

Así, el soplete tiene tres funciones: precalentar el Fe contenido en el acero a su temperatura de ignición, aportar una atmósfera envolvente con una proporción adecuada de O₂ y generar el agente iniciador.

La llama de precalentamiento (con el ajuste adecuado de la presión y caudal de los gases) tiene como finalidad elevar la temperatura de la pieza (en un punto localizado) hasta alcanzar su temperatura de ignición.

El metal se torna en un color naranja brillante y pueden verse algunas chispas saltar de la superficie (lo que es indicativo de que se ha alcanzado la temperatura de ignición). Posteriormente, se activa el aporte extra de oxígeno a presión por la boquilla central (Oxígeno de Corte), consiguiendo dos efectos: la oxidación del metal y la retirada de los productos o restos de la oxidación fuera de la pieza.

Una vez iniciado el corte, la reacción de oxidación del Fe es altamente exotérmica, y esa enorme cantidad de energía desprendida en la reacción ayuda a llevar las zonas colindantes a la temperatura de ignición, y poder así progresar en la acción del corte a una velocidad de avance determinada.

La llama de corte deja líneas de arrastre en la superficie cortada, dando lugar a una superficie más rugosa que la obtenida con otros procedimientos de corte (aserrado, troquelado, corte mecánico).

Existe la posibilidad de realizar el corte bajo agua con sopletes (boquillas) especiales que producen una envoltura de aire comprimido entre la llama y el agua circundante.

Por otro lado, los factores que se deben controlar durante el proceso de corte son:

- Presión de los gases: oxígeno de precalentamiento, oxígeno de corte y acetileno (o el combustible que se utilice).
- Volumen de mezcla de gases: la válvula del oxígeno de corte se abre completamente; la apertura de las válvulas del oxígeno de precalentamiento y del acetileno se deben regular para cada tipo de boquilla y según el espesor de del material a cortar.
- Distancia entre boquilla y pieza (parámetro que se regula al instalar la máquina y rara vez se modifica).
- Tiempo de precalentamiento – activación oxígeno de corte: es el tiempo que necesita la llama de precalentamiento para que el material a cortar alcance la temperatura de ignición (depende del tipo de boquilla, del tipo de material y del espesor del material).

- Tipo de boquilla de corte (depende del espesor del material a cortar).
- Velocidad de corte (velocidad lineal del soplete durante el corte): depende del tipo de boquilla, material a cortar y de la regulación de los gases.
- Ancho de corte o sangría (kerf): antes de realizar el corte de cualquier pieza se debe conocer la ranura que el soplete provoca en el material al cortarlo. Esta ranura se debe tener en cuenta (sobre todo cuando trabajamos en modo automático) para que las dimensiones de la pieza final sean las deseadas. En el panel de control de la máquina se introduce el valor de la sangría de corte. Cuando la máquina funciona en modo automático, desplaza el soplete la mitad del valor introducido como sangría de corte hacia el exterior o el interior de la línea de corte, depende del lado que corresponda con la pieza a cortar. Los anchos de corte o sangría van de 1.5 a 10 mm aproximadamente.

Los equipos suelen estar equipados con un ordenador para controlar todo el proceso. En general, los equipos con forma de pórtico permiten trabajar piezas de dimensiones entre 1.5 y 3 metros de longitud (pudiendo ser muy superiores). Se pueden montar hasta 6 sopletes a la vez, con velocidades de corte de hasta 6000 mm/min. Los espesores de corte varían entre 3 y 300 mm (para corte oxiacetileno). No son equipos muy sofisticados. La velocidad de corte es un parámetro importante, ya que de él depende la calidad del corte (además del ajuste de las presiones y caudal de los gases) y el tiempo del proceso.

Los componentes de la máquina de oxicorte son:

- Las boquillas: son el componente fundamental del proceso de oxicorte. Se deben seleccionar según los espesores a cortar y para cada tipo de boquilla se deberá seleccionar una velocidad de corte y una presión de los gases (O_2 de corte, oxígeno de precalentamiento y combustible, acetileno), el tamaño de la sangría, kerf o ranura de corte y el grado de apertura de las válvulas que regulan la salida de los gases.
- Porta-sopletes: existen de dos tipos: porta-sopletes con sopletes de corte vertical que permiten cortar cualquier geometría con flancos de corte perpendiculares a la superficie de la pieza (están equipados con guías que permiten su desplazamiento en altura y sensores eléctricos que mantienen una distancia constante con la pieza) y porta-sopletes equipados con tres sopletes para corte en bisel.

- Botellas de gases: mantienen los gases en su interior a una presión de 150 atm aproximadamente. Para que el gas alcance, a la salida de la boquilla o soplete de corte, la presión adecuada se usan reductores de la presión de salida que permiten regular dicha presión hasta los 1-10 bares dependiendo del gas y del tipo de boquilla.

En cuanto a los tipos de llama de precalentamiento tenemos tres:

- Oxidante: con mayor cantidad de oxígeno, se utilizada normalmente para realizar precalentamientos forzados (para acelerar el proceso de precalentamiento y acortar los tiempos muertos), cortes en chaflán y cortes a alta velocidad con baja calidad.
- Carburante: con mayor cantidad de gas combustible, se utiliza para obtener buenos acabados, corte de chapas de espesores delgados y chapas apiladas.
- Neutra: balance adecuado de gas combustible y Oxígeno (1:1,5 para acetileno), se utiliza para la mayoría de las aplicaciones en oxicorte.

Una pérdida de pureza de un 1% en la llama de corte implica una pérdida de velocidad de avance de aproximadamente un 25% y a su vez incrementa el consumo de O₂ en aproximadamente un 25%. Con una pureza de O₂ de un 95% la acción del corte es imposible.



Ilustración 6: Máquina de oxicorte de la Universidad de Almería.

La máquina de oxicorte ubicada en el CITE-IV es del modelo Esab Cutting Systems. El pórtico o carro porta-sopletes se apoya en dos guías longitudinales y los sopletes se desplazan transversalmente respecto de la mesa de trabajo a lo largo del pórtico porta-sopletes (eje Y). El carro porta-sopletes se desplaza a lo largo de las guías longitudinales (eje X). El carro porta-sopletes puede tener uno, dos o más sopletes de corte. Generalmente uno de los sopletes

“maestro” es controlado a través del panel de control de forma manual o automática (programas en código numérico) y el resto de sopletes “esclavos” siguen los movimientos del primero mediante un sistema de engranajes, que permite que sigan los movimientos del “maestro” de forma simétrica (espejo) o realizar una copia de la trayectoria.

En este tipo de máquinas podemos considerar dos puntos de referencia:

- Cero Máquina: es el punto que se toma como referencia para el desplazamiento del carro porta-sopletes en la mesa de trabajo. Generalmente el cero máquina suele situarse en alguna de las esquinas de la mesa. En la máquina disponible en el laboratorio el Cero Máquina se sitúa en la esquina inferior izquierda.
- Cero Programa: es el punto de inicio de cada programa de corte (varía de uno a otro). Suele hacerse coincidir con alguna de las esquinas del material (chapa) a cortar. En nuestro caso trabajamos en coordenadas incrementales o relativas, es decir, el código numérico de los programas de corte se expresan en coordenadas relativas (más usual) fijando el cero programa en alguna esquina de la pieza de trabajo.

El sistema de medida de la posición del soplete en los ejes X e Y es un sistema de medida incremental, cuando la máquina se apaga pierde su referencia en los ejes. La primera acción que hay que ejecutar al encender el panel de control de la máquina es “referenciar los ejes”. Es una operación que realiza automáticamente la máquina. Los puntos de referencia se encuentran próximos al Cero Máquina, la máquina encuentra estos puntos cuando dos topes ubicados sobre los ejes X e Y alcanzan dos “micros” o finales de carrera.

La máquina consta de límites de seguridad que no son más que cuatro micros que evitan que los sopletes se salgan de la mesa de trabajo, cuando los topes que hay en los carros (eje X e eje Y) tocan los micros de seguridad la máquina se desactiva.

En cuanto a la compensación de la ranura de corte, en oxicorte cuando se corta el material lo que realmente sucede es la combustión del hierro como bien hemos explicado anteriormente. Esta combustión provoca lo que se denomina “ranura de corte”. El ancho de la ranura de corte dependerá de múltiples factores (espesor de la chapa, velocidad de corte, tipo de boquilla, regulación de los gases...). En el código numérico del programa de corte se deberán incorporar los comandos adecuados para realizar la compensación de la ranura de corte. Con esta compensación la trayectoria programada se desplaza hacia el exterior del contorno de corte una distancia igual a la mitad del valor de la ranura de corte (este valor se puede introducir en el panel de control de la máquina o a través del código numérico).

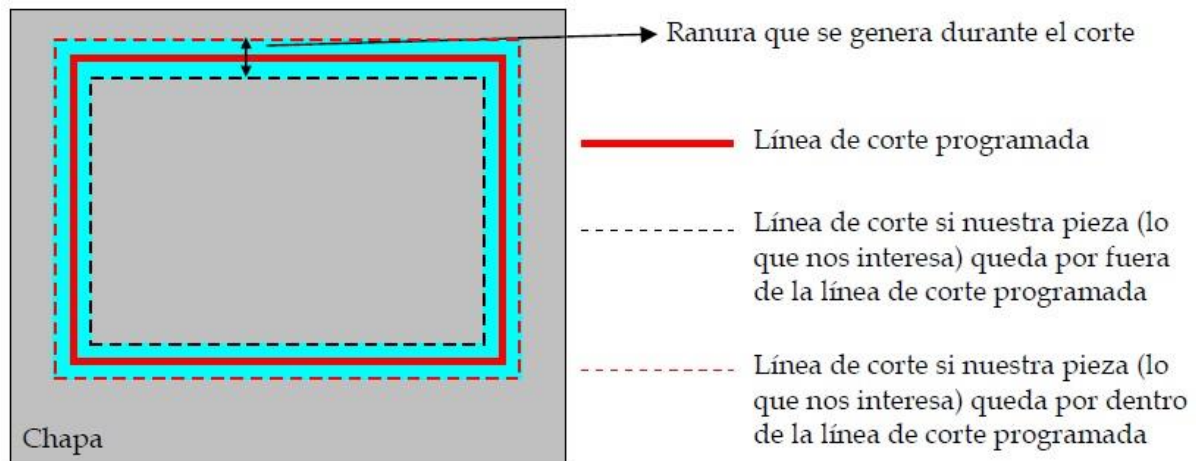


Ilustración 7: Representación del desplazamiento del soplete en función de la ranura de corte.

En cuanto al tipo de cotas emplearemos cotas incrementales con las que las coordenadas que determinan los desplazamientos que debe seguir el soplete se establecen respecto a la posición del soplete en cada momento (respecto del punto que le preceda al movimiento que vamos a realizar). Además solamente emplearemos trayectorias lineales, en las cuales se indican las coordenadas del punto final (punto hacia donde nos queremos dirigir).

Por último, el código numérico de la máquina de oxicorte que contienen las distintas órdenes se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Código numérico para la máquina de oxicorte.

Código	Función	Código	Función
0	STOP	85	Medidas en pulgadas
3	Activar comentario en display	86+...+...	Origen relativo
4	Desactivar comentario en Display	88	Origen relativo OFF / Origen absoluto ON
5	Activar velocidad rápida (sin corte)	90	Inicio de línea
6	Desactivar velocidad rápida (sin corte)	91	Fin de línea
7	Activar ciclo de corte	100	Grabar borrado ON por selección
8	Desactivar ciclo de corte	101	Grabar borrado OFF por selección
9	Aire comprimido de marcado ON	102	STOP del programa (por selección)
10	Aire comprimido de marcado OFF	110	Potencia de marcado / marcado por plasma / marcado por láser ON
10+3nnnww	Llamar macro .mpg	111	Potencia de marcado / marcado por plasma / marcado por láser OFF
11	Compensación del primer marcado ON	114	Compensación del segundo marcado ON
11+n	Marcado compensación 1-16	117	Control tangencial - el ángulo previo prevalece

Código	Función	Código	Función
12	Herramienta de marcado compensación OFF	118	Plasma VBA rutina de esquina
13	Soplete lateral ON	120+...	Altura del plasma VBA izquierdo
16	Soplete lateral OFF	121+...	Altura del plasma VBA derecho
21	Giro 90°	122	Angulo de interpolación final para varios registros (sólo para plasma)
28	Espejo 90°	122+...	Ajustar el ángulo del plasma VBA izquierdo o el ángulo del chaflán de corte
29	Activar compensación de ranura de corte a izquierdas	122+w+1	Iniciar ángulo de interpolación sobre todos los registros (sólo para plasma)
30	Activar compensación de ranura de corte a derechas	123+...	Ajustar el ángulo del plasma VBA derecho
31	Estación preseleccionada 1-9 ON	129+...	Espesor del material
31+...+...	Estación de sujeción 1-9 ON	141	Iniciar ángulo – e interpolación lateral sobre todos los registros.
32	Estación preseleccionada 1-9 OFF	141+...	Iniciar altura de calibración (sólo para láser VBA)
33	Estación preseleccionada 10-12 ON	142	Fin ángulo – e interpolación lateral sobre todos los registros.
33+...+...	Estación de sujeción 10-12 ON	142+...	Iniciar ángulo de calibración (sólo para láser VBA)
34	Estación preseleccionada 10-12 OFF	143	Iniciar medida de radio (sólo láser VBA)
35	Ciclo de chorro de arena/abrasivo ON	150	Preseleccionar proceso autógeno
36	Ciclo de chorro de arena/abrasivo OFF	151+...	Parámetro del proceso
37+n+xxxxx	Posicionamiento de la estación con sujeción neumática	152+...	Parámetro del proceso
38	Desactivar compensación de ranura de Corte	153+...	Parámetro del proceso
39+...	Velocidad de corte programada	154+...	Parámetro del proceso
40+...	Valor de la ranura de corte	155+...	Parámetro del proceso
41+...	Tiempo de espera	156+...	Parámetro del proceso
42	Precaentamiento On	157+...	Parámetro del proceso
42+...+...	Precaentamiento automático con entrada por el canto de la chapa	158+...	Parámetro del proceso
43	Oxígeno de corte OFF /Láser OFF	159+...	Parámetro del proceso
44	Selección del punto de entrada / entrada láser por el canto de la chapa	160+...	Parámetro del proceso
45	Sensor de distancia (altura) chapa ON y función especial para láser	161+...	Parámetro del proceso /Intensidad del plasma (amperios)
46	Sensor de distancia (altura) chapa OFF	162+...	Parámetro del proceso

Código	Función	Código	Función
47	Sensor de chapa ON	163+...	Parámetro del proceso /Voltaje(V)
48	Sensor de chapa OFF	164	Nivel de agua (centro)
51	Control tangencial ON	165	Nivel de agua (bajo)
52	Control tangencial OFF	166	Nivel de agua (alto)
53	Ciclo de corte por plasma ON	167+...	Parámetro del proceso
54	Ciclo de corte por plasma OFF	168+...	Parámetro del proceso
55	Tiempo de precalentamiento 2 ON;refrigeración en esquina para láser	169+...	Parámetro del proceso
56	Entrada con precalentamiento en punto de ataque ON / Entrada por borde OFF	205	Marcado con tinta ON
57	Entrada por borde ON / Entrada con precalentamiento en punto de ataque OFF	206	Etiquetado con tinta ON
58	Preselección del segundo proceso de plasma	207+aaabbbcd.SDP	Llamada a datos de parámetros de corte para láser
59	Preselección del primer proceso de plasma	207+cbbaa.SDP	Llamada a datos de parámetros de corte para plasma
61	Origen máquina en la zona operativa activo	223+...	Sistema de etiquetado
61+...	Origen de las zonas activas de trabajo	224	Texto de etiquetado
62	Programa de origen	225+...	Altura de etiquetado
62+	Aproximación a puntos dentro de un programa	226+...	Ángulo de etiquetado
63	Reset / Fin de programa		
64	Reset / Fin de programa		
65	Ir al Cero máquina en Eje x		
66+n	Llevar la estación de trabajo a la posición HOME (n indica el número de estación)		
67	Ir al Cero máquina en Eje y		
70	Tabla de cambios START		
72	Puntero láser ON		
73	Iniciar la ignición en plasma		
74	Ignición en plasma OFF		
76	Preseleccionar altura de chapa para el sensor de chapa		
77	Preseleccionar altura de chapa por arco		
78	Contorno pequeño (láser)		
79	Contorno grande (láser)		
81	Coordenadas absolutas ON		
82	Coordenadas absolutas OFF (relativas ON)		
84	Medidas en mm		

En nuestro caso, las órdenes que emplearemos principalmente serán la 3 (activar comentario en el display de la máquina), 4 (desactivarlo), 82 (activar coordenadas relativas), 39 (velocidad de corte programada), 40 (valor de la ranura de corte), 5 (activar velocidad rápida sin corte), 6 (desactivarla), 7 (activar ciclo de corte), 8 (desactivarlo), 30 (activar compensación de la ranura de corte a derechas). 38 (desactivarla) y 63 (fin de programa).

A continuación podemos ver un ejemplo de código numérico de la máquina de oxicorte obtenido a partir del programa que hemos creado, *CNC Creator*, y el cual comentaremos:

3	(Activamos un comentario en el Display de la máquina).
Mario - Cono.mpg	
4	(Desactivamos el comentario del Display de la máquina).
82	(Activamos las coordenadas relativas).
39+1100	(Programamos la velocidad de corte a 1100 mm/min).
40+15	(Programamos el valor de la ranura de corte a 15 décimas de mm).
5	(Activamos la velocidad rápida sin corte).
+20145+11270	(Movimiento de desplazamiento).
6	(Desactivamos la velocidad rápida sin corte).
30	(Activamos la compensación de la ranura de corte a derechas).
7	(Activamos la velocidad de corte).
+53+73	(Ciclo de corte).
+205-151	
+338-382	
+250-444	
+150-487	...
+45-507	
-64-506	
-168-481	
-286-459	
-381-384	
-457-289	
-510-179	
-538-61	
-537+61	...
-510+179	
-457+289	
-381+384	
-286+459	
-168+481	

-29+233	...
+99+13	
8	(Desactivamos velocidad de corte, final del ciclo de corte).
38	(Desactivamos la compensación de la ranura de corte).
5	(Activamos velocidad rápida sin corte).
-5+39	(Movimiento de desplazamiento).
6	(Desactivamos velocidad rápida sin corte).
30	(Activamos la compensación de la ranura de corte a derechas).
7	(Activamos la velocidad de corte).
-100-12	(Ciclo de corte).
-29+233	
+45+507	
+150+487	
+250+444	
+338+382	
+410+301	...
-479+823	
-585-408	
-519-504	
-439-598	
-345-688	
-227-773	
-84-843	
+89-890	...
+660-677	
+736-513	
+781-357	
+805-210	
+389-33	
-9-99	...
8	(Desactivamos la velocidad de corte, fin del ciclo de corte).
38	(Desactivamos la compensación de la ranura de corte).
5	(Activamos la velocidad rápida sin corte).

+40-4	(Movimiento de desplazamiento).
6	(Desactivamos la velocidad rápida sin corte).
30	(Activamos la compensación de la ranura de corte a derechas).
7	(Activamos velocidad de corte).
+8+100	(Ciclo de corte).
+389-33	
+817+69	
+806+210	
+781+357	
+736+513	
+660+677	
+89+890	...
-84+843	
-227+773	
-345+688	
-439+598	
-519+504	
-585+408	
-479-823	
+205-150	...
-53-73	
8	(Desactivamos la velocidad, fin del ciclo de corte).
38	(Desactivamos la compensación de la ranura de corte).
63	(Fin de programa).

1.3.1. Aplicaciones prácticas:

La utilización del calentamiento por llama ofrece varias posibilidades industriales. Entre ellas destacan los procesos de corte y la soldadura pero también se pueden utilizar para realizar otras funciones como el decapado térmico, el ranurado, el enderezado por llama o cualquier otra operación que implique un calentamiento local de la pieza.

Una de las ventajas de la utilización de este tipo de procesos es que la herramienta no se apoya sobre la pieza con lo que se elimina el riesgo de deformaciones por esta causa.

El oxicorte es un proceso rápido en cuanto a realización y aprendizaje siendo además un proceso rentable ya que entre el 80 al 90% de los costes totales son costes de mano de obra y de máquina. Las velocidades de corte varían en función del material de la pieza de trabajo y del equipo utilizado según se esté trabajando o no con boquillas diseñadas especialmente. Con la mezcla de gases oxígeno-acetileno se pueden cortar piezas de hasta 300 mm de espesor. Para espesores mayores será necesario utilizar mezclas como oxígeno-hidrógeno u otras más específicas.

Industrialmente se suele trabajar con equipos controlados por ordenador equipados con múltiples antorchas o llamas para cortar. De esta forma es posible cortar simultáneamente piezas pesadas con tolerancias que se mueven en torno a ± 1 mm.

Otra aplicación del proceso térmico descrito lo constituye el decapado térmico de superficies. En este caso la boquilla se diseña de forma que se adapte lo mejor posible a la geometría de la pieza de trabajo. Por este procedimiento se consigue eliminar el óxido, la costra de laminación o las posibles capas de cascarilla que pueda presentar una pieza. Con el tratamiento además se mejora la resistencia a la corrosión.

Otro grupo de aplicaciones se dirigen hacia el tratamiento de otro tipo de superficies como pueden ser el hormigón o la piedra natural. Aquí se utiliza como un medio para eliminación de pinturas, restos de goma o manchas de aceite de una forma menos agresiva para el medio ambiente que utilizando disolventes químicos.

1.4. Descripción del software:

En esta sección vamos a proceder a hacer una breve descripción del programa informático realizado, con sus requisitos y los sistemas operativos en los que se ha comprobado que funciona, aunque se realizará una explicación con mayor profundidad en la “Guía del Usuario” en la que se muestra paso a paso cómo usar el programa de forma correcta y que se encuentra más adelante.

Se trata de un programa informático escrito en lenguaje de programación C que permite obtener el código numérico para la máquina de oxicorte de modelo Esab Cutting Systems.

Dicho código se genera a partir de un archivo .dxf generado con el programa AutoCAD (u otro similar), el cual contiene la información geométrica del diseño. Se importa dicho archivo al programa de dibujo Inkscape (que se trata de un software libre) en el que se vectorizan las posibles curvas que tuviera nuestro diseño y se guarda en formato .tex, cuyo archivo es mucho más sencillo de procesar que un .dxf. Por tanto, el programa creado leerá un archivo de entrada con extensión .tex.

Al ejecutar el programa, nos muestra una pantalla inicial donde se indican los datos del Trabajo Fin de Grado (alumno, tutor del trabajo, título, curso, etcétera). Como podremos ver se trata de una interfaz gráfica muy básica (la que nos ofrece el programa Dev-C++) con la que interactuamos a través del teclado. Al pulsar cualquier tecla nos aparece un mensaje que nos pide introducir la ruta del archivo .tex a abrir para obtener su código numérico. Una vez indicada se nos muestra un menú en el que podemos introducir los distintos parámetros para el mecanizado de nuestra geometría:

- Velocidad de mecanizado: se trata de la velocidad a la que se desplaza el soplete durante un ciclo de corte. Se debe introducir en mm/min.
- Tamaño de la ranura de corte: dependerá del tipo del material a mecanizar, de la boquilla, de la mezcla de gases, etcétera. Se debe introducir en décimas de milímetros.
- Longitud del ataque: un ataque es un punto en el que se lleva al material a la temperatura de ignición (para que se produzca el mecanizado de forma adecuada) recorriendo después una longitud de entrada a la geometría a cortar y otra de salida. En nuestro caso la distancia de entrada y salida es la misma, perpendicular a la geometría y es este el valor que nos pide el programa. Se debe introducir en décimas de milímetros.
- Tamaño de los amarres: un amarre es una zona de la geometría que se queda sin mecanizar al realizar soplete una salida perpendicular de la geometría. Con esto se consigue que la pieza no se deforme por el peso o se caiga al suelo durante el proceso de corte. En nuestro caso nos pide el programa la distancia perpendicular a la geometría por donde se saldrá el soplete para realizar el amarre y su ancho (distancia hasta la entrada nuevamente en la geometría para cortarla y que permanece el soplete inactivo). Se debe introducir en décimas de milímetros.

Antes de finalizar este paso debemos de tener en cuenta que el valor de la ranura de corte no debe ser superior al tamaño de los ataques ni a las dimensiones de los amarres debido a que en el tramo que se deja sin cortar en el amarre no se aplica compensación, y si ésta es mayor que el amarre, cuando el soplete se dirija cortando hacia el inicio del amarre estaría violando la condición establecida en la ranura.

Una vez que hemos finalizado este apartado deberemos de esperar unos segundos mientras que el programa realiza una serie de comprobaciones y genera el archivo que contiene el código numérico de nuestra pieza en formato .mpg. Debemos de tener en cuenta de que para que se ejecute de forma correcta y podamos obtener nuestro archivo con el código numérico, el diseño que hemos realizado previamente tiene que tener menos de 150 polígonos y menos de 150 vértices por polígono debido a la memoria limitada de nuestro programa.

Al obtener el archivo .mpg podemos abrirlo con algún procesador de textos sencillo (por ejemplo el Bloc de Notas de Windows) y realizar las modificaciones que deseemos en dicho archivo. Este último paso no es necesario realizarlo y hay que tener en cuenta que al realizar dichas modificaciones es posible que la máquina de oxicorte no mecanice de forma correcta la geometría al haber eliminado algunas secciones del archivo (velocidad de corte, desplazamiento del soplete, etcétera).

A continuación mostramos un ejemplo de un diseño realizado:

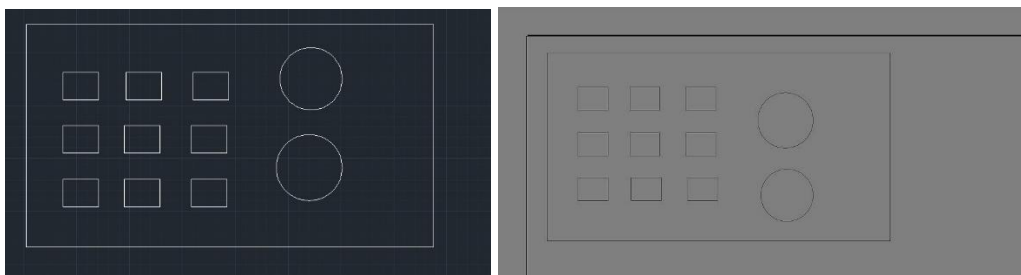


Ilustración 8: A la izquierda diseño realizado en AutoCAD y a la derecha importado a Inkscape.

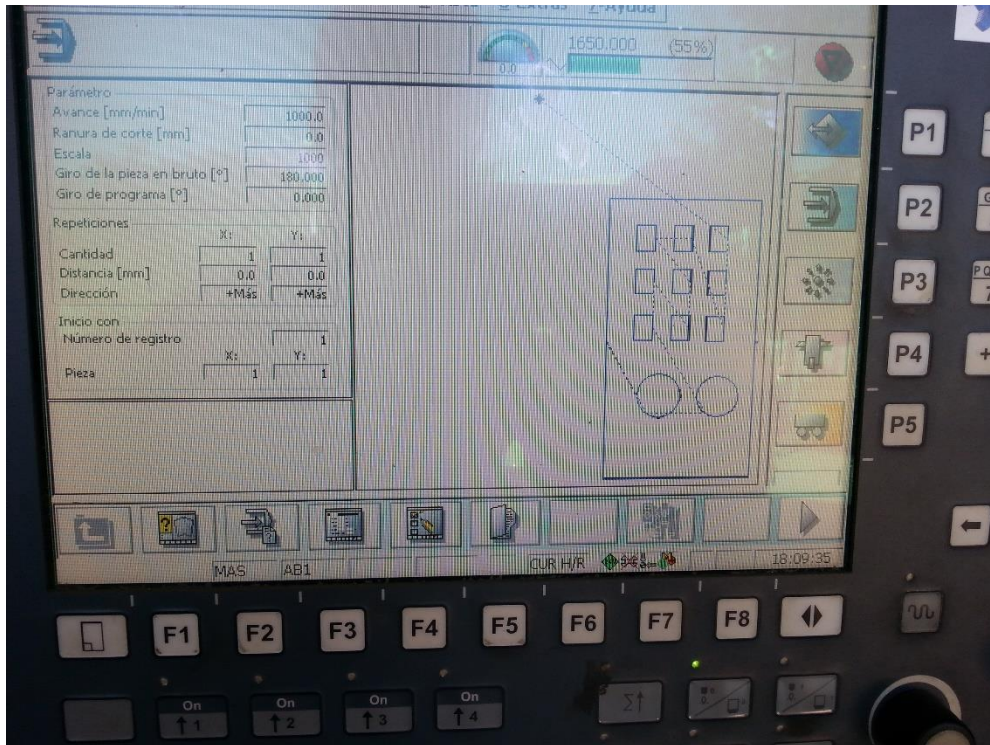


Ilustración 9: Diseño en el panel de control de la máquina.

El código generado por el programa *CNC Creator* es:

```

3
Mario - Pieza 3.mpg
4
82
39+1000
40+20
5
+8906+13083
6
30
7
+0+50
+844+0
+0-1298
-1689+0
    
```

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+2989+0

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+3161+0

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

-6150-2509

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+0-2553

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+2902+2553

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+3161+0

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

-3161-2553

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+3161+0

6

30

7

+0+50

+844+0

+0-1298

-1689+0

+0+1298

+845+0

+0-50

8

38

5

+5988+4035

6

30

7

+42-28

-160-239

-478-319

-563-112

-564+112

-478+319

-319+478

-112+563

+112+564

+319+478

+478+319

+564+112

+563-112

+478-319

+319-478

+112-564

-112-563

-159-239

-42+28

8

38

5

-17-4244

6

30

7

+42-28

-169-253

-505-338

-597-119

-597+119

-506+338

-338+506

-118+597

+118+596

+338+506

+506+338

+597+119

+597-119

+505-338

+338-506

+119-596

-119-597

-169-253

-42+28

8

38

5

-4975-2993

6

30

7

+0+50

+9636+0

+0+10514

-9593+0

+0+100

8

38

5

-85+0

6

30

7

+0-100

-9594+0

+0-10514

+9636+0

+0-50

8

38

63

1.5. Conclusiones y propuestas de mejora:

El programa ha sido realizado con éxito ya que se ha conseguido el objetivo de obtener el código numérico de diferentes diseños de corte. Todos los códigos numéricos se han cargado en la máquina de oxicorte de la Universidad de Almería, siendo interpretados correctamente por la máquina. Se ha simulado el corte de todos los diseños realizados, con resultados satisfactorios y se ha mecanizado uno de los diseños comprobando que el diseño "cortado" se corresponde con el diseño "programado". Después se fueron desarrollando más pruebas logrando tener un banco de pruebas de alrededor de veinte diseños de distinta complejidad. Aunque en un principio se tuvieron problemas debido a que las líneas que queríamos que estuvieran abiertas el programa las cerraba de forma automática (conectaba el último punto de la última línea con el primer punto de la primera línea), se pudo solventar dicha problemática de forma satisfactoria obteniendo las geometrías de forma correcta.

Por tanto, se ha obtenido la base de un programa, en el que por supuesto se tienen que introducir futuras mejoras, pero que se pueden realizar las prácticas de las asignaturas de la universidad que se relacionen con la máquina de oxicorte, siendo este el primer objetivo por el que se realizó dicho programa. El software es de licencia gratuita y libre, por lo que no habrá problemas de difusión del mismo entre los alumnos y se solventa de esta forma también uno de los principales problemas de las asignaturas que tienen prácticas relacionadas con la máquina puesto que el programa que se empleaba anteriormente era de licencia de pago y solamente podía emplearse en un ordenador, con el consiguiente problema de que los grupos de alumnos debían de ir por turnos al despacho del profesor para realizar las prácticas pertinentes. Con esta solución se podrán realizar unas actividades mucho más fluidas obteniendo un mayor desasosiego tanto por parte del profesorado como por parte del alumnado.

Por otro lado, se han establecido las bases para que futuros alumnos realicen un Trabajo Fin de Grado fundamentado en una mejora del programa. En cuanto a las mejoras de éste, deberían de hacerse más pruebas, puesto que no existe el software perfecto y cuantas más se realicen se podrán localizar un mayor número de errores, solventándolos y obteniendo así un programa mejor.

De la misma manera, se propone también el desarrollo de una interfaz gráfica para hacerlo más atractivo y sencillo al usuario y se pueda realizar la geometría con dicho software y no tener que estar dependiendo de otros programas ajenos. De esta forma se conseguiría

también una competencia eficaz con los demás productos de mercado con la misma función que el nuestro y creados por grandes empresas.

Otra propuesta es que nuestro programa esté preparado para realizar el mecanizado por otras vías como plasma, láser, chorro de agua, etcétera, que como bien se ha explicado con anterioridad suelen emplear las mismas máquinas, diferenciándose solamente en las boquillas y los recursos empleados. Es decir, realizar una ampliación de los parámetros de mecanizado y de las órdenes que pueda generar para el código numérico. Así se conseguiría aprovechar de forma más eficiente tanto la máquina como el software ya que no se tendrían que emplear distintos programas informáticos para obtener un código numérico muy similar para una misma máquina.

Otra propuesta es que nuestro programa se pruebe en sistemas operativos de distintas compañías y se compruebe su correcto funcionamiento (Linux, Apple, etcétera) ya que sólo ha sido probado en distintos sistemas operativos de Windows. En caso de que se obtuviera un funcionamiento incorrecto realizar las pertinentes modificaciones en el programa para que se pueda ejecutar con éxito en los distintos sistemas operativos.

Por otro lado, nuestro programa tiene una limitación tanto de número de vértices (ciento cincuenta vértices por polígono) como de número de polígonos creados (ciento cincuenta polígonos) debido a que se produce un desbordamiento de la memoria. En un futuro debería de mejorarse este aspecto para poder tener un programa más competitivo.

Una última propuesta de mejora sería que nuestro programa interpretase las geometrías curvas para ahorrar tiempo al usuario en el manejo del programa al hacer menos pasos previos a la obtención del código numérico. De todas formas esto no estrictamente necesario puesto que si se define el suficiente número de tramos en la curva una vez mecanizada la pieza no se distinguirán dichos segmentos.

1.6. Bibliografía:

- [1] Kalpakjian S.; S.R. Schmid. *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. 2008. 5ª Edición, Pearson Educación, México.
- [2] Espinosa, M.M. *Introducción a los Procesos de Fabricación*. 2000. 1ª Edición, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid (España).
- [3] López, A. *Manual Oxicorte Teórico-Práctico*. 2008. Universidad de Almería, Almería (España).
- [4] Manual de la Máquina de Oxicorte ESAB (FALCON FXA).
- [5] Joyanes, L.; Zahonero, I. *Programación en C: Metodología, algoritmos y estructuras de datos*. 2001. 1ª Edición, Mc Graw Hill, Madrid (España).

2. Especificaciones técnicas y generales:

2.1. Guía del usuario:

2.1.1. Propósito:

La finalidad de esta guía es meramente informativa e instructiva. Su propósito es el de orientar al usuario que vaya a emplear el programa *CNC Creator* por primera vez, dando nociones de los requisitos que se deben cumplir para poder ejecutar el software, los pasos secuenciales a seguir, las posibles dudas que pudieran surgir y se finalizará con una serie de ejemplos ilustrativos.

El programa *CNC Creator* surge de la necesidad en la actividad educativa de dar solución a la problemática con la que cuentan algunas asignaturas consistente en el uso de un software de pago para la realización de las prácticas de dichas asignaturas. Ante el inconveniente que conlleva el uso de un software privado (realentización de las prácticas, nula disponibilidad del programa por parte de los alumnos fuera del horario lectivo lo que trae como consecuencia, entre otras cosas, una dificultad en el aprendizaje del manejo del programa debido a su poco uso, etcétera), surgió la idea de la creación de un software libre y gratuito con el que se diera solución a dicho problema.

2.1.2. Requisitos:

El buen funcionamiento del programa está testado bajo las siguientes condiciones, lo cual no quiere decir que solo funcione correctamente bajo ellas, puesto que ante la falta de recursos no ha podido ser probado en otros sistemas operativos, dispositivos hardware, etcétera. Los requisitos mínimos son los que se exponen a continuación:

Sistema operativo: Windows XP, Windows Vista, Windows 7 Home Premium, Windows 8.1 o superior.

Procesador: Intel (R) Core (TM) i5-2450M CPU 2.50 GHz, AMD A6-5200 APU with Radeon(TM) HD Graphics 2.00 GHz.

Memoria instalada (RAM): 6,00 GB; 8,00 GB o superior.

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64.

Además se debe de disponer de los siguientes programas para hacer un buen uso de nuestro programa: Inkscape versión 0.48 o superior y AutoCAD edición 2013 o superior.

En cuanto a los archivos que manejaremos serán los siguientes: .dwg (contiene nuestro diseño para poder editarlo en AutoCAD); .dxf (es un archivo de texto complejo que contiene las coordenadas y la información geométrica de nuestro diseño); .tex (es un archivo de texto más sencillo que el anterior que contiene las coordenadas de nuestro diseño) y .mpg (es un archivo de texto que contiene las órdenes de corte y de trayectorias para mecanizar nuestra geometría en la máquina de oxicorte).

2.1.3. CNC Creator paso a paso:

A continuación procedemos a explicar cómo usar el programa paso a paso.

En primer lugar, como es obvio, deberemos realizar el diseño de nuestra geometría que queramos mecanizar en la máquina de oxicorte. Para ello deberemos usar el programa AutoCAD en la versión mostrada en el apartado anterior. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo muy sencillo para mecanizar, un cuadrado, pero puede realizarse la geometría que se desee. Es recomendable dibujarse además un rectángulo del tamaño de la chapa a cortar situando la esquina inferior izquierda en el origen para tener una referencia del tamaño de la chapa que emplearemos en la máquina de oxicorte y así no nos salgamos de los límites establecidos. En nuestro caso el tamaño de la chapa ha sido de 4000 x 2000 mm.

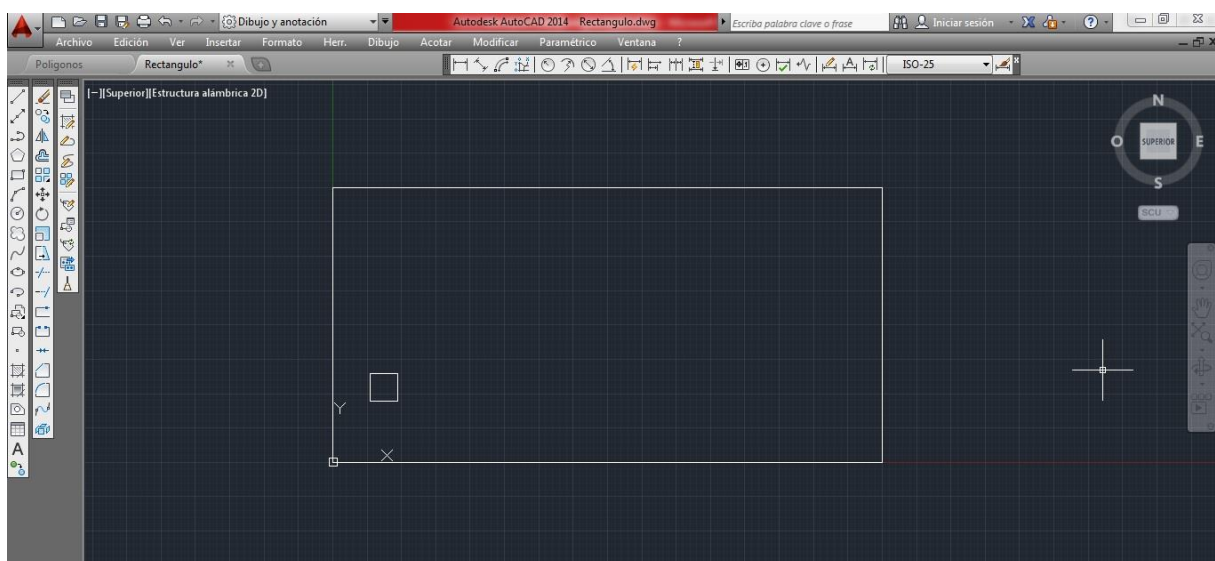


Ilustración 10: Realización de la geometría en el programa AutoCAD 2014.

Seguidamente guardaremos la geometría en un archivo .dwg por si fuera necesario realizar futuras modificaciones. Por último guardaremos también la geometría en formato .dxf para posteriormente tratar dicho archivo.

A continuación abriremos el programa Inkscape en la versión 0.48 (o posterior). Prepararemos nuestro espacio de trabajo ya que este no se nos muestra ni con las medidas que deseamos ni con las unidades del sistema métrico decimal. Para ello seleccionaremos con el cursor Archivo/Propiedades del documento y una vez en esta ventana escogeremos como unidades predeterminadas en milímetros, unidades milímetros, fijando el ancho y el alto, que en nuestro caso era de 4000 x 2000 mm . Al final debemos de tener una ventana como la siguiente:

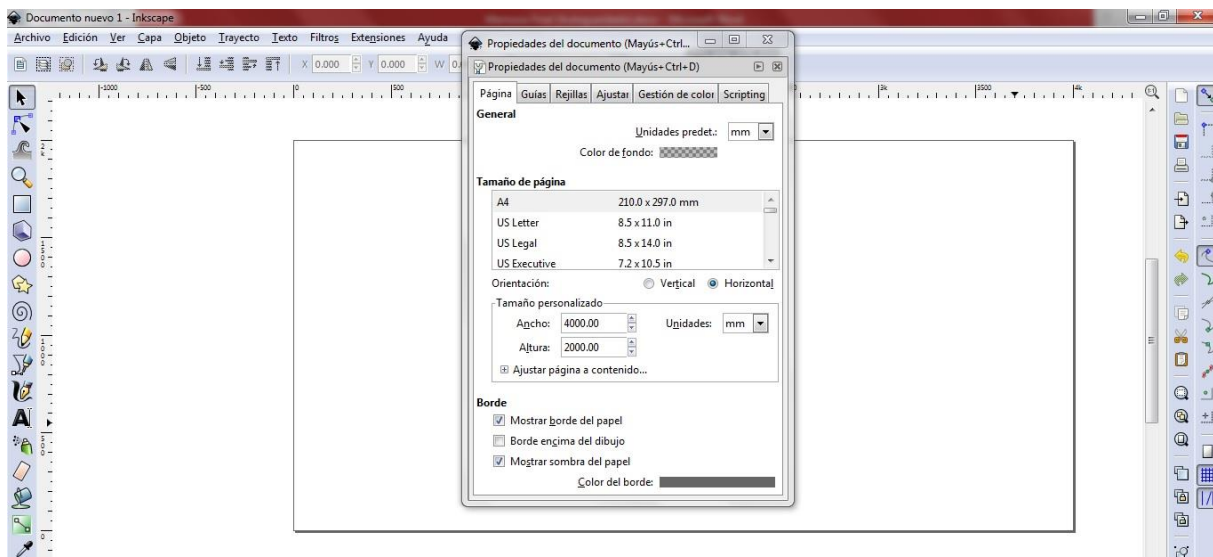


Ilustración 11: Configuración del espacio de trabajo en el programa Inkscape.

Una vez hecho esto cerraremos la ventana y ya podremos trabajar con normalidad. Para ajustar el zoom bastará con presionar la tecla Ctrl y accionar la rueda del ratón. Comenzaremos seleccionando Archivo/Importar y en *Tipo* escogeremos AutoCAD DXF R13 (.dxf). Tendremos que navegar por los directorios hasta que lleguemos al deseado y elegiremos el archivo .dxf que queramos o bien escribiremos su nombre en *Nombre*. Con el cursor seleccionamos abrir y nuestra geometría se importará al programa Inkscape. Debemos de mostrar especial cuidado en lo referente a la ubicación y orientación de la geometría, puesto que donde lo coloquemos será el mismo lugar en el que se encontrará en la máquina de oxicorte y por tanto donde el soplete se desplazará para mecanizar la pieza. Recordar que tenemos que

eliminar la chapa de referencia de 2000 x 4000 mm que habíamos dibujado en AutoCAD si no queremos que sea mecanizada también. No es recomendable modificar las dimensiones de la geometría en el programa Inkscape puesto que ésta puede sufrir variaciones imprevistas en cuanto a tamaño. El punto de referencia a la hora de cortar con la máquina es el origen del programa Inkscape, que se suele hacer coincidir con una esquina de la chapa

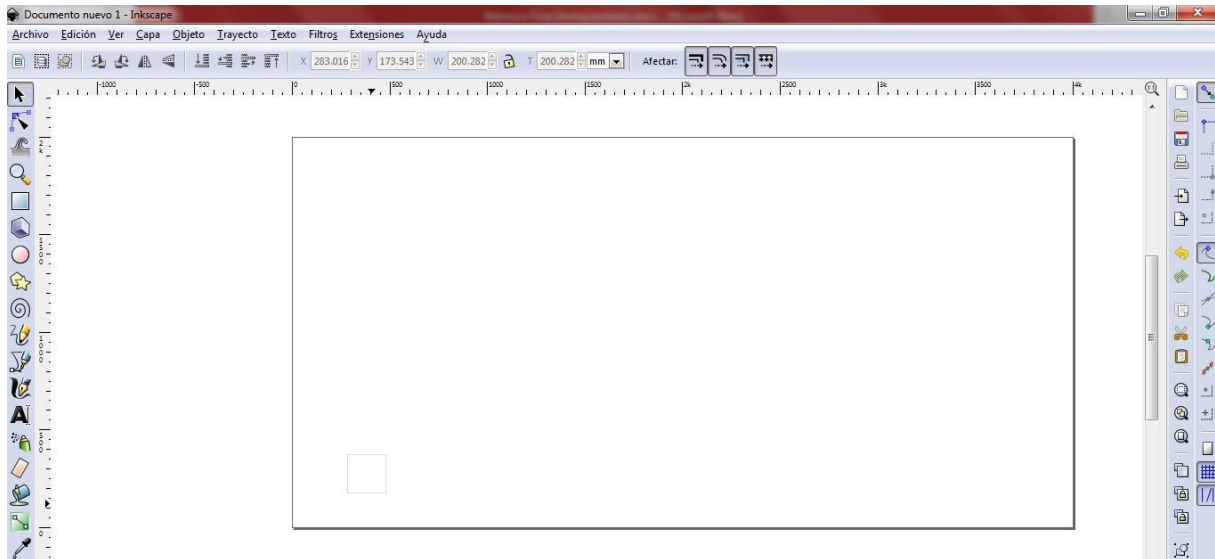


Ilustración 12: Importación de un diseño guardado en formato .dxf al programa Inkscape.

En la figura anterior se muestra la ubicación de la pieza en el espacio de trabajo tras los pasos y recomendaciones seguidos. En este ejemplo no hay mayor problema puesto que se trata de una geometría rectilínea pero, ¿y si tenemos curvas en nuestro diseño? Bastará con seguir una serie de pasos sencillos tras seguir lo expuesto anteriormente. Primero tendremos que seleccionar la opción *Editar nodos de trayecto o tiradores de control* ubicada en la parte superior de la barra de herramientas que se encuentra a la izquierda de la pantalla. Seleccionamos la geometría curva y se señalarán una serie de nodos. Arrastramos con el cursor para seleccionar todos los puntos y elegimos la opción *Convertir los segmentos seleccionados en líneas* que encontraremos en la barra de herramientas superior de la pantalla. Si queremos añadir más segmentos rectilíneos tendremos que seleccionar la opción *Insertar los nuevos nodos seleccionados entre los segmentos seleccionados* ubicada en la misma barra de herramientas que la anterior. Es importante saber que no debemos de tener un número excesivo de puntos por polígono puesto que el programa *CNC Creator* tiene una limitación de 150 vértices para que no se produzca un desbordamiento de memoria. A continuación mostramos una ilustración ampliada en la que podemos ver la vectorización de una circunferencia:

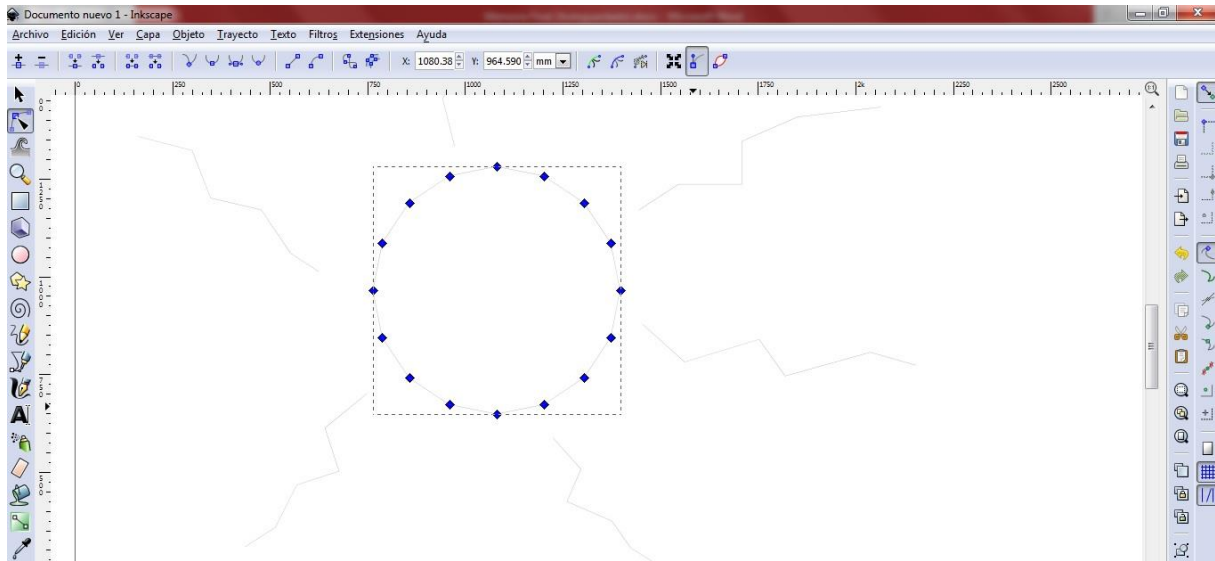


Ilustración 13: Proceso de vectorización de una geometría curva en el programa Inkscape.

Es importante vectorizar toda la geometría puesto que el programa no reconocerá ningún segmento que no sea rectilíneo y por tanto para un correcto funcionamiento debemos de realizar este paso en toda aquella geometría curva. Por último en esta fase, guardaremos el archivo en formato .tex que no es más que un archivo de texto que contiene la información geométrica de nuestra pieza de forma sencilla. Para ello seleccionaremos la opción Archivo/Guardar como... indicando en *Nombre* el título deseado del archivo, en *Guardar en* la ruta deseada para guardarlo y en *Tipo* elegiremos *Latex con macros PS Tricks (*.tex)*. Haremos click en *Guardar* y ya habremos realizado todos los pasos previos a la obtención del código numérico de la pieza.

Para obtener dicho código, en primer lugar, ejecutaremos el programa *CNC Creator* y nos aparecerá una pantalla en la que se muestran los datos del programa: el nombre del programa, el título del trabajo fin de grado, el alumno que lo ha realizado, el tutor del trabajo y el curso en el que ha sido realizado.

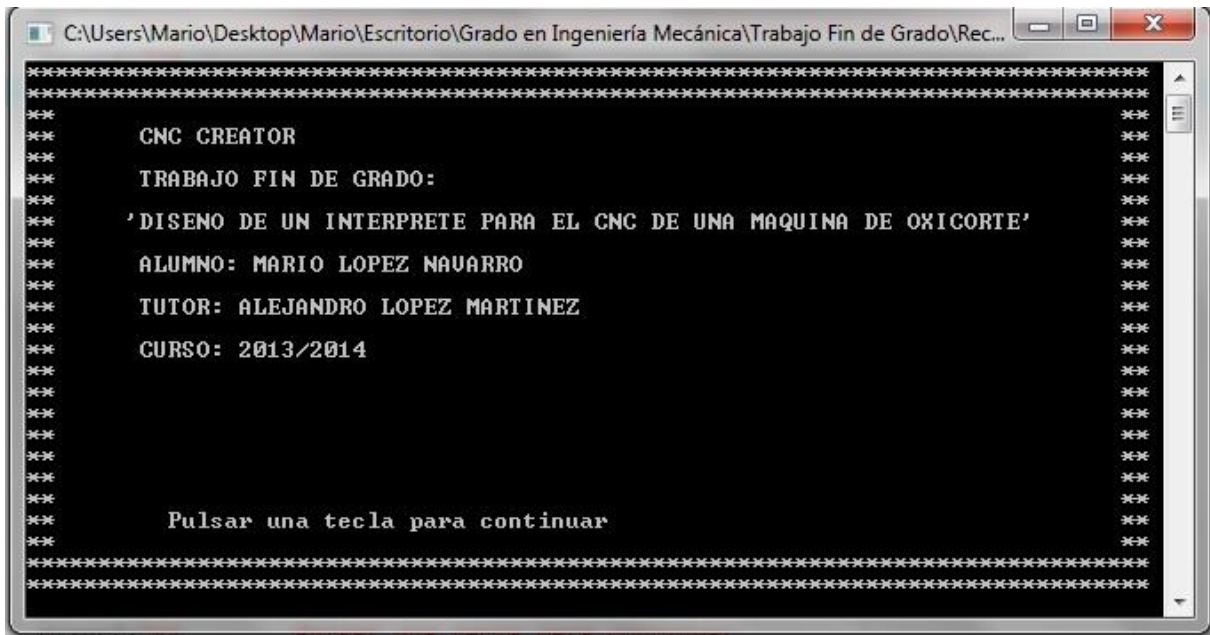


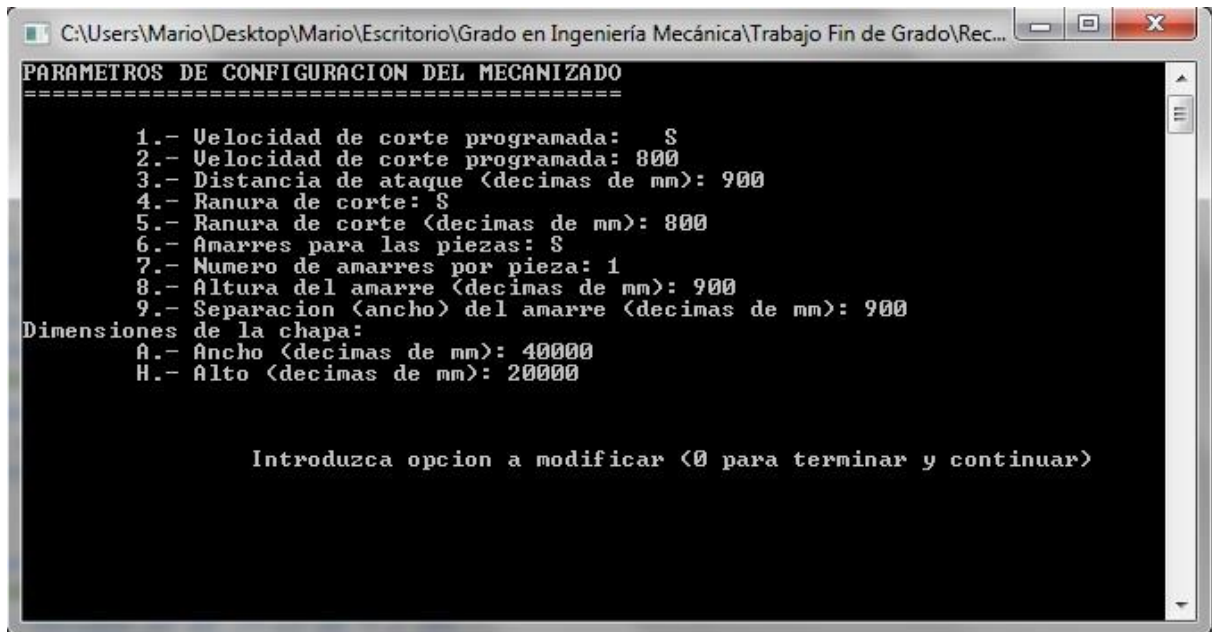
Ilustración 14: Pantalla inicial del programa CNC Creator.

Como podremos comprobar, para ir a la siguiente pantalla del programa deberemos de pulsar cualquier tecla. Una vez hecho esto nos aparecerá un mensaje en el que nos pide que introduzcamos la ruta del archivo (o nombre solo si el ejecutable y el archivo .tex se encuentran en la misma carpeta) sin la extensión .tex. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la apertura de un archivo llamado *Rectangulo*.



Ilustración 15: Proceso de apertura de un archivo en formato .tex en el programa CNC Creator.

Una vez introducido dicho dato pulsamos la tecla *Enter* e iremos a una pantalla denominada *Parámetros de configuración del mecanizado* en la que introduciremos los datos deseados según las características de nuestra pieza. En esta sección podremos introducir los siguientes datos: *Velocidad de corte programada* (opción 1), en caso afirmativo tendremos que seleccionar la opción 2 e introducir un valor entre 0 y 1500 mm/min el cual no será validado hasta que no se encuentre en dicho rango; *Distancia de ataque* (opción 3, en décimas de milímetros) el cual indica el tamaño del ataque hasta que empieza a mecanizar la pieza y debe estar comprendido en un rango entre 0 y 1000 décimas de milímetros. Decir que en nuestro programa el ataque es perpendicular al primer segmento de la geometría para una mayor simplificación mientras que en el programa de pago *Lantek Expert* existen distintas formas de ataques; *Ranura de corte* (opción 4, en décimas de milímetros), en caso afirmativo seleccionaremos la opción 5 e introduciremos un valor entre 0 y 2000 décimas de milímetros; *Amarres para la pieza* (opción 6) que en caso de ser afirmativo introduciremos el número de amarres que deseemos colocar en la pieza (entre 0 y 2) y sus dimensiones (opción 7 para la altura del amarre en décimas de milímetros y en un rango entre 0 y 1000 décimas de milímetros. Ésta es la distancia perpendicular que tendrá la entrada y la salida del amarre con la geometría; y opción 8 para elegir el ancho del amarre en décimas de milímetros y en un rango entre 0 y 1000 décimas de milímetros. Ésta es la distancia existente entre la entrada y la salida del amarre); por último podemos elegir el ancho (opción A en décimas de milímetros y en un rango entre 0 y 40000 décimas de milímetros) y el alto (opción H en décimas de milímetros y en un rango entre 0 y 20000 décimas de milímetros). En la siguiente imagen se muestra un ejemplo:

A screenshot of a Windows application window titled 'C:\Users\Mario\Desktop\Mario\Escritorio\Grado en Ingeniería Mecánica\Trabajo Fin de Grado\Rec...'. The window contains a black terminal-style interface with white text. The text is as follows:

```
PARAMETROS DE CONFIGURACION DEL MECANIZADO
=====
1.- Velocidad de corte programada: S
2.- Velocidad de corte programada: 800
3.- Distancia de ataque <decimas de mm>: 900
4.- Ranura de corte: S
5.- Ranura de corte <decimas de mm>: 800
6.- Amarres para las piezas: S
7.- Numero de amarres por pieza: 1
8.- Altura del amarre <decimas de mm>: 900
9.- Separacion <ancho> del amarre <decimas de mm>: 900
Dimensiones de la chapa:
A.- Ancho <decimas de mm>: 40000
H.- Alto <decimas de mm>: 20000

Introduzca opcion a modificar <0 para terminar y continuar>
```

Ilustración 16: Configuración de los parámetros de mecanizado en el programa CNC Creator.

Decir que para seleccionar cada opción deberemos de pulsar la respectiva tecla, es decir, la opción 1 pulsar la tecla 1, opción 2 pulsar la tecla 2, etcétera. Por último, una vez hayamos finalizado de introducir los distintos parámetros, para generar el código numérico pulsaremos la tecla 0 y pasaremos a la última pantalla.

En esta pantalla el programa nos va mostrando una serie de mensajes de validación mientras va procesando el archivo y realizando las comprobaciones pertinentes.

A screenshot of the same Windows application window. The terminal-style interface now shows the following text:

```
PROCESANDO ARCHIVO: Rectangulo
=====
Legendo geometria del archivo ..... OK
Formando poligonos a partir de polilineas .....
```

Ilustración 17: Mensaje de comprobación de la lectura de las coordenadas del diseño en el programa CNC Creator.

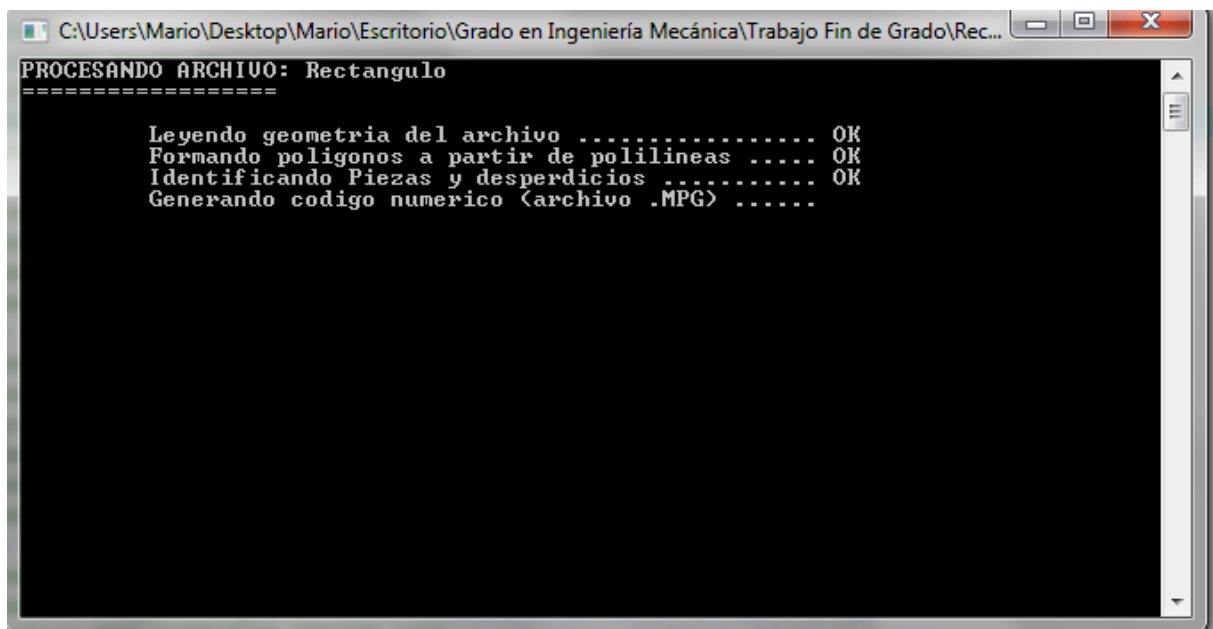
En la figura anterior nos muestra un mensaje de validación una vez que ha leído la geometría del archivo.



```
C:\Users\Mario\Desktop\Mario\Escritorio\Grado en Ingeniería Mecánica\Trabajo Fin de Grado\Rec...
PROCESANDO ARCHIVO: Rectangulo
=====
Leyendo geometria del archivo ..... OK
Formando poligonos a partir de polilineas ..... OK
Identificando Piezas y desperdicios .....
```

Ilustración 18: Mensaje de comprobación de la conexión de los distintos segmentos para formar polilíneas y polígonos en programa CNC Creator.

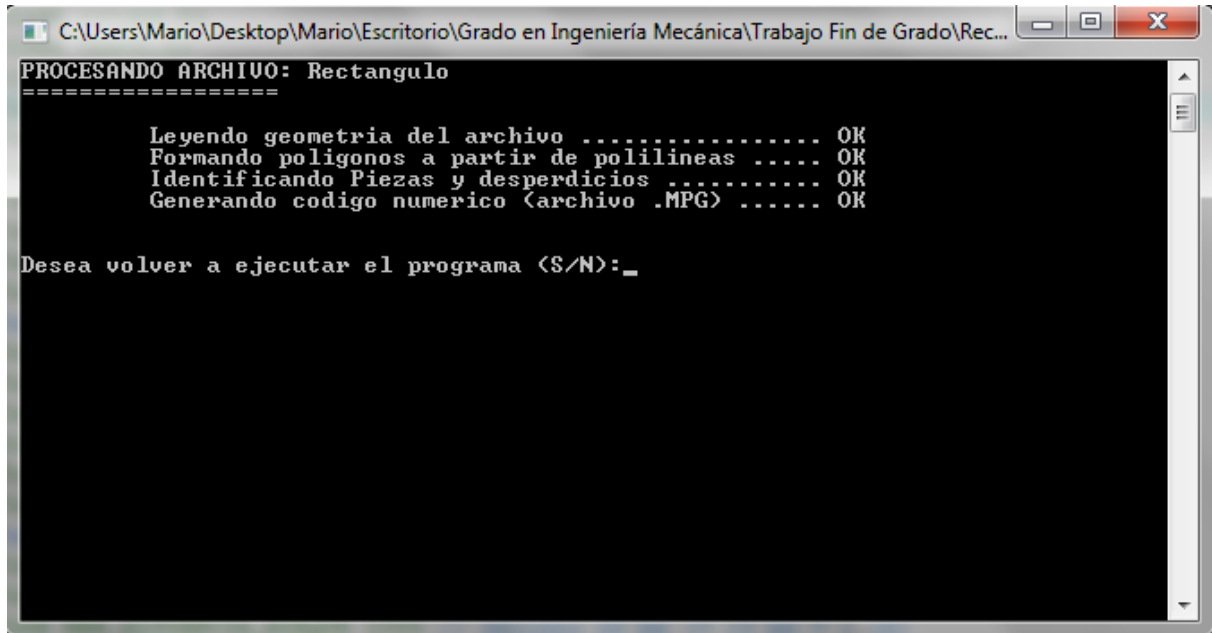
También nos muestra un mensaje de confirmación una vez ha conseguido enlazar todos y cada uno de los puntos formando las distintas geometrías.



```
C:\Users\Mario\Desktop\Mario\Escritorio\Grado en Ingeniería Mecánica\Trabajo Fin de Grado\Rec...
PROCESANDO ARCHIVO: Rectangulo
=====
Leyendo geometria del archivo ..... OK
Formando poligonos a partir de polilineas ..... OK
Identificando Piezas y desperdicios ..... OK
Generando codigo numerico (archivo .MPG) .....
```

Ilustración 19: Mensaje de comprobación de la identificación de las piezas y desperdicios en el programa CNC Creator.

A continuación nos muestra un mensaje cuando se ha realizado la identificación de piezas y desperdicios de forma satisfactoria.



```
C:\Users\Mario\Desktop\Mario\Escritorio\Grado en Ingeniería Mecánica\Trabajo Fin de Grado\Rec...
PROCESANDO ARCHIVO: Rectangulo
=====
Leyendo geometria del archivo ..... OK
Formando poligonos a partir de polilineas ..... OK
Identificando Piezas y desperdicios ..... OK
Generando codigo numerico (archivo .MPG) ..... OK

Desea volver a ejecutar el programa (S/N):_
```

Ilustración 20: Mensaje de comprobación de la generación de forma correcta del archivo con el código numérico con extensión .mpg en el programa CNC Creator.

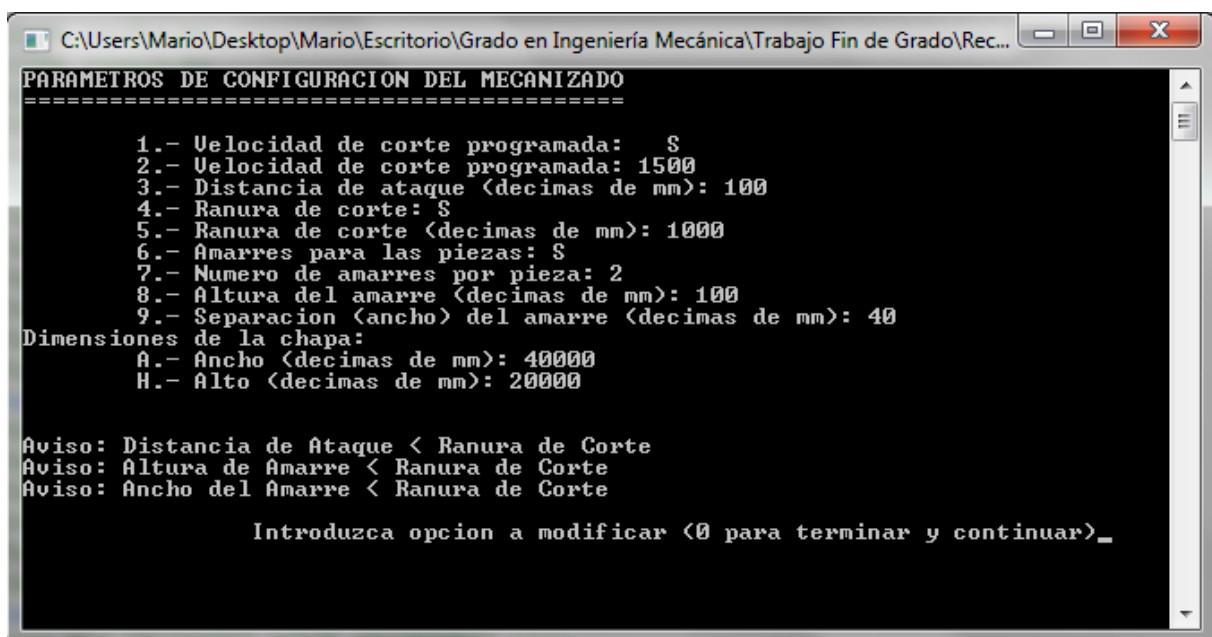
Por último, nos mostrará un mensaje de validación cuando se haya generado el código numérico de forma correcta.

Para volver a obtener el código numérico de otra pieza o de la misma pero modificando algunos parámetros pulsaremos la tecla *S* mientras que si deseamos finalizar la ejecución del programa deberemos pulsar la tecla *N*. Hay que tener cierta precaución, puesto que los archivos que contengan el mismo nombre los sobrescribe de forma automática sin realizar ninguna pregunta, por tanto si queremos obtener distintos códigos numéricos con distintos parámetros de una misma pieza tendremos que cambiarle el nombre al archivo conforme se vaya generando el código. El archivo que obtendremos tendrá un formato .mpg, apto para la máquina de oxicorte.

2.1.4. Dudas frecuentes y mensajes de error:

2.1.4.1. Mensaje de advertencia relativo a la ranura de corte:

Este mensaje nos da un aviso debido a que la ranura de corte es mayor que la distancia de ataque, que la altura del amarre o que el ancho del amarre. Esto no supone un grave problema debido a que se podrá generar el código numérico sin dificultad pero a la hora de introducir éste en la máquina de oxicorte es posible que la ranura de corte que habíamos programado no la haga como queríamos, dándonos resultados distintos al esperado en los amarres y/o en los ataques. Esto se debe a que en el tramo que se deja sin cortar en el amarre no se aplica compensación, y si ésta es mayor que el amarre, cuando el soplete se dirija cortando hacia el inicio del amarre estaría violando la condición establecida en la ranura.



```

C:\Users\Mario\Desktop\Mario\Escritorio\Grado en Ingeniería Mecánica\Trabajo Fin de Grado\Rec...
PARAMETROS DE CONFIGURACION DEL MECANIZADO
=====
1.- Velocidad de corte programada: S
2.- Velocidad de corte programada: 1500
3.- Distancia de ataque <decimas de mm>: 100
4.- Ranura de corte: S
5.- Ranura de corte <decimas de mm>: 1000
6.- Amarres para las piezas: S
7.- Numero de amarres por pieza: 2
8.- Altura del amarre <decimas de mm>: 100
9.- Separacion <ancho> del amarre <decimas de mm>: 40
Dimensiones de la chapa:
A.- Ancho <decimas de mm>: 40000
H.- Alto <decimas de mm>: 20000

Aviso: Distancia de Ataque < Ranura de Corte
Aviso: Altura de Amarre < Ranura de Corte
Aviso: Ancho del Amarre < Ranura de Corte

Introduzca opcion a modificar <0 para terminar y continuar>_
  
```

Ilustración 21: Mensaje de advertencia relativo a la ranura de corte.

2.1.4.2. Mensaje de error relativo al número de vértices:

Este mensaje nos advierte de un error debido a que hemos excedido el número máximo de vértices permitidos por polígono, ya que si éste es superior a 150 se produciría un error por desbordamiento en memoria. Para evitar esto, lo que produciría que el programa se quedara “colgado”, se muestra un mensaje de error y el usuario deberá modificar la geometría de su diseño para poder obtener el código numérico de la pieza deseada.



Ilustración 22: Mensaje de error en la lectura de las coordenadas.

2.1.4.3. Mensaje de error relativo al número de polígonos:

Al igual que en el caso anterior, cuando la pieza o piezas a mecanizar contengan 150 o más contornos cerrados nos enviará un mensaje de error para evitar el desbordamiento de la memoria y no nos dejará obtener el código numérico de dicha pieza. Para solucionar esto, el usuario deberá de reducir el número de contornos cerrados hasta que sea menor de 150.

2.1.4.4. Mensaje de error relativo a la apertura del archivo:

En este caso se debe a un error en la apertura del archivo. Esto puede ser debido a que hemos escrito de forma incorrecta el nombre del archivo y/o la ruta donde se encuentra ubicado el archivo .tex.



Ilustración 23: Mensaje de error referente a la apertura del archivo.

2.1.5. Estructura de los archivos de entrada y salida:

2.1.5.1. Estructura de un archivo con formato .tex:

A continuación se muestra a modo de ejemplo la estructura de un archivo de entrada al programa *CNC Creator*, con formato .tex, del cual obtiene la información geométrica:

```
%LaTeX with PSTricks extensions
%%Creator: 0.48.3.1
%%Please note this file requires PSTricks extensions
\psset{xunit=.5pt,yunit=.5pt,runit=.5pt}
\begin{pspicture}(7086.61376953,14173.22753906)
{
\newrgbcolor{curcolor}{0 0 0}
\pscustom[linewidth=1,linecolor=curcolor]
{
\newpath
\moveto(1327.4663,3779.91283906)
\lineto(4952.5337,3779.91283906)
```



```
\lineto(4952.5337,1080.08713906)
\lineto(1327.4663,1080.08713906)
\lineto(1327.4663,3779.91283906)
\closepath
}
}
{
\newrgbcolor{curcolor}{0 0 0}
\pscustom[linewidth=1,linecolor=curcolor]
{
\newpath
\moveto(2314.1488,2993.15303906)
\lineto(2290.4892,3112.09783906)
\lineto(2223.1124,3212.93423906)
\lineto(2122.2759,3280.31103906)
\lineto(2003.3312,3303.97053906)
\lineto(1884.3864,3280.31103906)
\lineto(1783.5499,3212.93423906)
\lineto(1716.1731,3112.09783906)
\lineto(1692.5135,2993.15303906)
\lineto(1716.1731,2874.20823906)
\lineto(1783.5499,2773.37183906)
\lineto(1884.3864,2705.99503906)
\lineto(2003.3312,2682.33553906)
\lineto(2122.2759,2705.99503906)
\lineto(2223.1124,2773.37183906)
\lineto(2290.4892,2874.20823906)
\closepath
}
}
\end{pspicture}
```

Como podemos observar se trata de un archivo de texto cuya estructura *newpath* aparece cuando se forma un nuevo polígono. A continuación de esta se muestra la estructura *moveto* que indica la posición del primer vértice del polígono. Después de ésta se van enumerando el listado de puntos de la geometría hasta que surge una nueva estructura, *closepath*. Ésta indica el final del polígono. Decir que, aunque no tenemos en cuenta las geometrías curvas, este archivo se ha mantenido sin vectorizar para mostrar a modo de ejemplo como se definen las curvas mediante la expresión *curveto*. Las coordenadas que se muestran en el archivo son absolutas y las unidades son en píxeles por lo que hay que hacer una conversión para obtener las medidas en milímetros de la pieza que vamos a mecanizar (basta con dividir por 90/25,4). Este factor de escala (obtenido mediante el programa Inkscape y que indica que 90 píxeles equivalen a 25,4 milímetros) lo multiplicamos por 10 para pasar a décimas de milímetro y obtenemos las unidades que estábamos buscando.

2.1.5.2. Estructura de un archivo con formato .mpg:

A continuación se muestra a modo de ejemplo la estructura de un archivo de salida que genera el programa *CNC Creator*, con formato .mpg, para dar las distintas órdenes y movimientos a la máquina de oxicorte. Como se puede observar, en el lado derecho de cada función hay un comentario entre paréntesis que la explica:

3	(Activa un comentario en el display de la máquina)
Mario - Play Station.mpg	
4	(Desactiva el comentario del display de la máquina)
82	(Activa coordenadas relativas)
39+1400	(Velocidad de corte programada: 1400 mm/min)
40+100	(Valor de la ranura de corte: 10 mm)
5	(Activa el movimiento rápido sin corte del soplete)
+10379+12655	(Movimiento lineal).
6	(Desactiva el movimiento rápido sin corte del soplete)
30	(Activa la compensación a derechas de la ranura de corte)
7	(Activa el movimiento de corte del soplete)
+0+50	
+2494+0	

-2494+4384
-1228-2157
-69+39
8 (Desactiva el movimiento de corte del soplete)
38 (Desactiva la compensación a derechas de la ranura de corte)
5
-40-69
6
30
7
-51+62
+660+551
+1382-1154
+1169+0
-1966+1642
+2097+1751
-1300+0
-723-604
-33+38
8
38
63 (Final del programa)

2.1.6. Ejemplos, comparaciones y problemas resueltos:

En esta sección se van a exponer una serie de ejemplos de códigos numéricos obtenidos con nuestro programa creado, *CNC Creator*, comparándolos con el que obtendríamos con el programa de licencia de pago que actualmente se emplea en la Universidad de Almería para realizar las prácticas de algunas asignaturas, el programa *Lantek Expert*. También se podrán visualizar algunas imágenes del panel de control de la máquina de oxicorte que muestra nuestro diseño. Así mismo comentaremos algunos problemas que han ido surgiendo como podremos comprobar y las soluciones que se han dado.

En primer lugar vamos a realizar las comparativas de los códigos numéricos para el primer ejemplo, *Play Station*:

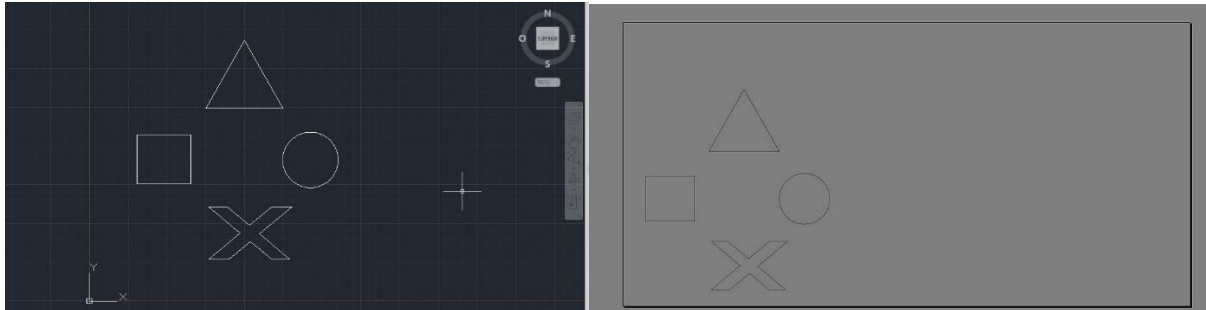


Ilustración 24: A la izquierda el diseño de la geometría en AutoCAD y a la derecha en Inkscape.

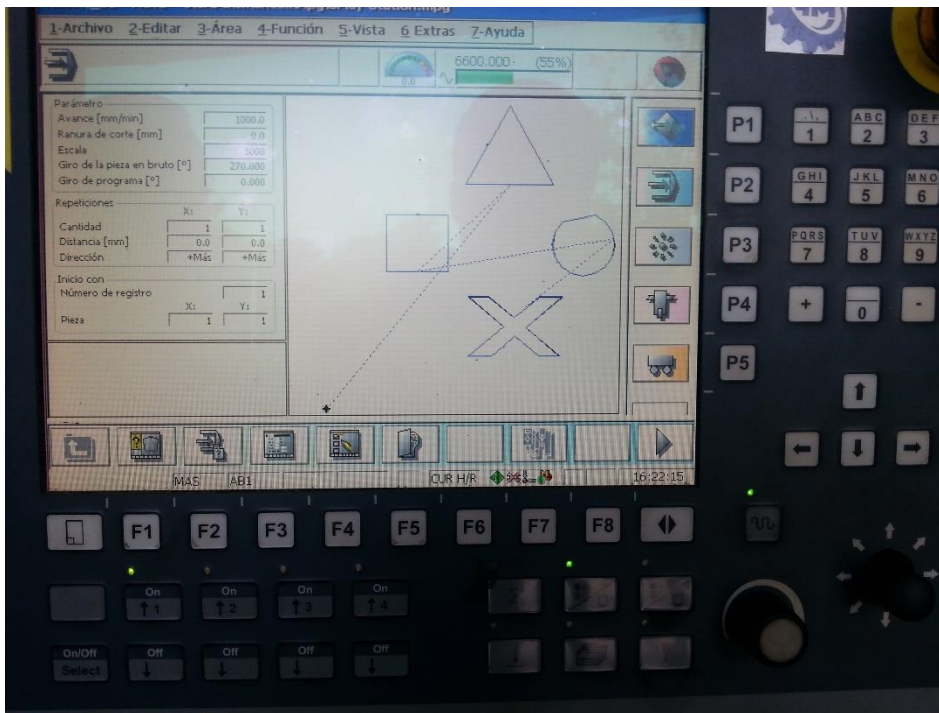


Ilustración 25: Resultado final del diseño en el panel de control de la máquina de oxicorte.

<i>CNC Creator:</i>	<i>Lantek Expert:</i>
3	3
Mario - Play Station.mpg	Pruebas_Play Station
4	4

82	82
39+1400	39+1500
40+10	5
5	+12974+4577
+10379+12655	6
6	30
30	7
7	-198+27
+0+50	+1021+7380
+2494+0	-1369+3177
-2494+4384	+184+79
-1228-2157	8
-69+39	38
8	5
38	-60+138
5	6
-40-69	30
6	7
30	-184-79
7	-1870+4339
+70-40	-615-6257
-1228-2157	-2684+0
+0+0	+0-2570
+2495+0	-2125+2681
+0-50	+3467+3967
8	-3300+4190
38	-559-3911
5	-1174-4972
-5200-4885	+3691-6090
6	-3467-1396
30	-1790+6089
7	-1454-6592
+0+50	+887-1452

+1725+0	-171-104	
+0+3170	8	
-1685+0	38	
+0+80	5	
8	+79-128	
38	6	
5	30	
-80+0	7	
6	+170+104	
30	+1663-2722	
7	+9227+1005	
+0-80	+434+3129	
-1686+0	+19-2	
+0-3170	8	
+1726+0	38	
+0-50	5	
8	-1023+4338	
38	6	
5	29	
+11237+1960	7	
6	-172+102	
30	-2263+1346-1131+674+	(Movimiento
7	Circular)	
-49-10	+2265-1342+1132-672+	
-69+343	+38+27+48-28-	
-388+582	8	
-582+388	38	
-1953-388	5	
-389-582	-2455-4210	
-136-686	6	
+136-686	29	
+172-257	7	
-66-45	-181-84	

8	-1980-923-991-460+
38	+1978+927+989+463+
5	-1+46+50+24-
+44-66	8
6	38
30	63
7	
+67+44	
+172-257	
+581-389	
+686-136	
+686+136	
+582+389	
+388+581	
+137+686	
-68+343	
+49+10	
8	
38	
5	
-5035-3922	
6	
30	
7	
+33-38	
-724-605	
-1448+1209	
-1169+0	
+2032-1696	
-2032-1697	
+1301+0	
+660+551	
+51-61	

8	
38	
5	
+61+51	
6	
30	
7	
-51+62	
+660+551	
+1382-1154	
+1169+0	
-1966+1642	
+2097+1751	
-1300+0	
-723-604	
-33+38	
8	
38	
63	

Como podemos comprobar ambos archivos tienen casi la misma estructura salvo por pequeños detalles. En el primero movimiento localizado entre las órdenes 5 y 6 se indica la posición del primer ataque, y es diferente porque en *Lantek Expert* se puso a manualmente (sin tener en cuenta el tamaño y posición) y con *CNC Creator* se hace perpendicular al contorno y con la distancia X. Ambos tienen la velocidad de mecanizado, un título con el nombre del programa y activan las coordenadas relativas. Decir que en el archivo generado por el *Lantek Expert* no contiene el valor de la ranura de corte. Además éste contiene compensación de la ranura de corte tanto a derechas (30) como a izquierdas (29). En el programa *CNC Creator* la compensación de la ranura de corte la realiza siempre a derechas, puesto que hemos tenido como criterio para una mayor simplicidad mantener dicha compensación siempre mecanizando en sentido anti horario las piezas y en sentido horario los desperdicios. Decir también que en el archivo generado por el *Lantek Expert* tenemos también movimientos de corte de geometrías curvas, los cuales se indican mediante las coordenadas del punto final y las coordenadas del

centro respecto del punto inicial. Como podemos observar el código generado por el *CNC Creator* es mucho más extenso que el del *Lantek Expert*, un hecho que puede deberse a que al tener que vectorizar las geometrías en el primero, se obtienen un mayor número de puntos.

En cuanto a la imagen del panel de control de la máquina se pueden observar dos errores importantes:

Primero, podemos ver la importancia que tiene vectorizar de forma correcta las geometrías curvas ya que la máquina no las reconoce y en este caso cerró el polígono mediante un segmento rectilíneo.

En segundo lugar podemos ver lo que comentamos en la sección anterior, la importancia de que el valor de la ranura de corte se menor que las dimensiones de los amarres y los ataques, puesto que como podemos comprobar los hace forma incorrecta. La geometría de color negro es nuestra pieza, nuestro diseño, y la de color azul es la que realiza el soplete haciendo la compensación de la ranura de corte. Se puede comprobar fácilmente que cuando va a mecanizar los amarres o los ataques los hace hacia dentro, de forma incorrecta. Esto no sucedería si el valor de la ranura de corte fuese menor que las dimensiones de los ataques y amarres.

Veamos otro ejemplo, *Sol*:

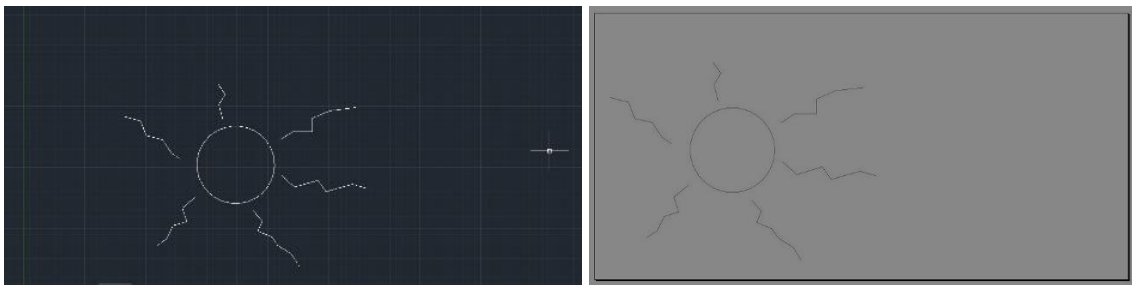


Ilustración 26: A la izquierda el diseño en AutoCAD y a la derecha en Inkscape.

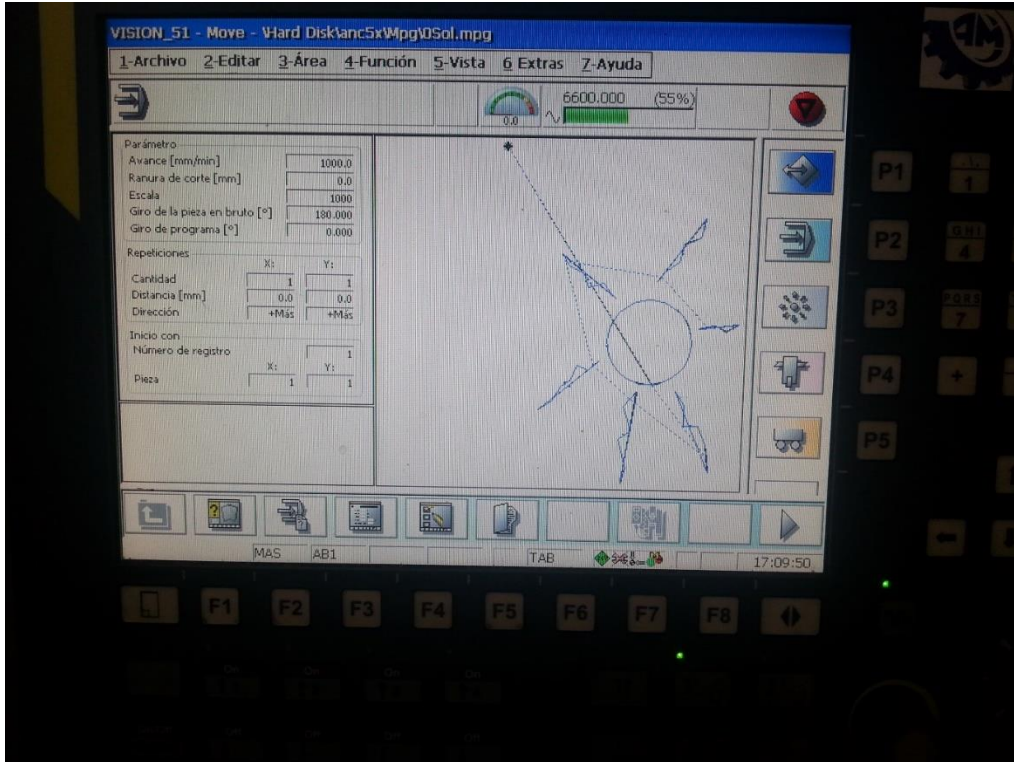


Ilustración 27: Resultado final en el panel de control de la máquina de oxicorte.

<i>CNC Creator</i>	<i>Lantek Expert</i>
3	3
Mario - Sol.mpg	pruebas_Sol
4	4
82	82
40+15	39+1500
5	5
+17492+11058	+10799+14092
6	6
30	30
7	7
-84-8	-95-176
-31+308	-3001-5578-1502-2788+
-180+595	+2996+5581+1499+2790+

-293+547	-27+37+26+48-
-394+480	8
-480+394	38
-547+293	5
-595+180	-10646+1107
-618+61	6
-617-61	7
-595-180	+1383-359
-547-293	+470-1216
-480-394	+1300-304
-184-225	+747-1105
-78+64	+719-470
8	8
38	5
5	-1881-7046
-25-31	6
6	7
30	+774+498
7	+550+1085
+77-63	+1082+351
-184-225	-359+1106
-293-547	+1078+884
-180-595	8
-61-617	5
+61-618	+8466-5611
+180-594	6
+293-548	7
+394-480	-608+967
+480-394	-1106+690
+547-293	-483+690
+595-180	-1149+499
+617-61	+359+829
+289+29	-719+801

+10-100	8
8	5
38	+9294+1857
5	6
+40+4	7
6	-1162+332
30	-2185-608
7	-663+939
-10+99	-1909-580
+289+29	-1078+967
+595+180	8
+547+293	5
+480+394	+6084+5554
+394+480	6
+293+548	7
+180+594	-2120-253
+61+618	-1411-616
-30+309	+0-1101
+84+8	-1631+0
8	-1014-661
38	8
5	5
+5536+4326	-5085+4513
6	6
30	7
7	+553-829
+10-84	-497-829
-1060-127	+304-1216
-1411-616	8
+0-531	63
-100+0	
8	
38	

5	
+0-40	
6	
30	
7	
+100+0	
+0-531	
-1631+0	
-490-319	
-55+84	
8	
38	
5	
-33-22	
6	
30	
7	
+54-84	
-490-319	
+6176+2631	
-1060-126	
-10+84	
8	
38	
5	
-4531-6059	
6	
30	
7	
+57+64	
+539-484	
+1908+580	
+320-453	

-81-58	
8	
38	
5	
+23-33	
6	
30	
7	
+82+58	
+320-453	
+2184+608	
+562-161	
-28-96	
8	
38	
5	
+39-11	
6	
30	
7	
+27+97	
+562-161	
-6997+1050	
+540-483	
-57-64	
8	
38	
5	
-2483-2818	
6	
30	
7	
+64+57	

+359-401	
-360-829	
+1149-498	
+230-329	
-82-57	
8	
38	
5	
+23-33	
6	
30	
7	
+82+58	
+230-329	
+1106-690	
+609-968	
-1840+2223	
+77+64	
8	
38	
5	
-26+31	
6	
30	
7	
-77-64	
-1840+2223	
+0+0	
+360-401	
-64-57	
8	
38	
5	

-7749-2154	
6	
30	
7	
-45+72	
+387+248	
+550+1085	
+521+170	
+31-95	
8	
38	
5	
+38+12	
6	
30	
7	
-30+95	
+521+170	
-359+1106	
+524+429	
+63-77	
8	
38	
5	
+31+25	
6	
30	
7	
-64+78	
+524+429	
-3125-3924	
+388+249	
+45-72	

8	
38	
5	
+1135+7175	
6	
30	
7	
-46-71	
-360+235	
-747+1105	
-631+147	
+23+98	
8	
38	
5	
-39+9	
6	
30	
7	
-22-97	
-631+147	
-470+1216	
-672+174	
+25+97	
8	
38	
5	
-39+10	
6	
30	
7	
-25-96	
-672+174	

+4619-3454	
-359+235	
+46+71	
8	
38	
5	
+3727+3535	
6	
30	
7	
-82-21	
-152+608	
+498+829	
-266+398	
+83+55	
8	
38	
5	
-22+34	
6	
30	
7	
-83-56	
-266+398	
+360-2874	
-152+608	
+82+21	
8	
38	
63	

En este caso sucede igual que en el anterior: la estructura es muy similar. Pero en éste se acentúa aún más si cabe la diferencia del tamaño del código numérico generado entre ambos programas. Para poder comprender de forma más sencilla esta problemática nos ayudaremos de forma visual con la ilustración del panel de la máquina de oxicorte que explicaremos después. Como podemos ver el problema radica en que las polilíneas abiertas el programa las cerraba, conectando el primer punto con el último. Esto era porque se estableció la condición de que toda geometría abierta se cerraría de forma automática debido a que, en un primer momento, no se le veía sentido a mecanizar este tipo de geometrías. Sin embargo, realizando más pruebas pasado un tiempo se planteó la posibilidad de mecanizar este diseño con fines decorativos y se corrigió la programación realizada inicialmente.

Continuamos con el siguiente ejemplo, *Pieza 1*:

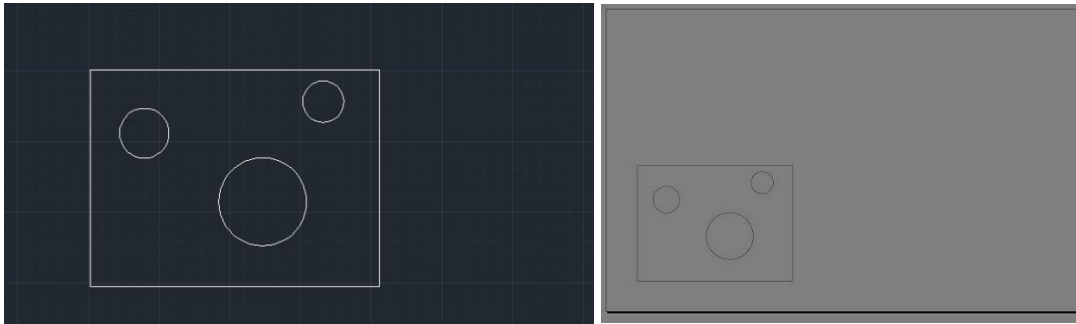


Ilustración 28: A la izquierda la geometría realizada en AutoCAD y a la derecha importada en Inkscape.

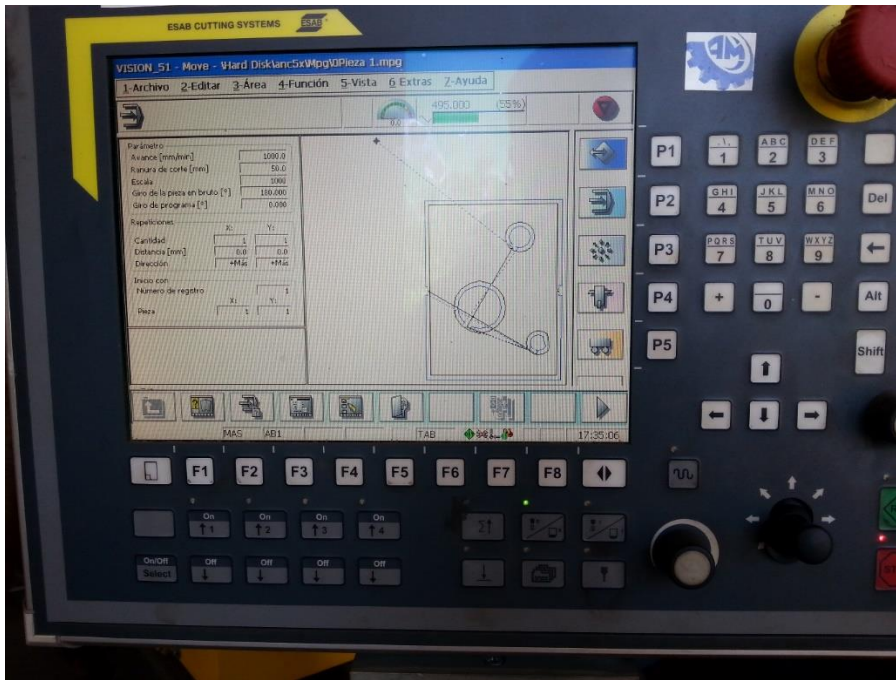


Ilustración 29: Resultado final en el panel de control de la máquina de oxicorte.

<i>CNC Creator</i>	<i>Lantek Expert</i>
3	3
Mario - Pieza 1.mpg	pruebas_Pieza1
4	4
82	82
39+950	39+1500
40+10	5
5	+3563+6365
+6294+8019	6
6	29
30	7
7	+196+39
+75-49	-1721-340-861-169+
-95-143	+1720+344+860+171+
-284-190	-29+39-54-10+
-336-67	8

-336+67	38
-284+190	5
-191+285	+6016+980
-66+335	6
+66+336	29
+191+285	7
+284+190	+198+30
+336+67	-1440-216-720-107+
+336-67	+1439+221+720+109+
+284-190	-28+39-54-9+
+190-285	8
+67-336	38
-67-335	5
-95-142	-1512-3989
-75+49	6
8	29
38	7
5	+195-45
+4738-2784	-3027+702-1513+352+
6	+3028-697+1514-350+
30	-10+46-54+12+
7	8
+75-50	38
-169-252	5
-504-337	-4000-2882
-595-118	6
-594+118	29
-504+337	7
-337+504	+0+200
-118+594	-3597+0
+118+595	+0+4603
+337+504	-200+0
+504+337	8

+594+118	38
+595-118	5
+504-337	+0+150
+337-504	6
+118-595	29
-118-594	7
-168-252	+200+0
-75+50	+0+2866
8	+10231+0
38	+0-3449
5	+200+0
+1465+3981	8
6	38
30	5
7	+0-150
+75-50	6
-79-118	29
-236-158	7
-279-56	-200+0
-278+56	+0-4020
-236+158	-6639+0
-158+236	+0-20
-55+278	8
+55+279	38
+158+236	63
+793+158	
+236-158	
+158-236	
+55-279	
-55-278	
-79-118	
-75+50	
8	

38	
5	
-3635-6258	
6	
30	
7	
+0+90	
+5115+0	
+0+7620	
-5075+0	
+0+95	
8	
38	
5	
-80+0	
6	
30	
7	
+0-95	
-5076+0	
+0-7620	
+5116+0	
+0-90	
8	
38	
63	

Al igual que en los casos anteriores se puede ver que la estructura del archivo es muy similar, teniendo prácticamente las mismas funciones. El archivo con el código numérico generado con el programa *CNC Creator* es más extenso debido a lo que ya hemos comentado anteriormente: este diseño se encuentra vectorizado mientras que el otro no, transformando las geometrías curvas en rectilíneas y obteniendo por tanto un mayor número de puntos con más trayectorias.

Como podemos observar claramente en la imagen del panel de control de la máquina, nos vuelve a suceder el mismo problema que en ocasiones anteriores: el valor de la ranura de corte es mayor que las dimensiones de amarres y ataques por lo que los realiza de forma incorrecta hacia dentro. Además una de las circunferencias no ha sido vectorizada de forma correcta con la consecuente diferencia respecto de nuestro diseño original.

Proseguimos con la exposición de ejemplos, *dibujo2*:

<i>CNC Creator</i>	<i>Lantek Expert</i>
3	3
Mario - ejemplos/dibujo2.mpg	Pruebas_dibujo2
4	4
82	82
39+1500	39+1500
40+20	5
5	+12974+4577
+12532+7908	6
6	30
30	7
7	-198+27
+84-55	+1021+7380
-119-178	-1369+3177
-354-237	+184+79
-418-83	8
-418+83	38
-355+237	5
-236+355	-60+138
-83+418	6
+83+418	30
+236+354	7
+355+237	-184-79
+418+83	-1870+4339

+418-83	-615-6257
+354-237	-2684+0
+237-354	+0-2570
+83-418	-2125+2681
-83-418	+3467+3967
-118-177	-3300+4190
-84+55	-559-3911
8	-1174-4972
38	+3691-6090
5	-3467-1396
+2638+5276	-1790+6089
6	-1454-6592
30	+887-1452
7	-171-104
+84-55	8
-143-214	38
-427-286	5
-504-100	+79-128
-503+100	6
-427+286	30
-286+427	7
-100+503	+170+104
+100+504	+1663-2722
+286+427	+9227+1005
+427+286	+434+3129
+503+100	+19-2
+504-100	8
+427-286	38
+285-427	5
+101-504	-1023+4338
-101-503	6
-142-213	29
-84+55	7

8	-172+102
38	-2263+1346-1131+674+
5	+2265-1342+1132-672+
-7462+6215	+38+27+48-28-
6	8
30	38
7	5
+97-22	-2455-4210
-587-2487	6
+3691-6090	29
-3467-1396	7
-1790+6090	-181-84
-1454-6593	-1980-923-991-460+
+2629-4302	+1978+927+989+463+
+4594+501	-1+46+50+24-
+10-100	8
8	38
38	63
5	
+40+5	
6	
30	
7	
-11+99	
+4594+501	
+1454+10503	
-3300+7654	
-615-6257	
-2684+0	
+0-2570	
-1050+1325	
+78+62	
8	

38	
5	
-25+32	
6	
30	
7	
-78-62	
-1050+1325	
+3467+3966	
-3299+4191	
-560-3911	
-587-2486	
-97+22	
8	
38	
63	

Se trata de la misma comparativa que en los ejemplos expuestos anteriormente. A continuación vamos a visualizar una serie de ejemplos del banco de pruebas que disponemos propios del *CNC Creator*, esta vez sin comparativa.

Ejemplo *Mario*:

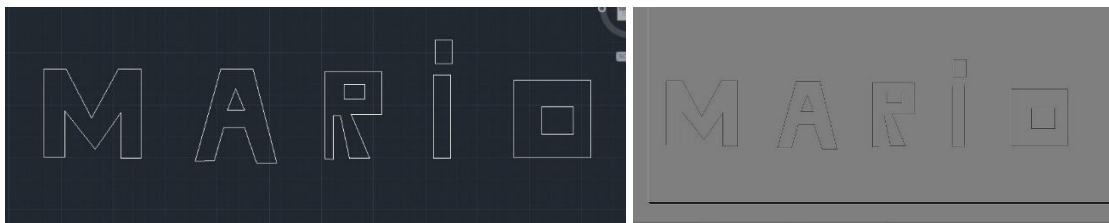


Ilustración 30: A la izquierda el diseño realizado en AutoCAD y a la derecha importado en Inkscape.

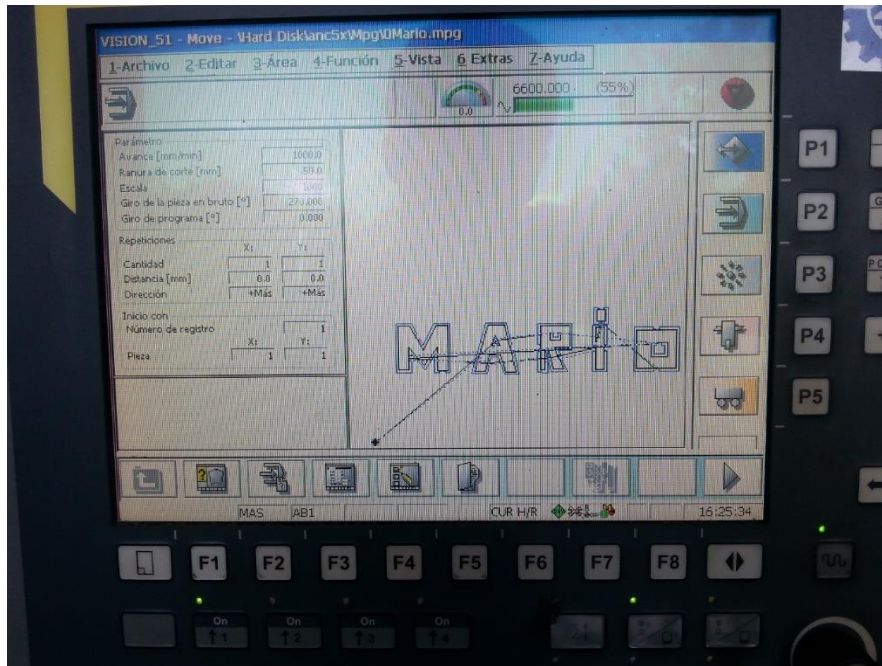


Ilustración 31: Resultado final en el panel de control de la máquina de oxicorte.

3

Mario - Mario.mpg

4

82

40+15

5

+11788+9738

6

30

7

+74+29

+208-526

-832+0

+416+1052

+208-526

-74-29

8

38

5

+5557+666

6

30

7

+0+80

+500+0

+0-695

-1001+0

+0+695

+501+0

+0-80

8

38

5

+9756-1057

6

30

7

+0+80

+764+0

+0-1330

-1529+0

+0+1330

+765+0

+0-80

8

38

5

-23593-1231

6

30

7

-80+0

+0+1099

+1467-1819

+1223+1737

+0-2172

+439+0

+0-100

8

38

5

+100+0

6

30

7

+0+100

+439+0

+0+4262

-1087+0

-1277-2334

-601+1123

+88+47

8

38

5

-47+88

6

30

7

-89-47

-601+1123

-1060+0

+0-4207

+1006+0

+0+1100

+80+0

8

38

5

+7412-513

6

30

7

-77+22

+219+784

+1008+0

+570-1663

+964+0

-557+2185

+97+24

8

38

5

-25+97

6

30

7

-97-25

-557+2185

-1534+0

-1227-4379

+919+7

+220+785

+77-22

8

38

5

+5504+347

6

30

7

-80+0

+0+1034

+330+0

+439-2015

+972+0

-422+992

+92+40

8

38

5

-40+92

6

30

7

-92-39

-422+992

+1459+0

+0+2076

-2741+0

+0-2048

-100+0

8

38

5

+0-100

6

30

7

+100+0

+0-2049

+425-10

+0+1035

+80+0

8

38

5

+4629+995

6

30

7

+80+0

+0-1988

+835+0

+0+1938

+100+0

8

38

5

+0+100

6

30

7

-100+0

+0+1937

-835+0

+0-1987

-80+0

8

38

5

+594+2458

6

30

7

+0+80

+415+0

+0+1112

-365+0

+0+100

8

38

5

-100+0

6

30

7

+0-100

-365+0

+0-1112

+415+0

+0-80

8

38

5

+5198-4489

6

30

7

+0+80

+1841+0

+0+3678

-1791+0

+0+100

8

38

5

-100+0

6

30

7

+0-100

-1791+0

+0-3678

+1841+0

+0-80

8

38

63

Ejemplo *Polígonos*:

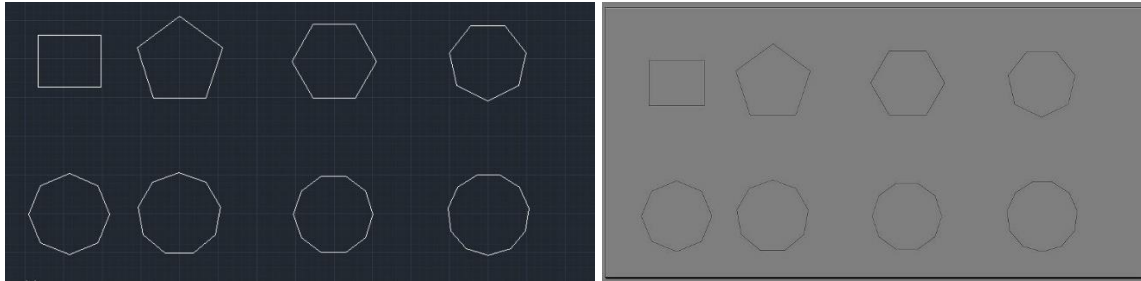


Ilustración 32: A la izquierda el diseño realizado en AutoCAD y a la derecha importado en Inkscape.

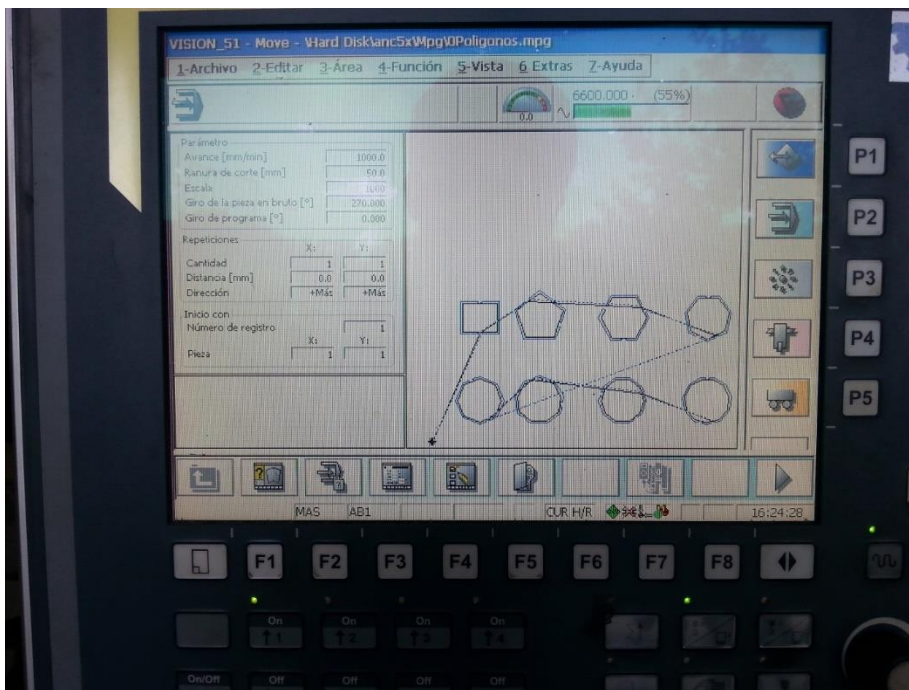


Ilustración 33: Resultado final en el panel de control de la máquina de oxicorte.

3

Mario - Poligonos.mpg

4

82

40+20

5

+5726+13053

6

30

7

+0+100

+2035+0

+0+3374

-2015+0

+0+100

8

38

5

-40+0

6

30

7

+0-100

-2016+0

+0-3374

+2036+0

+0-100

8

38

5

+5719+3770

6

30

7

+59-81

-1382-1004

+1055-3249

+3416+0

+521+1605

+95-30

8

38

5

+13+38

6

30

7

-95+31

+521+1605

-2763+2008

-1381-1004

-59+81

8

38

5

+13595-741

6

30

7

-87-50

-688+1192

-2752+0

-678-1175

-87+50

8

38

5

-20-34

6

30

7

+87-50

-678-1175

+1376-2383

+1356+0

+0-100

8

38

5

+40+0

6

30

7

+0+100

+1356+0

+1376+2383

-688+1192

+87+50

8

38

5

+8829-3393

6

30

7

-43+91

+995+479

+492+2155

-1378+1728

-1085+0

+0+100

8

38

5

-40+0

6

30

7

+0-100

-1085+0

-1378-1728

+492-2155

+977-471

-43-90

8

38

5

+36-17

6

30

7

+44+90

+977-471

+0+0

+996+480

+43-91

8

38

5

-27178-10055

6

30

7

-38+92

+927+384

+768+1855

-768+1855

-1854+768

-909-376

-38+92

8

38

5

-37-15

6

30

7

+38-93

-909-376

-768-1855

+768-1855

+1855-768

+927+384

+38-92

8

38

5

+5261+4802

6

30

7

+34-94

-865-315

-921-1595

+320-1813

+690-579

-65-77

8

38

5

+31-25

6

30

7

+64+76

+690-579

+1842+0

+1410+1184

+157+887

+98-18

8

38

5

+7+40

6

30

7

-99+17

+157+887

-921+1595

-1730+630

-865-315

-34+94

8

38

5

+13310-1682

6

30

7

-95-30

-247+758

-1290+938

-1596+0

-1290-938

-240-739

-95+30

8

38

5

-13-38

6

30

7

+95-31

-240-739

+493-1517

+1290-938

+1596+0

+629+457

+59-81

8

38

5

+32+24

6

30

7

-59+81

+629+457

+493+1517

-246+759

+95+30

8

38

5

+8353-3315

6

30

7

-28+96

+714+209

+974+1124

+212+1473

-618+1353

-1252+804

-724+0

+0+100

8

38

5

-40+0

6

30

7

+0-100

-724+0

-1251-804

-618-1353

+211-1473

+975-1124

+694-204

-28-96

8

38

5

+39-11

6

30

7

+28+96

+694-204

+0+0

+714+210

+28-96

8

38

63

Por último, para ir concluyendo esta parte, vamos a exponer un ejemplo en el que se llevó a cabo el mecanizado en la máquina de oxicorte. Se trata de una pieza muy sencilla (un cuadrado de dimensiones 20 x 20 cm). Fue mecanizada solamente esta pieza y una réplica de ésta debido a las limitaciones de recursos de chapa de hierro que disponía. El motivo por el que se hizo por duplicado esta operación fue para comprobar si la máquina hacía de forma correcta la compensación de la ranura de corte y el valor de la misma. El código numérico obtenido mediante el programa *CNC Creator* para el diseño con una ranura de 18 mm es el siguiente:

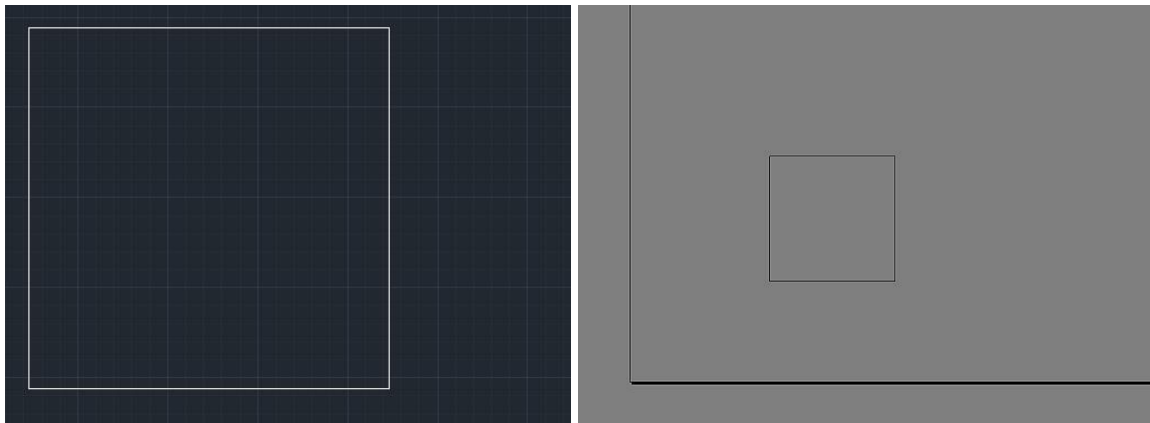


Ilustración 34: A la izquierda el diseño realizado en AutoCAD y a la derecha importado en Inkscape.

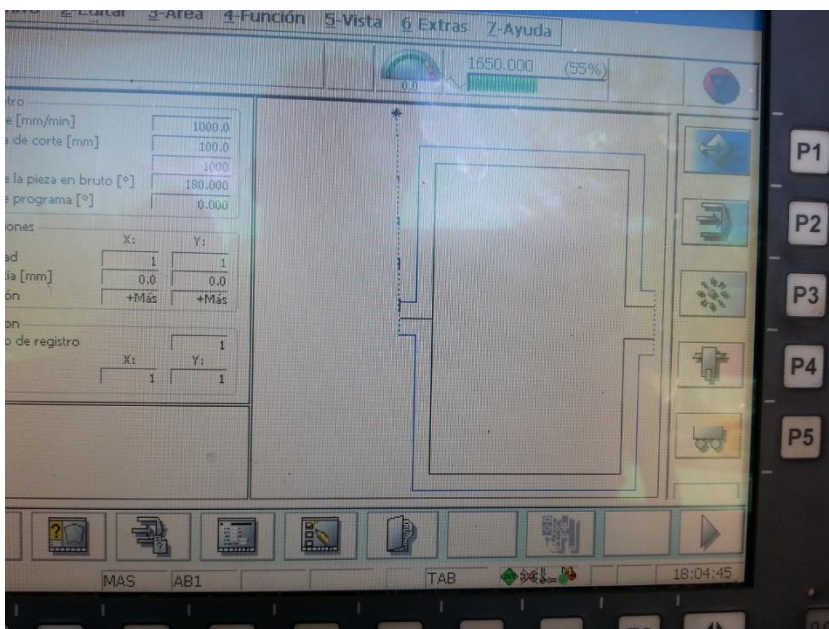


Ilustración 35: Resultado final en el panel de control de la máquina de oxicorte.

3

Mario - Rectangulo.mpg

4

82

39+1500

40+180

5

+1793+610

6

30

7

+0+200

+1000+0

+0+2000

-900+0

+0+200

8

38

5

-200+0

6

30

7

+0-200

-900+0

+0-2000

+1000+0

+0-200

8

38

63

Por otro lado, el obtenido sin valor de la ranura de corte (se le prefija dicho valor en la máquina) es el siguiente:

3

Mario - Rectangulo.mpg

4

82

39+1500

5

+1793+610

6

30

7

+0+200

+1000+0

+0+2000

-900+0

+0+200

8

38

5

-200+0

6

30

7

+0-200

-900+0

+0-2000

+1000+0

+0-200

8

38

63

Como podemos observar se trata del mismo código numérico que el anterior con la pequeña diferencia de que en el inicio no escribe el valor de la ranura de corte (función 40).

En este caso final, podemos comprobar que una vez introducidos de forma correcta los valores de los amarres, ataques y ranura de corte sí se mecaniza de forma correcta, puesto que el ataque y el amarre se encuentran hacia afuera. En la siguiente imagen se puede ver el resultado del mecanizado en chapa de hierro:



Ilustración 36: Resultado del mecanizado en chapa de hierro de un ejemplo cuyo código numérico ha sido obtenido con el programa CNC Creator.

Podemos distinguir que se han producido unas rebabas y además hay una zona en la esquina superior izquierda que no se ha llegado a mecanizar. Las rebabas son normales en el proceso de oxicorte ya que se produce la combustión del hierro, expulsando partículas líquidas que solidifican rápidamente. En el caso de las zonas sin mecanizar se deben a que se ha empleado una velocidad superior, sin llegar a alcanzar la temperatura de ignición y produciéndose micro soldaduras que impiden su mecanizado. Durante el mecanizado de la pieza en la máquina de oxicorte se estuvo regulando de forma manual la velocidad de corte a medida que el soplete iba cortando la chapa, motivo por el cual quedó esa zona sin cortar.

Para finalizar, señalar que una vez se mecanizó la chapa, se dejó enfriar durante unos minutos sobre la mesa de trabajo al aire y posteriormente se trasladó al suelo del exterior de la nave para llevar a cabo una serie de mediciones, comprobando que efectivamente, el valor de la ranura de corte era el esperado.

3. Planos: arquitectura del programa:

En esta sección se van a tratar una serie de apartados, tales como análisis del problema, diseño, codificación y arquitectura del programa.

3.1. Análisis:

Como bien hemos comentado en apartados anteriores, tenemos que hacer un diseño con una geometría que se vectorizará con el programa Inkscape y a partir del cual se generará un archivo con extensión .tex. A partir de aquí el problema que se nos plantea es la construcción de un programa al que se le introduzca una información de entrada que es la geometría del diseño en el ya mencionado archivo de texto con extensión .tex y que traduzca dicha información a otra que contenga órdenes de movimientos y corte (código numérico) generando un archivo de texto de salida con formato .mpg que la máquina de oxicorte pueda procesar. Las tareas que tendrá que realizar el programa que construyamos de manipulación de la información son las siguientes:

- Leer archivo de texto .tex.
- Leer segmentos lineales que forman los polígonos y las polilíneas abiertas, lo que en definitiva es leer las coordenadas de los puntos contenidas en nuestro archivo de entrada.
- Conectar los puntos para formar las polilíneas abiertas y los polígonos.
- Identificar en nuestro diseño qué es pieza y qué es desperdicio de forma correcta.
- Generar código numérico, el cual contendrá las órdenes de movimientos y cortes que procesará la máquina de oxicorte. Para que esto último sea posible habrá que tener especial cuidado en usar los comandos o funciones que la máquina pueda interpretar.
- Escribir un archivo de texto con extensión .mpg que contenga el código numérico para la máquina.


```
float x;

float y;

}tipo_punto2df;

typedef struct{

    char pvcp; /* Pregunta Velocidad de Corte Programada (S/N)? */

    int vcp; /* Velocidad de Corte Programada */

    int da; /* Distancia de Ataque (décimas de mm) */

    char prc; /* Pregunta si desea fijar ranura de corte */

    int rc; /* Ranura de corte (décimas de mm) */

    char pa; /* Pregunta si desea amarres para las piezas */

    int na; /* Numero de Amarres por pieza */

    int aa; /* Altura del Amarre (décimas de mm) */

    int sa; /* Separación (ancho) del Amarre (décimas de mm) */

    tipo_punto2d chapa; /* Dimensiones de la chapa */

}tipo_cfg; /* Valores de configuración del mecanizado */

typedef tipo_punto2d tipo_coord[N];

typedef struct{

    char tipo; /* P: pieza, D: desperdicio (agujero), 1: polígono, 0: no polígono*/

    int n; /* número de vértices */

    tipo_coord v; /* vector con las coordenadas de los vértices */

}tipo_poligono;
```

```
typedef tipo_poligono tipo_tabla[MAX]; /* tabla de polígonos/cortes */
```

3.2.1.2. Arquitectura del programa:

Una vez definidas las nuevas tipologías de datos procedemos a exponer de forma esquematizada en la siguiente página la estructura del programa representada mediante los módulos de los que se compone, o lo que es lo mismo, su arquitectura.

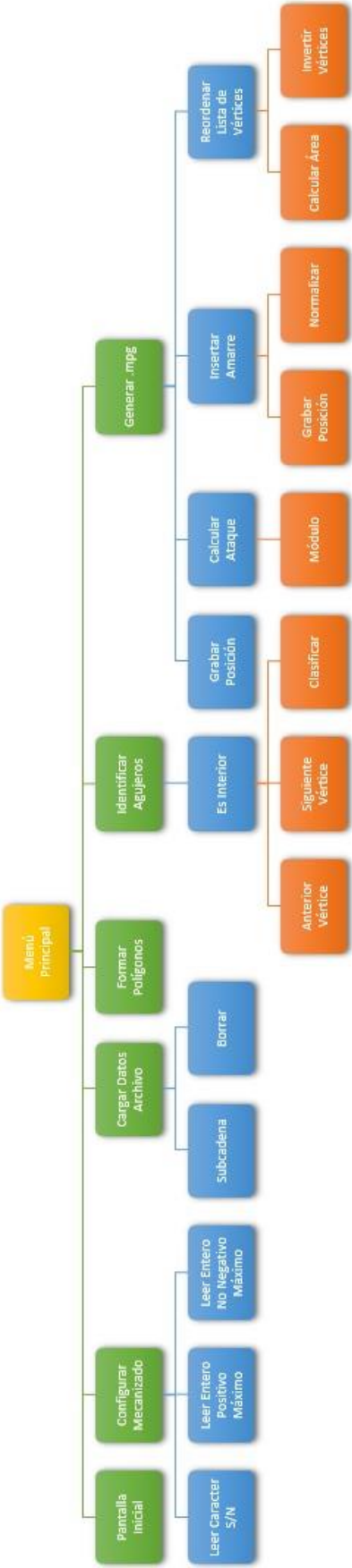


Ilustración 37: Arquitectura modular del programa CNC Creator.

A continuación se muestra el esquema de la arquitectura del programa expuesto anteriormente pero desglosado en los distintos niveles módulo a módulo para un mejor visionado del mismo.



Ilustración 38: Primer nivel de la arquitectura modular.

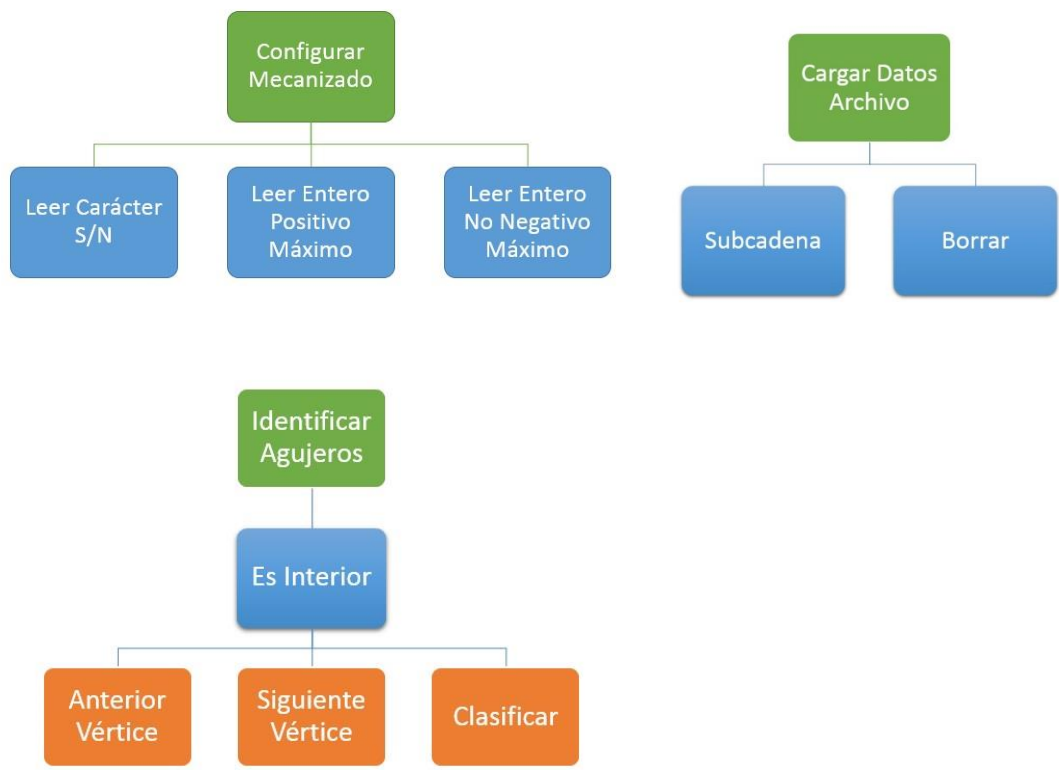


Ilustración 39: Desglose de los distintos niveles de los módulos del programa.



Ilustración 40: Desglose de los distintos niveles del módulo Generar .mpg.

3.2.1.3. Interfaces entre los módulos:

En esta sección se van a exponer los distintos módulos del programa con las variables que emplean, las cuales permiten la comunicación entre las distintas partes mediante la entrada y salida de datos. Decir que los módulos que se muestran a continuación están escritos en un pseudocódigo a modo de esquema y no en lenguaje C para que el lector pueda hacerse una idea simplificada de las interfaces entre los distintos módulos.

Pantalla_inicial().

Configurar_mecanizado(cfg).

Leer_caracterSN(cad, c).

Leer_entero_positivo_max(cad, maximo, x).

Leer_entero_no_neg_max(cad, maximo, x).

Cargar_datos_archivo(nombre, t, n).

Imprimir_datos(t, n, chapa).

Formar_poligonos(t, n).

Identificar_agujeros(t, n).

Es_interior(p, pol).

Siguiente_vertice(pol, i).

Anterior_vertice(pol, i).

Clasificar(a, n).

Grabar_fi(nombre, t, n, chapa).

Generar_mpg(nombre, t, n, cfg).

Reordenar_lv(t, n).

Calcular_area(p).

Invertir_vertices(p).

Grabar_posicion(f, p, pa).

Calcular_ataque(p, da, pat).

Modulo(p).

Insertar_amarre(f, p1, p2, paa, cfg).

Normalizar(p).

Subcadena(c, pos, l, s).

Borrar(c, pos, l).

3.2.2. Diseño detallado:

El *Módulo Principal* realiza una llamada a los Módulos *Pantalla Inicial*, *Configurar Mecanizado*, *Cargar Datos Archivo*, *Formar Polígonos*, *Identificar Agujeros* y *Generar .mpg*.

A su vez el módulo *Configurar Mecanizado* llama a los que se encuentran en el siguiente nivel: *Leer Carácter*, *Leer Entero Positivo Máximo* y *Leer Entero No Negativo Máximo*.

Por otro lado el módulo *Cargar Datos Archivo* realiza dos llamadas a los que se encuentran en el siguiente nivel: *Subcadena* y *Borrar*.

El módulo *Identificar Agujeros* ha empleado el algoritmo denominado “Línea de Barrido” para poder determinar si un polígono contiene a otro y así clasificarlo como pieza o desperdicio. Éste realiza una llamada al módulo *Es interior* y que a su vez realiza también una llamada a los que se encuentran en el siguiente nivel: *Anterior Vértice*, *Siguiente Vértice* y *Clasificar*.

El módulo *Generar .mpg* es el más extenso de todos pues como podemos comprobar realiza distintas llamadas, en primer lugar a los del siguiente nivel como son *Grabar Posición*, *Calcular Ataque* (que a su vez realiza la llamada a *Módulo*), *Insertar Amarre* (que a su vez realiza las llamadas a *Grabar Posición* y *Normalizar*) y *Reordenar Lista de Vértices* (que efectúa las distintas llamadas a *Calcular Área* e *Invertir Vértices*).

En secciones siguientes será tratado el contenido de cada módulo con un poco de más profundidad para explicar su funcionamiento.

3.3. Codificación:

Se ha desarrollado el programa con el software de programación Dev-C++ 4.9.9.2 utilizando para ello un ordenador portátil modelo HP Pavilion g6 Notebook PC utilizando el sistema operativo Windows 7 Home Premium. El algoritmo se ha codificado en ANSI C utilizando todos los elementos mencionados anteriormente.

4. Mediciones: bloques del programa:

En esta sección se va a proceder a explicar las distintas partes del programa, todos sus módulos, algoritmos especiales que se hayan podido utilizar y los detalles importantes que pueda tener para una mejor comprensión por parte del lector en cuanto al entendimiento del funcionamiento del software *CNC Creator*.

Para comenzar, al ejecutar el programa, se nos muestra una pantalla inicial en la que se muestran todos los datos referentes al proyecto: nombre del software, título del trabajo fin de grado, nombre y apellidos del alumno, nombre y apellidos del tutor y el curso en el que ha sido realizado. Todo esto lo realiza un sencillo módulo denominado *Pantalla Inicial* que realiza una impresión en pantalla de todos estos datos cada vez que es ejecutado el programa.

El módulo *Menú Principal* tras realizar la llamada al módulo descrito anteriormente procede a la apertura del archivo imprimiendo en pantalla un mensaje en el que se nos requiere introducir la ruta del archivo a abrir sin la extensión *.tex*. Una vez introducida dicha ruta por teclado el *Menú Principal* realiza la apertura del archivo. En caso de que haya un error y sea imposible abrir el archivo indicado imprime en pantalla un mensaje de error: “*Error al abrir el archivo:*” indicando el nombre y la ruta indicada (en caso de que esta última haya sido introducida).

Una vez realizada la apertura de forma correcta se realiza una llamada al módulo *Configurar Mecanizado*. Éste imprime en pantalla una serie de mensajes para que el usuario vaya introduciendo los datos indicados con los parámetros deseados. Para las secciones del módulo en el que se nos pregunta si deseamos introducir la velocidad de corte, el valor de la ranura de corte y los amarres se realiza una llamada al módulo *Leer Carácter S/N* que consiste en leer solamente los caracteres que se introduzcan por teclado: “S” si deseamos introducir dichos valores o “N” si realmente no queremos introducir dichos datos. Para los apartados en los que se introduce la velocidad de corte, el número de amarres, la altura y ancho del amarre y el ancho y alto de la chapa a mecanizar se realiza una llamada al módulo *Leer Entero Positivo Máximo* que, como su nombre indica, leerá números enteros positivos hasta un valor máximo prefijado según cada parámetro. Por último, en los apartados que nos piden introducir los valores de la distancia de ataque y el valor de la ranura de corte se realiza una llamada al módulo

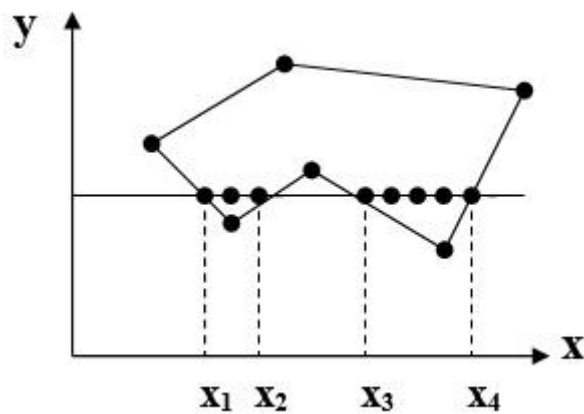
Leer Entero No Negativo Máximo que, a diferencia del anterior, éste sí tiene en cuenta el valor del 0.

Seguidamente, el *Menú Principal* imprime un mensaje en pantalla indicando que se está leyendo la geometría del archivo y realiza una llamada al módulo *Cargar Datos Archivo*. Éste abre nuevamente el archivo de texto .tex como lectura (cuyo nombre completo se ha pasado como argumento e imprimiendo un mensaje de error nuevamente si no se pudiera abrir el archivo) y realiza una llamada al módulo *Subcadena* que lo lee línea a línea y carga en la estructura de datos las coordenadas enteras de los vértices de cada polilínea en décimas de milímetros tras hacer una conversión de unidades de puntos (pt), en las que se encuentra en el archivo .tex. Los criterios que tiene el módulo de búsqueda y lectura de las coordenadas son las cadenas de caracteres que comienzan por `\newpath`, `\closepa`, `\lineto` y `\moveto` que indican respectivamente el inicio de una geometría, su final, las coordenadas de la geometría y el primer punto de cada una. La llamada al módulo *Borrar* se realiza cuando se ha encontrado un `\moveto` o un `\lineto`. Para poder leer las coordenadas se eliminan los caracteres `\lineto(` o `\moveto(` y se produce la lectura de las coordenadas que se almacenan en variables de tipo real.

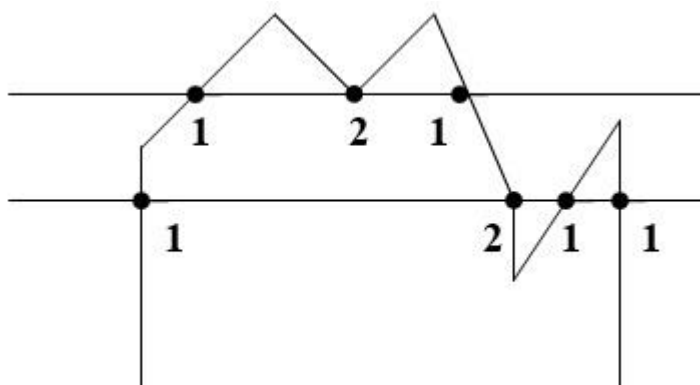
Una vez finalizada la etapa anterior el módulo *Menú Principal* imprime en pantalla un mensaje dando el visto bueno a la lectura de la geometría. Seguidamente muestra otro mensaje de proceso en el que se puede leer que se están formando los polígonos. Es entonces cuando realiza la llamada al módulo *Formar Polígonos*. Éste lo que hace es que los segmentos que se encuentran separados si el final o el principio de alguno de estos coincide con el final o el principio de cualquier otro segmento los va a conectar. En resumen, lo que hace es conectar polilíneas abiertas (de tipo='0') para intentar formar polígonos (de tipo='1') en caso de que sea posible. En caso de que no sea posible se dejarán como polilíneas abiertas. Cuando se completa la conexión de los segmentos para formar el polígono si el último vértice del último segmento coincide con el primer vértice del primer segmento lo elimina. También realiza una comprobación del número total de vértices que se han unido mostrando un mensaje de error si éste llega a ser de 150 o superior.

Al finalizar la etapa anterior, el módulo *Menú Principal* muestra un mensaje de confirmación si se ha producido de forma satisfactoria la formación de polígonos y a continuación imprime otro mensaje en pantalla en el que se puede leer que se ha entrado en la etapa de identificación de piezas y desperdicios, realizando una llamada al módulo *Identificar Agujeros*. Éste módulo realiza una llamada a *Es Interior* el cual devuelve el valor verdadero si

el punto se encuentra dentro del polígono y que se basa en que si un polígono contiene a otro, el que se encuentra en el interior es un desperdicio, o lo que es lo mismo, un agujero. Para determinar si un polígono se encuentra dentro de otro se emplea el algoritmo de la línea de barrido. Para poder explicar de una forma más clara dicho algoritmo nos vamos a apoyar en dos imágenes.



Como podemos observar en esta figura se traza una línea de barrido y se determinan los puntos de intersección con las aristas del polígono. Se crea una lista de puntos de intersección y se ordenan de izquierda a derecha. Se escogen los puntos de intersección por parejas y si se encuentra un punto entre ambos puntos de intersección entonces se encuentra dentro del polígono y si no se encuentra entre una pareja de puntos de intersecciones entonces el punto se encuentra fuera. Además existen una serie de casos especiales. Si el punto se encuentra sobre una arista horizontal del polígono automáticamente se considera que esta dentro.



Como podemos ver en el caso de esta ilustración nos podemos encontrar con el caso en que la línea de barrido intersecte con vértices del polígono. Son los denominados nodos especiales y se cuentan como dos intersecciones, teniendo la línea superior un total de cuatro intersecciones y la línea de barrido inferior un total de cinco intersecciones. La línea de barrido se va trazando desde $y=0$ hasta $y=y_{\max}$ y si en esa sucesión de líneas se encuentra algún punto entonces contendrá una geometría interior y si no, no.

Los módulos del siguiente nivel son módulos auxiliares del anterior ya que el módulo *Clasificar* ordena la lista de intersecciones de la línea de barrido con el polígono y los módulos *Siguiente Vértice* y *Anterior Vértice* devuelven el valor del índice del siguiente vértice no horizontal y del anterior vértice no horizontal respectivamente para realizar una serie de cálculos en el módulo *Es Interior* respecto a los nodos especiales anteriormente explicados de la línea de barrido.

Una vez que ha sido completada con éxito la etapa anterior una vez más el *Menú Principal* vuelve a mostrar un mensaje de que se ha completado correctamente e imprime otro en pantalla en el que podemos leer que hemos entrado en la última fase: generación del código numérico. Entonces realiza una llamada al módulo *Generar .mpg* el cual genera el código numérico de los cortes geométricos empezando por los desperdicios y siguiendo por las piezas. Las listas de vértices se recorren en sentido anti horario para las piezas y en sentido horario para los desperdicios, con lo que la compensación de la ranura de corte siempre se realiza a derechas. En primer lugar, el módulo *Grabar Posición* lo que hace es que graba en el archivo la posición relativa con respecto a la posición actual y actualiza la posición actual a dicha posición. El módulo *Calcular Ataque* calcula la posición de ataque a partir de la mitad de la primera arista tomando un vector unitario normal multiplicándolo por la distancia del ataque. En el caso de polilíneas abiertas no se establece ataque y comienza a mecanizar por el primer punto del primer segmento, sin realizar compensación de la ranura de corte. El denominado *Módulo* no es más que un auxiliar que devuelve un valor de tipo real al módulo *Calcular Ataque* para determinar el vector normal ya mencionado. El módulo *Insertar Amarre* coloca un amarre en la mitad de la arista especificada si ello es posible. El módulo *Normalizar* realiza el cálculo del vector normal a donde se van a emplazar los distintos amarres. El módulo denominado *Reordenar Lista de Vértices* no hace más que una serie de comprobaciones. En función a lo visto anteriormente con la línea de barrido los polígonos habían quedado clasificados en pieza y

desperdicio (valor 'P' o 'D' respectivamente). Pues bien, si es pieza se determina el área mediante una ecuación específica (módulo *Calcular Área*) y si dicha área es negativa entonces se invierte el orden de los vértices mediante el módulo *Invertir Vértices* para que el mecanizado sea anti horario en las piezas. Por el contrario, si se trata de un desperdicio y si el área es positiva entonces se realiza una llamada de nuevo al módulo *Invertir Vértices* y así los desperdicios quedarían mecanizados en sentido horario. Dicho todo esto, el módulo *Generar .mpg* crea un archivo y lo abre en modo escritura y va escribiendo en el las distintas ordenes de mecanizado y trayectorias según las especificaciones que hemos dado anteriormente en el panel de configuración del mecanizado.

Para finalizar, si el archivo se ha generado con éxito se nos mostrará un mensaje en pantalla de aprobación o si por el contrario ha habido algún problema se imprimirá un mensaje indicando que ha sido imposible generar dicho archivo. Una vez ejecutadas todas estas etapas se nos preguntará si queremos volver a ejecutar el programa teniendo que introducir el valor 'S' o 'N' por teclado dependiendo de si queremos o no respectivamente.

5. Presupuesto:

Aunque el programa *CNC Creator* es de distribución gratuita no hay que confundir con que detrás de él hay unas largas horas de trabajo y también se han empleado una serie de materiales, todo ello recogido en la siguiente tabla a modo de presupuesto:

Tabla 2: Presupuesto del trabajo técnico.

Tipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Mano de Obra.	4	2333 €/mes	9332 €
Desplazamiento.	20	4,74496 €/viaje	94,90 €
Ordenador portátil HP Pavilion g6 Notebook PC.	1	423,50 €	423,50 €
Ratón Logitech USB con sensor óptico de movimiento láser.	1	67,10 €	67,10 €
Impresora HP Photosmart B110 series.	1	179,90 €	179,90 €
Paquete de 100 folios formato DIN-A4.	1	1,65 €	1,65 €
Cartucho de tinta negra para la	1	4,95 €	4,95 €

impresora especificada.			
Tipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Programa informático AutoCAD 2014.	1	4775 €	4775 €
Programa informático InkScape.	1	0 €	0 €
Programa informático Dev-C++ 4.9.9.2.	1	0 €	0 €
		Total	14879 €

La mano de obra ha sido calculada en base a los salarios medios publicados por el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Navarra para Ingenieros Industriales con experiencia menor de 5 años.

El desplazamiento ha sido calculado en base a los desplazamientos efectuados a la Universidad de Almería para hacer pruebas en la máquina de oxicorte y temas relativos al diseño del programa que han sido tratados con los profesores colaboradores. Se ha calculado la distancia desde Roquetas de Mar a la Universidad de Almería (27,5 km), el consumo medio del coche (6,4 L/100 km) y el precio de la gasolina de 95 octanos (1,348 €/L).

Los precios del ordenador portátil, el ratón USB óptico, la impresora, el cartucho de tinta negra y el paquete de folios DIN-A4 son los que se exponen en distintos catálogos comerciales consultados a través de internet.

El precio del programa AutoCAD 2014 que se expone es el consultado en la página web oficial de su desarrollador, Autodesk.

Por último, los programas Inkscape y Dev-C++ han sido descargados de forma gratuita desde sus respectivas páginas webs oficiales.

Por tanto, teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, el precio final presupuestado de lo que cuesta realizar el programa informático *CNC Creator* para obtener el código numérico para la máquina de oxicorte es de aproximadamente 14879 €.

La realización de este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal desarrollar un programa de software empleando el lenguaje de programación C capaz de leer una geometría generada mediante programas de diseño asistido por ordenador (CAD), analizarla y a través de una serie de operaciones generar el código numérico con las instrucciones de mecanizado de la geometría diseñada para obtenerla mediante la máquina de oxicorte en una chapa metálica. Así mismo se abordará el desarrollo histórico de la industria y las máquinas-herramientas desde la Primera Revolución Industrial hasta nuestros días para entender mejor la manufactura de hoy en día y la necesidad del control numérico.

