

PROGRAMA PARA CONTROL DE HORNOS

Jorge J. Hernández Rodríguez y Silvia Gómez Delgado

RESUMEN

Aun existiendo en el mercado controladores de temperatura para hornos, ninguno ofrece la versatilidad de «Conhor». Es frecuente encontrar hornos con programas incorporados en los que apenas podemos seleccionar la intensidad a la que queremos que trabaje y la temperatura a la que queremos llegar. Otros controladores poseen una curva «tipo» y, generalmente, sólo intervenimos para dar seis datos, tres de temperatura y tres de tiempo. Estas curvas «moldes» son las más corrientes en procesos cerámicos, sin embargo no nos servirían para otro tipo de trabajos, como con vidrio o metales.

Las características fundamentales del programa, y que lo diferencian en mucho de los ya conocidos, son varias:

- En principio, el número de tramos programable es indefinido, podemos trabajar con innumerables intervalos de temperatura y tiempo.
- Dispone, y ésta es su mayor particularidad, de un dispositivo externo que podemos programar según el tiempo transcurrido, la temperatura, o ambos. El dispositivo externo no es otra cosa que un enchufe que podemos encender y apagar cuando nos convenga. En él podemos conectar, por ejemplo, una cámara de vídeo, con el fin de que recoja imágenes cada 10 minutos, o un ventilador, que enfríe un vidrio para su templado a una determinada temperatura.

Todo ello convierte a Conhor en un programa muy versátil que podemos utilizar casi para cualquier tarea relacionada con hornos.

PALABRAS CLAVE: cascarilla cerámica, David Reid (Técnica De), microfusión, crisol fusible, Conhor.

ABSTRACT

Even though there are oven temperature controllers on the market, few of them are as versatile as «Conhor». Ovens are frequently found with programmes incorporated with which we are only able to select the intensity and temperature desired. Other controllers have a «typical» curve, and we only usually intervene to provide six data, three for the temperature and three for the time. These «pattern» curves are the most common in ceramic processes, but they are of no use for other processes, such as when working with glass or metals.

The programme has several basic features that make it very different from previous programmes:

- Initially, the number of legs that can be programmed is indefinite. We can work with a countless number of temperature and time intervals.
- It has an external device, and this is its greatest particular feature, that we can programme depending on the time that has passed, the temperature, or both. The external device is no more than a plug that we can switch on and off when necessary. We



con connect it, for example, to a video camera, in order to take images every 10 minutes, or a fan to cool the glass to a certain temperature. Conhor is thus a highly versatile programme that can be used for practically every need related to ovens.

KEY WORDS: Ceramic scale, David Reig, microfusion, Conhor crucible.

INTRODUCCIÓN

¿De dónde hemos partido? ¿Cuáles son los antecedentes más cercanos?. Todo parte de la asignatura de «Técnicas y procedimientos escultóricos», impartida en la facultad de Bellas Artes de la ULL, que se vio en la necesidad de desarrollar y construir un nuevo tipo de horno experimental de alto rendimiento y bajo coste con sus correspondientes sistemas de pirometría y automatismos.

Tras numerosos ensayos, pruebas y experimentos, se buscaba el mejor sistema de colada, es decir, el diseño del crisol, llegando a métodos que se iban superando unos a otros.

La investigación partía desde dos premisas: sencillez y seguridad. Se trataba de desarrollar un sistema de fundición personal para pequeños y medianos tamaños perfectamente asumibles en un pequeño espacio, sin instalaciones especiales, con una botella doméstica de butano y un enchufe de corriente a 220 voltios.

Con esa simple instalación fundiríamos crisoles de uno a diez kilos de bronce en tiempos que no superarían los quince minutos. Todo ello sin necesidad de manipular moldes ni crisoles calientes, cargas, traslados o vertidos de los mismos, con la seguridad y comodidad que ello supone.

Así, la fundición estaría al alcance de cualquier escultor, pudiéndose desarrollar a nivel personal e individual en los talleres de escultura sin la necesidad de grandes conocimientos.

Finalmente Juan Carlos Albaladejo, profesor de la asignatura de Fundición y catedrático de Escultura por la Universidad de La Laguna, ideó un método que conseguía eliminar los problemas que por unas razones u otras daban los anteriores sistemas de colada, éste era el CRISOL FUSIBLE. Al mismo tiempo fue necesario desarrollar una técnica de fundición propia basada en la modificación de quemadores, crisoles y hornos.

De la suma de todo ello resulta un sistema de colada automático sin intervención de operaciones auxiliares, vertidos, limpieza de crisol o control de caldo. Conseguimos, pues, eliminar riesgos, adquirir limpieza en el metal colado y sencillez en el proceso.

Como hemos visto, todo parte del Crisol Fusible. Expliquemos en qué consiste:

El crisol fusible es una técnica que nos permite fundir, con la facilidad de la micro-fusión¹, una pieza grande. Todo se realiza de forma automática, desde que

¹ Fundición de pequeño formato (también podemos considerar microfundición a piezas que, no siendo de pequeño formato, tengan un calibre muy fino).

encendemos el fuego y colocamos la pieza no tenemos que moverla para nada. El llenado se produce al fundirse un tapón de cobre situado en la salida del vaso al bebedero principal. Igual que ocurre en la microfusión con cascarilla cerámica, según la técnica de David Reid², el molde y el metal son calentados al mismo tiempo pero tenemos, en nuestro caso, la ventaja de evitar la operación de volteo.

El proceso de fundido se realiza con el mismo sistema quemador-horno que en la «micro», introducimos la pieza en el horno, encendemos el quemador y esperamos a que se funda el bronce. Podemos contemplar la operación situando un espejo sobre el tiro de gases.

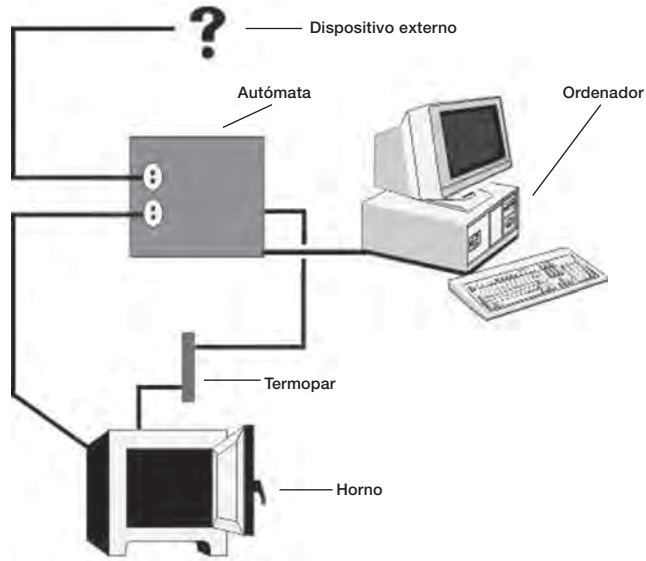
Para que el bronce baje por los bebederos una vez fundido completamente, a la misma temperatura, y de una sola vez, colocaremos una barrera de un metal que tenga un punto de fusión más alto que el bronce y que no lo contamine una vez mezclado con éste. Ese metal no podía ser otro que el cobre puro, por ser uno de los componentes del bronce y por su alto punto de fusión. Una vez fundido todo el bronce hay que estar atento al momento en el que se funda el tapón, para apagar el quemador. Posteriormente esperaremos un poco antes de extraer la pieza.

En la actualidad, buscamos la cuantificación de variables del proceso mediante el control preciso de sistemas pirométricos e informáticos especializados, con los que podamos precisar en cada instante las temperaturas del horno, programando previamente las curvas en el ordenador conectado a éste. Por ello, trabajamos con un programa informático especializado y único, que nos permite controlar los aumentos y descensos de temperatura, adaptar dispositivos externos accionados por el mismo programa al llegar a temperaturas o tiempos determinados, y comprobar las variaciones existentes entre los gráficos-tareas y las correcciones que realiza el ordenador para hacer factibles nuestras órdenes. Éste es el proyecto de investigación «Nuevos Procedimientos Escultóricos», cuyo investigador principal es Juan Carlos Albaladejo. El programa de control de hornos se prueba primeramente en hornos eléctricos y posteriormente en hornos de gas, ofreciendo la ventaja de ser completamente autónomo desde su programación y puesta en marcha hasta la desconexión automática.

La instalación consiste en un ordenador con el programa «Conhor» que envía (y recibe) información a un autómatas o controlador. Dicho autómatas posee dos enchufes y un termopar. Uno de los enchufes encenderá y apagará el horno, dependiendo de la temperatura. El otro controlará el dispositivo externo. El termopar será el encargado de medir la temperatura mandando información del horno al autómatas y éste a su vez al ordenador, el cual actuará según los datos que le hayamos introducido, encendiendo o apagando el horno.

² Técnica de microfusión en la cual el crisol y el modelo forman una única pieza. Así, cuando fundimos el metal éste estará a la misma temperatura que el modelo. Con un volteo del conjunto lograremos la colada del metal desde el crisol hasta el modelo.

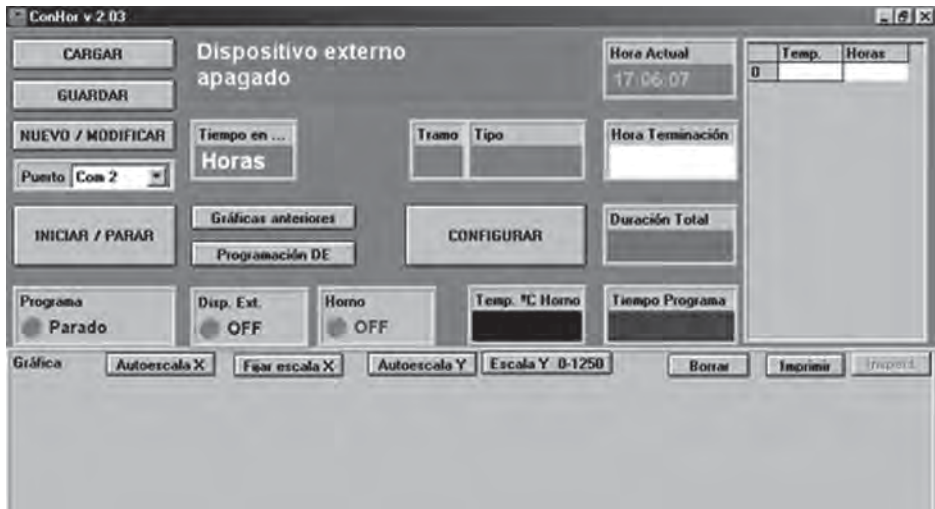




Una vez hecha la introducción, expliquemos el funcionamiento del programa en sí.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

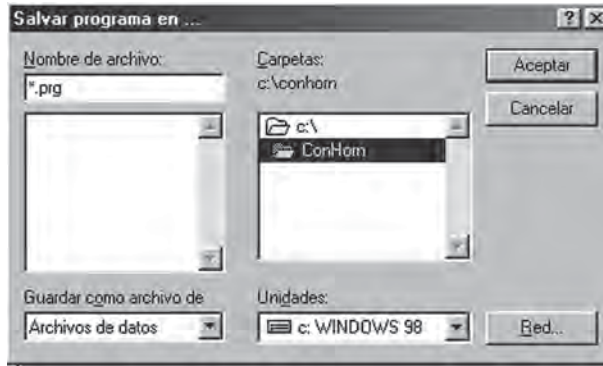
Pantalla inicial:



Procedemos a describir, paso a paso, cada uno de los botones con sus respectivas funciones.

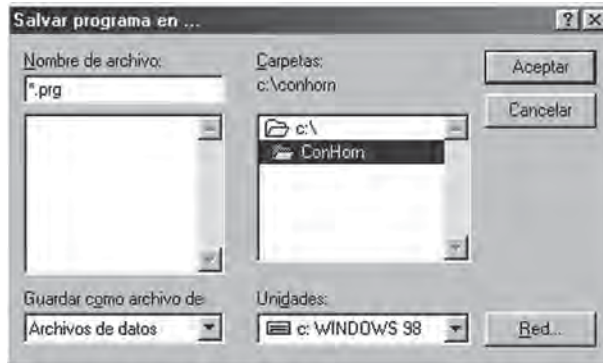
Descripción de los botones:

Cargar: Carga programas de ejecución realizados con anterioridad.



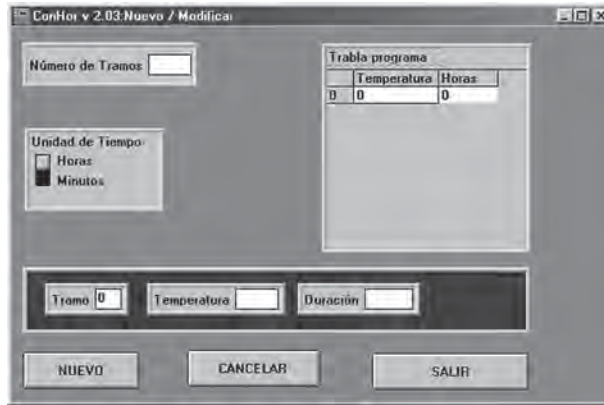
Para cargarlos nos vamos al directorio donde estén, lo escogemos y seleccionamos «Aceptar». El programa contendrá todos los datos anteriormente programados.

Guardar: Guarda los programas de ejecución.



Le adjudicamos nombre al programa, buscamos el directorio donde queremos conservarlo y seleccionamos «aceptar». Podremos disponer de estos datos en el futuro.

Nuevo/modificar: Realiza y corrige un nuevo programa.



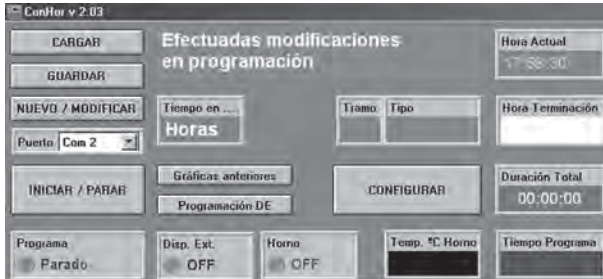
En esta pantalla se nos presentan varios botones:

«Número de tramos», comenzamos definiendo el número de tramos de nuestra curva, por ejemplo 5, así nos aparece:



Los datos podemos introducirlos desde la tabla con fondo azul o directamente en la tabla de programa. En esta última tenemos los cinco tramos que habíamos pedido. A su vez, en la «Unidad de tiempo» podemos optar entre horas o minutos, basta con desplazar el botón gris a la posición correspondiente.

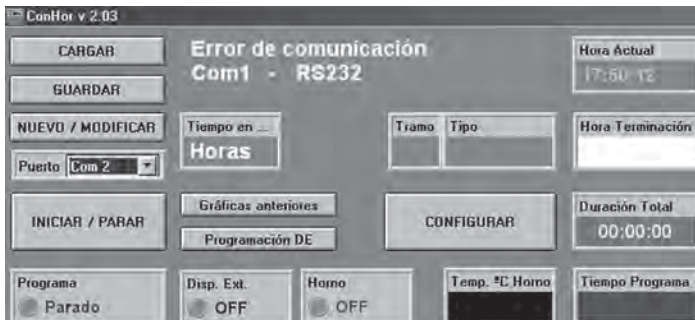
Si nos equivocamos podemos retomar el tramo y corregir, o bien darle al botón «Nuevo», que reinicia la programación a una nueva curva, con lo que perderemos los datos introducidos. Una vez conforme, pulsamos «Salir». Ya tenemos un programa, ahora podemos guardarlo, iniciarlo o aun modificarlo de nuevo con este botón de «Nuevo/Modificar». Siempre que se realice o modifique un programa tendremos la siguiente indicación:



Puerto: Modifica el puerto de comunicación.



Basta con seleccionarlo. Dependiendo del ordenador en que estemos trabajando, podemos tener un puerto u otro dispuesto para nuestro programa. En caso de que el puerto no sea el correcto, aparecerá un error de comunicación en la pantalla:



Programación DE: Es la programación del dispositivo externo del que ya hemos hablado, al pulsar este botón tenemos la siguiente pantalla:

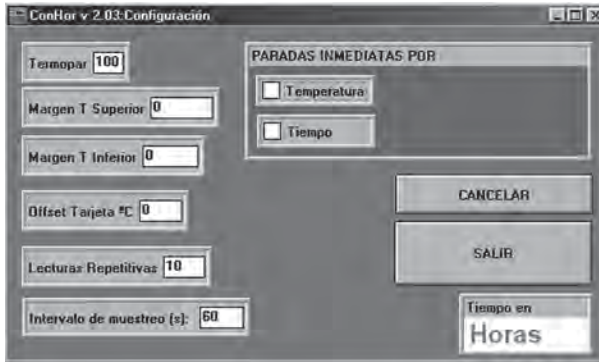


Como vemos lo podemos programar tanto por temperatura como por tiempo, ambos de forma similar, si por ejemplo elegimos temperatura se abrirá la siguiente ventana:



La programación es análoga a la de la curva, simplemente escogemos los tramos y los rangos de temperatura en que queremos que el dispositivo externo esté encendido.

Configuración: Al apretar el botón de configuración aparece la siguiente pantalla:



En ella podemos seleccionar:

- El termopar.
- El margen de temperatura (tanto superior como inferior) en que queremos que el horno se encienda o apague. Así, si el margen es «0» en ambas (margen que trae predeterminado el programa), el horno se encenderá siempre que la gráfica real esté por debajo de la programada y se apagará si la gráfica real está por encima. Si hacemos esto, y dependiendo del rango de temperatura en que estemos trabajando, la inercia de calentamiento que tiene el horno puede llevar a que la gráfica real sobrepase mucho de la programada, por lo que podemos pedir que se desconecte el horno antes de que se crucen las gráficas.

Ejemplos:

Supongamos una meseta de 450°C

Si Margen T Sup. = 5

Apaga a 455°C y enciende a 400°C

Margen T Inf.= 50

Si Margen T Sup. = 100

Apaga a 550°C y enciende a 400°C

Margen T Inf.= 50

Si Margen T Sup. = -50

Apaga a 400°C y enciende a 350°C

Margen T Inf.= 100

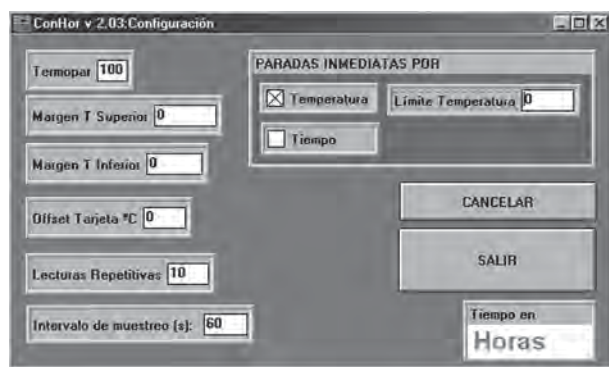
Si Margen T Sup. = 100

Apaga a 500°C y enciende a 550°C

Margen T Inf.= -50

Es decir: el Margen T Sup. (temperatura a partir de la cual se desconecta el horno) se cuenta a partir de la gráfica programada hacia arriba, y el Margen T Inf. (temperatura a partir de la cual se conecta el horno) se cuenta a partir de la gráfica programada hacia abajo, por lo que, dependiendo de lo que queramos hacer, tal vez haya que utilizar algún número negativo.

- Otros datos que podemos variar son las lecturas de temperatura que queremos en un determinado tiempo. Tal y como aparece en la pantalla anterior tendremos 10 lecturas por segundo y esta operación se repetirá cada 60 segundos.
- Por último, las paradas inmediatas son paradas de seguridad. Si tenemos una temperatura o tiempo límite lo programaremos en este botón. Así, por ejemplo, si queremos que la temperatura no pase de 1.000°C seleccionamos temperatura y nos aparecerá:



Ahora introducimos nuestro límite y apretamos «Salir».

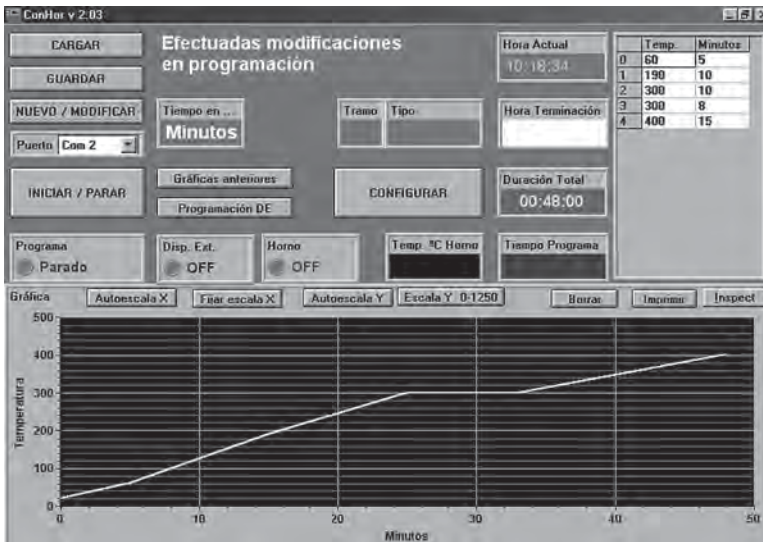
Cuando llegue a 1.000°C aparecerá el mensaje «Activada parada por límite de temperatura» y se parará el programa. Análogamente en la parada de tiempo aparecería «Activada parada por límite de tiempo».

Debemos tener en cuenta que la configuración no se puede modificar con el programa en marcha.

En cuanto a la programación de la curva está todo dicho, pongamos un ejemplo para ver el resto de indicadores. La curva puede ser:

	Temperatura	Minutos
0	60	5
1	190	10
2	300	10
3	300	8
4	400	15

La curva pedida aparecerá en pantalla, además podemos ver los valores introducidos, la opción temporal (horas o minutos) y la duración total de nuestro programa (48 min):



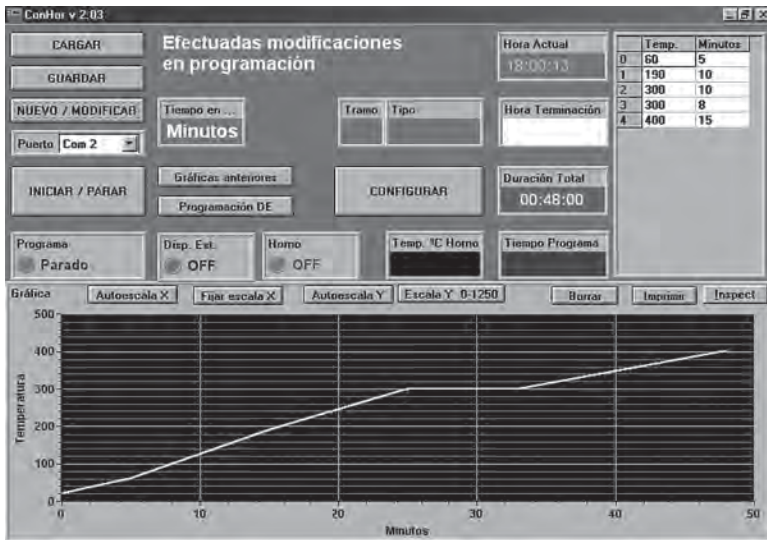
Programemos el encendido del dispositivo externo de la siguiente manera:



Esto significa que el dispositivo externo estará conectado entre 60°C-85°C, entre 150°C-200°C y entre 300°C-315°C.

Iniciar/Parar: Pone en funcionamiento / para el programa.

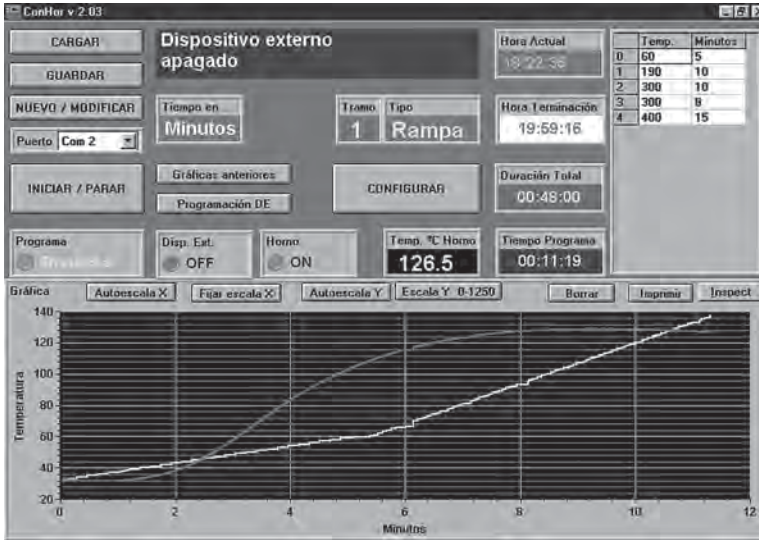
Con la gráfica ya en pantalla pulsamos «Iniciar/Parar»



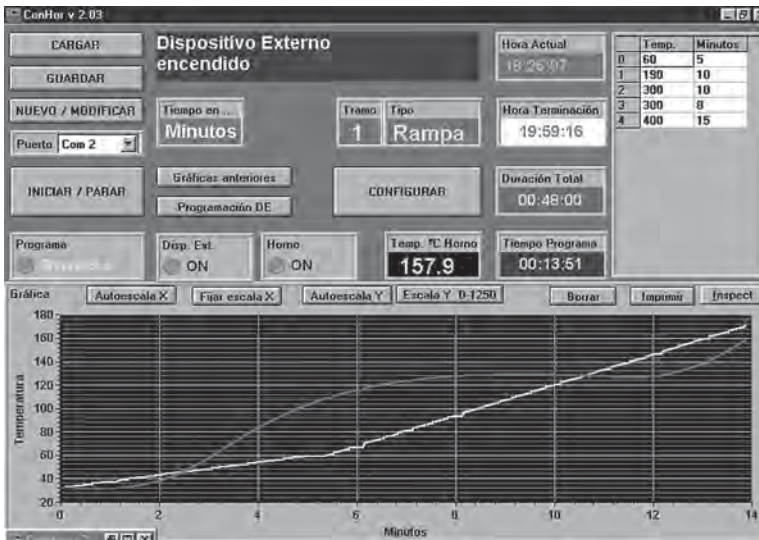
Si no tenemos conectado el termopar o está estropeado, aparecerá el siguiente mensaje:



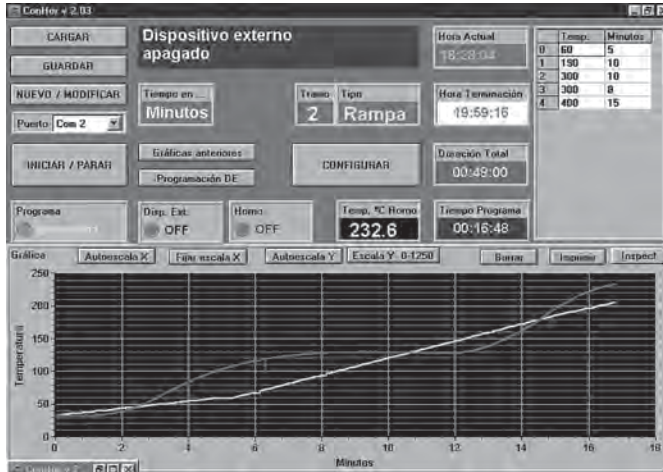
En caso contrario comenzará a funcionar. Veamos varias pantallas y comentémoslas:



Como vemos el programa está «En marcha». Han pasado 11 min. 19 seg. de un total de 48 min. Nos situamos en el primer tramo que es una «Rampa» (es decir, en el segundo que programamos, pues se empieza a contar de 0). La temperatura es de 126.5°C, por lo que el dispositivo externo está apagado (mirar programación del DE), como indica el rótulo. El horno, sin embargo, está encendido ya que la configuración es la predeterminada por el programa, recordemos que, en este caso, si la gráfica real (roja) está por debajo de la programada (amarilla) el horno se encenderá.

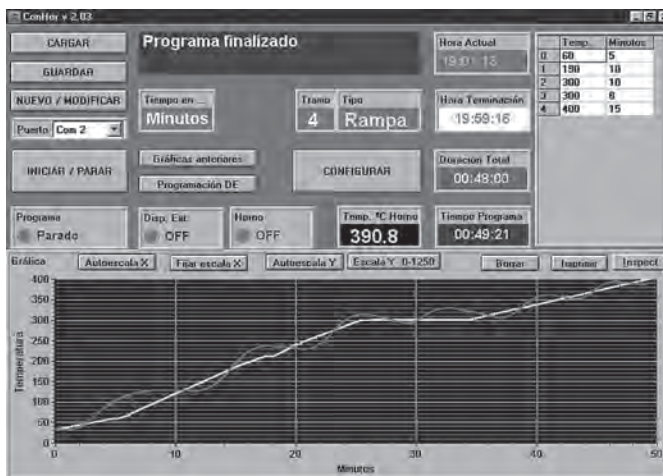


A los 13 min. 51 seg. tanto el horno como el dispositivo externo están encendidos.



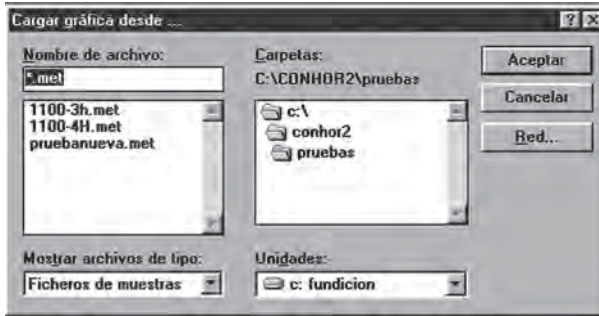
Ya han pasado 16 min. 46 seg., estamos a 232°C, el dispositivo vuelve a estar apagado; sin embargo ahora el horno también, ya que en la curva real ha sobrepasado a la programada.

Si en cualquier momento, mientras esté el programa en marcha, volvemos a pulsar «Iniciar / Parar», el programa detendrá su ejecución y aparecerá un rótulo anunciando «Parada manual».

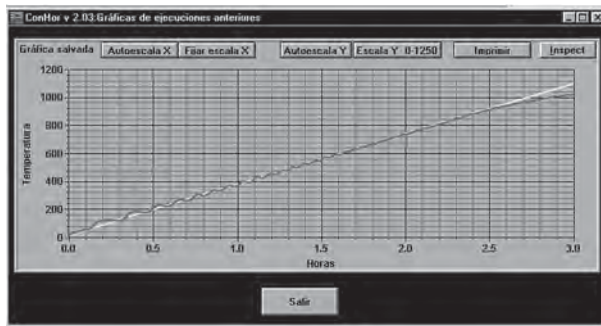


Una vez terminada la sesión el programa se da por concluido y así nos lo indica con el rótulo superior. La gráfica quedará grabada por si deseamos recuperarla en el futuro. Si queremos verla en otras escalas podemos ir pulsando los botones de la parte superior de la gráfica.

Si necesitamos recuperar gráficas anteriores pulsamos:
Gráficas Anteriores: nos aparecerá:



Vamos al directorio que nos interese y seleccionamos una gráfica, por ejemplo la primera, después pulsamos aceptar.



Tendremos así la gráfica pedida.

Una vez explicado el programa debemos resaltar las numerosas modificaciones que ha sufrido, debido siempre a las necesidades propuestas y debido también a la originalidad del programa. Fue sometido, pues, a numerosas pruebas, con lo que encontramos cuantiosos errores. Así, reenviamos «Conhor» al programador para que realizara las correcciones oportunas.

Los errores o correcciones podemos dividirlos en dos: de programación y de necesidad propia del programa. Como ejemplo de error de programación tenemos la pantalla de programación de la curva:



El error venía al intentar programar la curva. Si lo hacíamos en la tabla de programa no había problema, pero si lo hacíamos en la de fondo azul nos saltaba del tramo 0 directamente al 2, haciendo que las dos tablas fueran incompatibles.

Como ejemplo de necesidad del programa nos vimos obligados a insertar el cambio de puerto debido a que no siempre trabajábamos con el mismo ordenador, el puerto de comunicación podía ser diferente.



Hasta el momento el programa se ha probado con horno eléctrico, sin embargo estamos trabajando en la aplicación para un horno de gas que es, a fin de cuentas, uno de los objetivos propuestos.

Se trata, entonces, y retomando los «antecedentes» arriba mencionados, de un proceso completamente automatizado para la fundición en bronce. Una vez estudiadas las curvas óptimas para una fundición, dependiendo de los quilos de bronce, nuestra intervención en el proceso se limitaría a colocar la pieza dentro del horno e iniciar «Conhor».

Ésta es una de las posibles aplicaciones: el trabajo con metales, pero no sólo con bronce, y tampoco con fundiciones, el dispositivo externo hace posible el trabajo con otros metales.

Por ejemplo, si hacemos nuestras herramientas de acero y queremos templarlas, programaremos correctamente el ordenador, consiguiendo que, a una temperatura determinada, enfríe un acero distorsionando su red para conseguir una



transformación martensítica y por tanto el templado. En este caso haríamos un horno especial que cumpliera las propiedades requeridas para el trabajo.

Otra aplicación de «Conhor» sería inyectar un gas inerte para evitar que la pieza se oxide en fundiciones. También, si queremos desgasificar, introducir una lanza e inyectar N_2 , lo que arrastraría a los gases hacia fuera.

Las aplicaciones en materiales como el vidrio son numerosas, ya que el descenso de temperatura necesario tras fundir este material no es fácilmente controlable por hornos convencionales ideados para cerámica. Otro proceso importante a tener en cuenta es el del recocido, en el cual las moléculas se calientan para moverse libremente entre sí, enfriándose más tarde y dando lugar a un vidrio nuevo. El recocido es un proceso indispensable para que las piezas no se rompan después de las tensiones internas. Este proceso ha de comenzar con el horno a unos $500^\circ C$ para que la pieza se vuelva a cocer a una temperatura más baja que con la que hemos realizado la pieza. Después, el enfriamiento será progresivo y lento, durará unas 48 horas, así cuando extraigamos la pieza del horno habrá alcanzado la temperatura ambiente equilibrándose las distensiones del vidrio. Cada tipo de vidrio requerirá un proceso diferente del recocido, por lo que poder programar las curvas de temperatura nos da un porcentaje de éxito casi absoluto.

En nuestro proyecto, con lo que hasta ahora se han utilizado dos hornos diferentes, el «de trabajo» y el «de recocido», podríamos sintetizarlo en uno solo, programando primero el reblandecimiento de la masa vítrea solidificada a unos $800-900^\circ C$ hasta que adquiera una consistencia plástica, y posteriormente la curva descendente encargada del enfriamiento del vidrio, que permitirá una solidificación armoniosa en todo su espesor, tanto en las capas periféricas como en las centrales.

Como el horno es construido por nosotros, tendremos en cuenta que es fundamental fundir la mayor cantidad de vidrio con la mínima cantidad de combustible. El interior del horno ha de disponerse de manera que exista el menor espacio perdido, y en consecuencia, el suficiente para que la combustión sea lo más viva posible. Por ello es también fundamental hacer unas programaciones de curvas adecuadas para cada proceso y tipo de vidrio, asegurándonos que el proyecto pueda concluirse con éxito.

Las técnicas aplicadas al vidrio que necesitan hornos para su realización son numerosas, desde las utilizadas para pintura (grisallas, los esmaltes, el color, sus mezclas y cocción) hasta las de escultura (termofundido, slumping, casting, etc.) que se basan en el dominio de la gravedad y la temperatura del horno, controlando las tensiones y los choques térmicos: Pero las más usuales, y las que el horno construido y el programa aplicado nos facilitarían grandemente la tarea, son por ejemplo:

PASTA DE VIDRIO: Clasificada como una técnica alternativa del vidrio, consiste en la elaboración, mediante vidrio de diferente granulometría, de piezas huecas y macizas. El vidrio molido con diferentes grosores y colores se funde en el interior de un molde. La pasta de vidrio es una técnica muy utilizada en escultura y en determinadas piezas de vidrio contemporáneo que utilizando vidrios compatibles producen transparencias, mates y degradaciones de tonalidad deseadas.



TERMOFORMADO: Es la técnica que consiste en transformar principalmente planchas de vidrio plano mediante el control de la gravedad y el calor del horno, utilizando moldes, y apoyos diversos. Lográndose curvaturas y relieves que, trabajados con óxidos, pigmentos y granillas, consiguen efectos muy interesantes en la masa del vidrio.

FUSING: Es la técnica empleada para conseguir vidrio homogéneo mediante la fusión de diferentes placas de color con el mismo coeficiente de dilatación. Las placas que se obtienen de esta técnica se pueden utilizar para diferentes trabajos como son el termoformado y diversas técnicas escultóricas.

Así, como hemos visto y parece lógico, el ámbito de aplicación es particularmente escultórico. Si bien todo lo dicho es a nivel teórico, hay que probarlo empíricamente. Pueden surgir dudas nuevas con la práctica, por lo que cada una de las propuestas anteriores es un nuevo campo de actuación e investigación.

