



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
del Instituto Politécnico Nacional

Unidad Saltillo

**“Desarrollo de interfaz de usuario de modelo computacional de
temperatura de lámina de acero durante su calentamiento continuo”**

Tesis que presenta

Ing. Jorge Gómez Carmona

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

en

Ingeniería Metalúrgica

Director de tesis

Dr. Francisco Andrés Acosta González

Dedicatoria

A mi esposa Consuelo.

A Pereskia, Amadeus y Noah.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por la beca recibida durante el período de mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) por el uso de las instalaciones, materiales y por considerarla como segunda casa durante mis estudios.

Al Dr. Francisco Andrés Acosta González, por el tiempo dedicado, las enseñanzas, sus conocimientos y la disciplina en la realización de la tesis.

A mis revisores, Dr. Roberto Pérez Garibay y M.C. Antonio Oliver Reynoso, por el tiempo dedicado a la revisión de la tesis, y su retroalimentación para un mejor trabajo.

A mi esposa por apoyarme en cada uno de los proyectos cumplidos.

A mi compañero de laboratorio M.C. Alan Ochoa por sus consejos durante la escritura de la tesis.

*“Las matemáticas son el alfabeto con
el cual Dios ha escrito el universo”*

Galileo Galilei

RESUMEN

El trabajo presente está enfocado al desarrollo de una interfaz entre el modelo computacional TermoGal (por **termogal**vanizado) y el usuario. Dicha interfaz permite un acceso conveniente a los datos del modelo, la ejecución del programa, la visualización gráfica de los resultados, y además genera una carpeta con los archivos de datos y resultados de los casos históricos que se han calculado. El modelo permite determinar, mediante un proceso iterativo, el cambio que debe aplicarse en la velocidad de la lámina durante una transición crítica de rollos de acero para lograr mantener la temperatura del acero dentro de una ventana térmica predeterminada.

Esta tesis corresponde a la continuación de dos tesis previas de Maestría en Ciencias. La primera tesis desarrolló de forma inicial esta interfaz y el programa de cálculo de la temperatura de la lámina, llamado TermoGal. La interfaz inicial se implementó en la plataforma del software MatLab. La segunda tesis se enfocó en mejorar la exactitud de los resultados de temperatura de lámina, mediante la modificación de las hipótesis del modelo, la implementación de un nuevo método numérico de cálculo, y la validación del modelo usando datos de temperatura medida en la línea de producción que amablemente una empresa suministró. El modelo computacional se basa en la solución numérica de la ecuación diferencial de advección de calor en una dimensión y bajo condiciones transitorias, sujeta a condiciones iniciales y a la frontera apropiadas. Esta solución está implementada en el código abierto CONDUCT, en lenguaje Fortran. El objetivo de la tesis presente es preparar la interfaz para suministrar de forma óptima la información detallada que requiere el modelo computacional en una aplicación en línea de producción. La interfaz deberá facilitar el cálculo del cambio requerido de velocidad de la lámina que debe aplicarse durante una transición crítica. La interfaz entre el modelo térmico TermoGal y el usuario ha sido desarrollada en la plataforma de MatLab (Guide).

ABSTRACT

The present work is focused on the development of an interface between the computer model TermoGal (from **thermo-gal**vanized) and the user. This interface makes easier to supply data, to calculate, to graph results and to manage files of historical cases, previously computed. The changes in the steel strip that are required to maintain the steel within a temperature range during a critical transition between steel rolls can be computed iteratively using this interface.

This thesis is a continuation of two previous Master Science theses. The former one developed the first version of the interface and the computer code to calculate the strip temperature, called TermoGal. The initial interface was implemented using MatLab. The second thesis was focused to improve the accuracy of steel temperature results, changing the model hypotheses, implementing a new numerical method to solve the equations, and validating the model using temperature data that were kindly provided by a steelmaking company. The model is based in the numerical solution of the advection differential equation in one dimension and under transient conditions, subjected to proper initial and boundary conditions. This solution was implemented in the open code CONDUCT, written in Fortran language. The objective of the present thesis is to prepare the interface to optimally supply the detailed information that is needed by the computational model to apply it to the production line. The interface should make easier to carry out the calculation of the change in strip velocity during a critical transition. The interface between the thermal model TermoGal and the user has been developed in the MatLab (Guide) platform.

INDICE

RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Metas.....	3
Capítulo 1. Revisión bibliográfica.....	4
1.1. Proceso de Galvanizado continuo del acero.....	4
1.2. Calentamiento continuo de la lámina.....	5
1.3. Enfriamiento de la lámina de acero.....	7
1.3.1. Enfriamiento de lámina estática.....	7
1.3.2. Enfriamiento de lámina en movimiento.....	9
1.4. Hornos sin inercia térmica	11
Capítulo 2. Metodología	12
2.1. Dominio de cálculo.....	13
2.2. Ecuación Diferencial de Transferencia de calor	13
2.3. Condiciones iniciales y a la frontera.....	15
2.4. Interfaz de TermoGal.....	15
2.4.1. Características de la interfaz	15
2.4.2. Interfaz entre el modelo TermoGal y el usuario	16
Capítulo 3. Resultados y discusión	21
3.1. Estudio paramétrico	21
Capítulo 4. Resumen y conclusiones	30
Bibliografía	32
Apéndice I.....	33
Código de la Interfaz de TermoGal	33
Apéndice II	66

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

Hoja de control de datos del modelo “TERMOGAL” 66
Apéndice III 68
Programa computacional para la optimización de la velocidad de la lámina de acero. 68

NOMENCLATURA

Variable	Descripción	Unidad
A_s	Área superficial de la lámina de acero	m^2
Bi	Número de Biot ($Bi=h\delta/2k_s$)	---
C_s	Capacidad calorífica	$J / kg^{\circ}C$
h	Coefficiente combinado de transferencia calor, convectivo más radiativo, ($h = h_c + h_r$)	W / m^2K
h_c	Coefficiente convectivo de transferencia de calor	W / m^2K
h_r	Coefficiente radiativo de transferencia de calor	W / m^2K
k	Conductividad térmica de los gases	W/mK
k_s	Conductividad térmica del acero de la lámina	W/mK
L	Longitud del horno	m
Nu	Número de Nusselt ($Nu=hL/k$)	---
t	Tiempo transcurrido desde la transición entre rollos	s
T	Temperatura de la lámina de acero	$^{\circ}C$
T_0	Temperatura ambiental	$^{\circ}C$
T_{cal}	Temperatura calculada	$^{\circ}C$
T_g	Temperatura de los gases	$^{\circ}C$
T_f	Temperatura de las paredes del horno	$^{\circ}C$
T_{med}	Temperatura medida	$^{\circ}C$
V_L	Velocidad de la lámina	m / min
W	Ancho de la lámina	m

LISTA DE SIMBOLO GRIEGOS

Símbolo	Descripción	Unidad
δ	Espesor de la lámina de acero	mm
Δx	Longitud del volumen de control	mm
θ	Temperatura adimensional	---
ρ_s	Densidad del acero de la lámina	kg / m ³

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Representación esquemática de un sistema de galvanizado continuo, formado por un horno túnel, el sistema de enfriamiento de lámina y un baño de zinc donde se recubre continuamente la lámina de acero. Adaptada de (SteelDynamics, 2021).....	5
Figura 1.2. Perfil de sobrecalentamiento calculado a través del ancho de una lámina, teniendo en cuenta tres temperaturas en el centro de la propia lámina. Adaptada de Taylor y Wang. (2017).....	6
Figura 1.3. Curvas de enfriamiento medidas en una lámina estática de acero al situar los orificios de salida de aire a distintas distancias de la lámina de acero. Adaptada de Chen y cols. (2017).	8
Figura 1.4. Coeficiente combinado de transferencia de calor en función de la temperatura de la lámina, correspondiente a las curvas de enfriamiento de la Figura 1.3. Adaptada de Chen y cols. (2017).	8
Figura 1.5. Temperatura calculada en una lámina a la salida del sistema de enfriamiento en función de la proporción de H ₂ en el gas. Cada curva corresponde a una velocidad del gas proyectado sobre la lámina. Adaptada de Chen y cols. (2017).....	9
Figura 1.6. Distribución calculada del coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie de la lámina de acero durante su paso por el sistema de jets múltiples de gas de enfriamiento. Adaptada de Carozzo y cols. (2017).....	10
Figura 2.1. Representación esquemática del dominio computacional seccionado en cuatro zonas con diferentes temperaturas del horno. Adaptada de Ochoa. (2020).....	13
Figura 2.2. Representación esquemática de una sección de lámina donde se indica un volumen finito con longitud Δx , un espesor δ , un ancho W , que se mueve con la lámina a una velocidad uniforme, V_L , y un área de sección transversal, A . Ochoa. (2020). La lámina recibe calor a través de la superficie, A_s	14
Figura 2.3. Menú inicial de la interfaz.....	17
Figura 3.1. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 1.	21
Figura 3.2. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 2.	23

Figura 3.3. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 3.23

Figura 3.4. Perfiles térmicos de la lámina del Caso 4. a) En la transición, $t=0$, b) en $t=0$ y $t=10$ s después de la transición, c) en $t=0$, 10 y 60 s después de la transición y d) en $t=0$, 10, 60 y 120 s después de la transición.25

Figura 3.5. Interfaz con datos y perfiles térmicos de la lámina del Caso 5.26

Figura 3.6. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 6.27

Figura 3.7. Perfiles térmicos calculados de la lámina, caso 7, a distintos tiempos después de la transición: a) 0, b) 0 y 10 s, c) 0, 10 y 60 s y d) 0, 10, 60 y 120 s.28

Figura 3.8. Perfiles térmicos acumulados calculados de la lámina, caso 8, a distintos tiempos después de la transición: a) 0, b) 0 y 10 s, c) 0, 10 y 60 s, d) 0, 10, 60 y 120 s, e) 0, 10, 60, 120 y 180 s y f) 0, 10, 60, 120, 180 y 300 s.....29

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Identificación de funciones de botones o características de magnitudes en celda por su color. 19

Tabla 2.2. Composición química nominal de los aceros SG A y SG B, adaptado de Ochoa. (2020). 19

Tabla 2.3. Ventanas de operación para aceros SG A y SG B, adaptada de Ochoa. (2020). .20

Tabla 2.4. Secuencia de calentamiento de rollos consecutivos para el estudio paramétrico. Actual=rollo actualmente en el horno, Siguiente=rollo siguiente y por entrar al horno.20

Introducción

El proceso de galvanizado continuo por inmersión en un baño de zinc fundido ha ganado importancia en los últimos años por su impacto en la industria automotriz. Esta industria requiere altos volúmenes de lámina tratada térmicamente y que esté protegida contra la corrosión. El proceso de galvanizado continuo de lámina de acero consiste en alimentar rollos de lámina de acero a un horno túnel que mantiene un perfil térmico a lo largo de las distintas zonas que lo conforman. El acero se calienta hasta una cierta temperatura, por ejemplo, entre 850 y 900°C, para formar fase austenita. A la salida del horno, la lámina se enfría mediante la proyección de chorros de una mezcla gaseosa H₂-N₂ (“jet cooling”) para alcanzar temperaturas cercanas a 460°C. Esta es la temperatura del baño de zinc fundido donde se sumerge posteriormente la lámina de acero para formar el recubrimiento protector. La austenita del acero de la lámina se transforma a las fases martensita y/o bainita durante el proceso “jet cooling”. Finalmente, la lámina galvanizada se enfría a temperatura ambiente con agua.

Las líneas de galvanizado continuo pueden procesar rollos de lámina de diversos calibres y de distintos grados de acero. La operación es continua porque se suelda la “cola” de un rollo con la “punta” del rollo siguiente, asegurando la alimentación continua de lámina de acero al horno. La *transición* es este punto de unión entre rollos consecutivos, y se llamará *transición crítica* si existe una diferencia significativa entre los calibres de las láminas respectivas y/o entre los grados de acero de los rollos en cuestión. Esta diferencia puede requerir un cambio importante en las condiciones de calentamiento de la lámina para obtener su tratamiento térmico adecuado. Por lo anterior, se recurre a un cambio de la velocidad de lámina y/o un cambio del perfil térmico del horno. El cambio de velocidad modifica el tiempo de residencia de la lámina dentro del horno de forma casi instantánea, lo cual permite compensar la relativa lentitud para obtener un cambio significativo de temperatura en las zonas del horno. Los cambios de velocidad de lámina y de la temperatura se determinan con base en la temperatura de la lámina medida con pirómetros. Esta práctica requiere de conocer un programa de producción que permita anticipar las transiciones críticas, así como estimar los cambios de velocidad que se deberán aplicar a la línea. Sin embargo, los cambios de velocidad en línea se determinan con base a las temperaturas medidas por los pirómetros y el efecto que tiene la velocidad de la lámina en dichas temperaturas, en el caso eventual de que se requiera

modificar el programa de producción durante la operación, alterando con ello el orden de las transiciones críticas. El modelo computacional referido en este trabajo, llamado “TermoGal”, ha sido desarrollado para ser usado por los operadores como herramienta de cálculo en la reestimación de los cambios de la velocidad de la lámina durante transiciones críticas. De este modo, se evitaría distraer al personal especializado durante los cambios en el programa de producción, y se tendría un registro del historial térmico de la lámina.

En esta tesis se continuará con el desarrollo de la interfaz del modelo con el usuario. Para ello será necesario aplicar el modelo en una línea de producción. La retroalimentación recibida de dicha aplicación permitirá definir los últimos detalles que deberán incluirse en la interfaz.

Objetivos

Los objetivos de esta tesis son: 1) Entender e implementar los cambios necesarios en la interfaz entre TermoGal y el usuario para suministrar eficazmente los datos de configuración de un horno continuo y los respectivos datos de proceso de lámina, y 2) Entender e implementar los cambios en la interfaz que permitirán calcular iterativamente los cambios de velocidad requeridos por una transición crítica entre rollos.

Metas

Los objetivos se alcanzarán planteando las metas siguientes:

1. Diagnosticar del alcance de la interfaz en su estado actual.
2. Identificar todas las variables en la línea de producción y su incorporación eficiente en la interfaz.
3. Diseñar la interfaz para incluir información de todas las propiedades de los aceros, incluyendo las ventanas térmicas dentro de las cuales debe mantenerse la lámina.
4. Diseñar el protocolo de la interfaz que permita el cálculo de los cambios en la velocidad de la lámina requeridos por una transición crítica.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica

En esta sección se presenta, en primer término, una descripción del proceso de galvanizado continuo de lámina de acero. Posteriormente, se revisan los trabajos enfocados al pronóstico de la evolución de temperatura de la lámina durante su paso por hornos continuos y de la rapidez de enfriamiento del acero a su salida del propio horno y antes de sumergirse en la paila con zinc fundido.

1.1. Proceso de Galvanizado continuo del acero

La Figura 1.1 presenta de forma esquemática un sistema de galvanizado continuo de lámina de acero. Se suministra lámina a un horno túnel a una velocidad constante, V_L , que permite calentar al acero a una temperatura de austenizado. Esta temperatura generalmente se encuentra en el rango entre 800 a 900°C. Cada grado de acero requiere un rango particular de temperatura para su austenizado, conocido como ventana de operación, que tiene una amplitud entre 30 y hasta 80°C. La lámina que sale del horno pasa por la zona de enfriamiento lento donde la temperatura disminuye gradualmente alcanzando un cambio de fase a bainita. Posteriormente la lámina que sale del enfriamiento lento y pasa a la zona de “jet cooling” de una mezcla protectora de H_2-N_2 , donde se enfría para obtener una lámina a ~460°C, que es la temperatura del zinc fundido en la paila de galvanizado. La lámina se galvaniza por inmersión en el baño de zinc fundido. El exceso de zinc líquido arrastrado por la lámina se remueve mediante un jet plano de aire. Una vez galvanizada, la lámina se enfría con agua hasta alcanzar temperatura ambiente. Esta tesis está enfocada en los procesos térmicos que ocurren desde la entrada de la lámina al horno hasta su llegada a la paila con zinc.

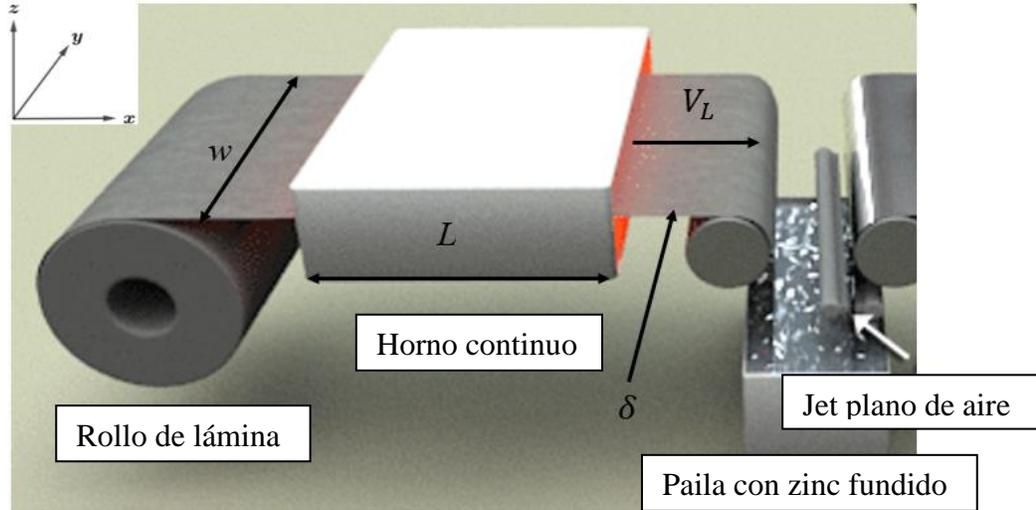


Figura 1.1. Representación esquemática de un sistema de galvanizado continuo, formado por un horno túnel, el sistema de enfriamiento de lámina y un baño de zinc donde se recubre continuamente la lámina de acero. Adaptada de (SteelDynamics, 2021).

1.2. Calentamiento continuo de la lámina

Taylor y Wang (2017) presentaron un modelo matemático para calcular la temperatura de la lámina durante su paso por un horno de calentamiento continuo. Como punto de partida, se planteó la ecuación diferencial de conducción de calor en la lámina que se mueve a una velocidad constante V_L .

$$\rho_s C_s \left(\frac{\partial T}{\partial t} + V_L \frac{\partial T}{\partial x} \right) = k_s \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (1.1)$$

$$\text{Dominio} = \left\{ (x, y, z): 0 \leq x \leq L, -\frac{w}{2} \leq y \leq \frac{w}{2}, 0 \leq z \leq \delta \right\}$$

donde ρ_s , C_s y k_s son la densidad, la capacidad calorífica y la conductividad térmica del acero de la lámina, respectivamente; $T(x, y, z, t)$ representa a la temperatura del acero como una función de las coordenadas rectangulares y del tiempo t ; w y δ son el ancho y espesor de la lámina, respectivamente, y L es la longitud del horno.

Los autores resolvieron la Ecuación (1.1) considerando condiciones en estado estable, conducción de calor despreciable en la dirección de movimiento de la lámina (x) debido a la relativamente alta velocidad de la lámina, temperatura uniforme a través de la dirección del espesor de la lámina (z) debida al pequeño espesor de la lámina, y las condiciones de frontera

siguientes: En la entrada al horno, $x = 0$, la temperatura es constante T_0 , que es una condición de frontera de Dirichlet, $T(0, y, z, t) = T_0$; en la superficie de los cantos de la lámina se tiene una condición de frontera Cauchy, es decir el calor que llega a esas superficies se conduce hacia el interior de la misma en la dirección del ancho de la lámina (y). Los autores consideran que la temperatura varía en la dirección (y) debido a que la superficie de los cantos de la lámina es más rugosa que la superficie principal de la lámina, esto como resultado del proceso de laminación en frío de la lámina. La mayor rugosidad provoca una menor reflectancia de la radiación recibida, es decir la lámina absorbe más calor por sus cantos que por la superficie principal de la lámina.

La Figura 1.2 muestra los perfiles de la diferencia de temperaturas, local y en el centro, calculados a lo ancho de la lámina cuyo semi-ancho es 0.25 m. Se presentan curvas correspondientes a 3 temperaturas distintas en el centro de la lámina, $y=0$, de 649, 726 y 802 K. Puede notarse que esta diferencia se incrementa desde una distancia de 0.21 m del centro de la lámina, con incrementos de 3, 4 y 5 K, respectivamente. El valor de T_1 varía porque la temperatura en el centro de la lámina cambia con la posición x , dentro del horno. En esencia, la temperatura de la lámina es uniforme a lo ancho de la misma, y su incremento máximo de 5 K ocurre a lo largo de una distancia de solo 0.04 m desde la orilla.

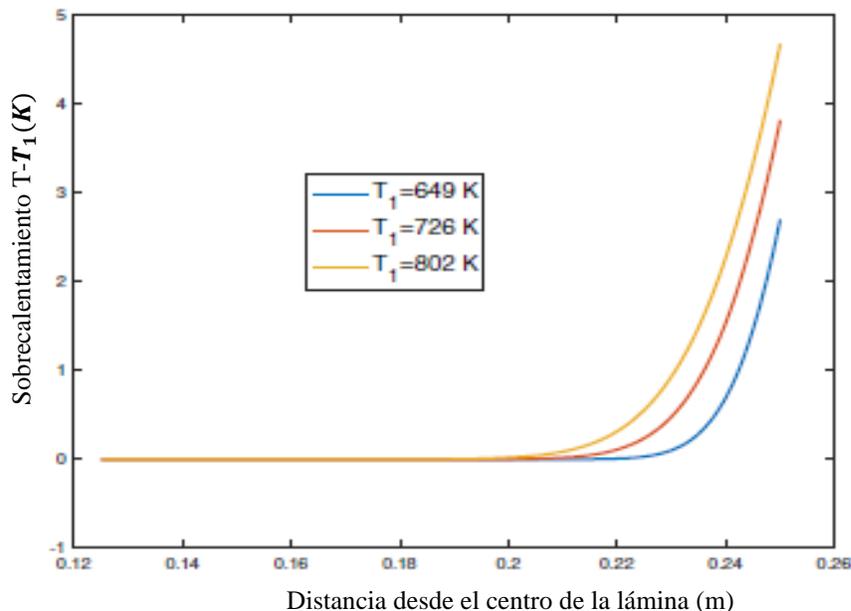


Figura 1.2. Perfil de sobrecalentamiento calculado a través del ancho de una lámina, teniendo en cuenta tres temperaturas en el centro de la propia lámina. Adaptada de Taylor y Wang. (2017).

1.3. Enfriamiento de la lámina de acero

La lámina de acero se somete a elevadas temperaturas dentro del horno que podrían promover la oxidación de su superficie. Para evitar esta situación indeseable, se crea una atmósfera protectora de una mezcla de gases H_2-N_2 que fluye a contracorriente del movimiento de la lámina. Esta mezcla se proyecta en forma de jets a temperatura ambiente sobre la superficie de la lámina cuando ésta sale del horno. Esto tiene el propósito de controlar la temperatura superficial de la lámina a un valor cercano a $460^\circ C$, antes de su inmersión en el baño de zinc. Dicha temperatura es similar a la del baño de zinc lo que permite obtener un recubrimiento protector de zinc con la calidad requerida. Por otra parte, los gases que fueron calentados por el contacto con la lámina son colectados para su enfriamiento en intercambiadores de calor y a continuación son realimentados al sistema canalizándolos por la salida del horno continuo, en dirección opuesta al movimiento de la lámina. En las siguientes secciones se presentan algunos estudios relevantes para el presente trabajo.

1.3.1. Enfriamiento de lámina estática

La rapidez de remoción de calor desde una superficie sólida estática con un jet de gas es un sistema que ha sido estudiado previamente. Los estudios de carácter general permiten aplicar el conocimiento generado a otros sistemas con sólidos y gases distintos a los usados en aquellos experimentos. Chen y cols. (2017) estudiaron con experimentos de laboratorio el proceso de enfriamiento, usando un flujo de aire sobre láminas de acero inoxidable AISI 310 de 1 mm de espesor precalentadas en un horno de resistencia eléctrica a $\sim 850^\circ C$. Los autores usaron una rejilla con múltiples orificios de 5 mm de diámetro desde los cuales se proyectó aire a una velocidad entre 20 a 50 m/s. Estos orificios se situaron a una distancia entre 20-50 mm de la superficie de la lámina. La Figura 1.3 muestra curvas de enfriamiento medidas cuando se sitúan los orificios a distintas distancias de la superficie de la lámina. La tendencia general es que son aproximadamente paralelas entre sí, aunque al tiempo de 0.5 segundos se observa un desfaseamiento entre ellas. Esto puede atribuirse al mayor efecto refrigerante del aire al reducir la distancia entre los orificios y la lámina.

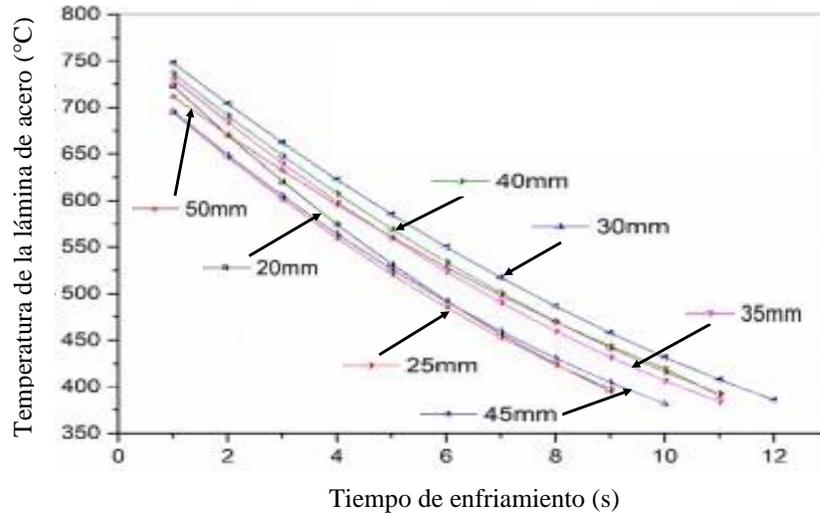


Figura 1.3. Curvas de enfriamiento medidas en una lámina estática de acero al situar los orificios de salida de aire a distintas distancias de la lámina de acero. Adaptada de Chen y cols. (2017).

La Figura 1.4. muestra el coeficiente combinado de transferencia de calor, en función de la temperatura de la lámina, correspondientes a las curvas de enfriamiento de la Figura 1.3. El coeficiente aumenta al reducirse la distancia entre los orificios y la superficie de la lámina.

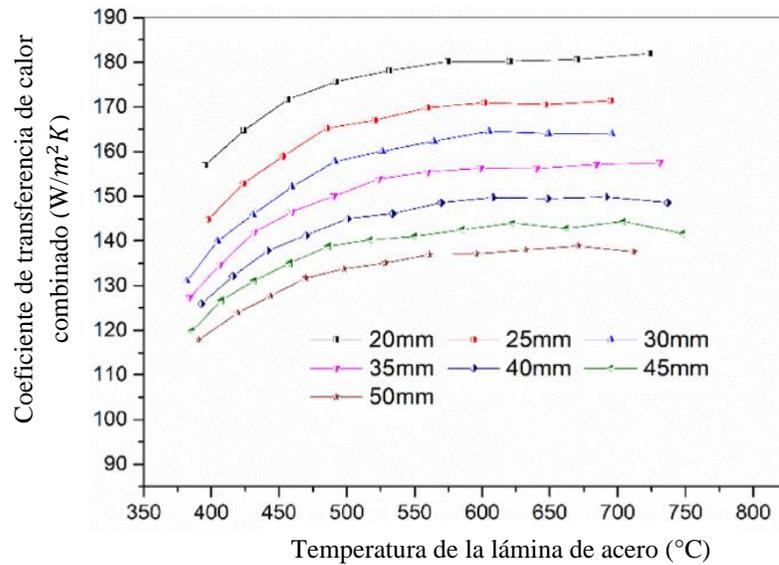


Figura 1.4. Coeficiente combinado de transferencia de calor en función de la temperatura de la lámina, correspondiente a las curvas de enfriamiento de la Figura 1.3. Adaptada de Chen y cols. (2017).

1.3.2. Enfriamiento de lámina en movimiento

Los autores del trabajo previamente descrito, Chen y cols. (2017), también calcularon el enfriamiento que sufriría una lámina en una línea de producción, usando una mezcla de gases H_2-N_2 . La Figura 1.5 muestra la temperatura calculada en el acero a su salida del sistema de enfriamiento, como una función de la proporción de H_2 en el gas de enfriamiento. Se consideraron flujos constantes de gas a las velocidades indicadas en la figura. Se observa que el hidrógeno promueve el enfriamiento de la lámina, lo que se atribuye a la relativamente más alta conductividad térmica de este gas con respecto a la del N_2 . También se muestra que, al aumentar la velocidad del gas de enfriamiento, disminuye la temperatura de salida de la lámina.

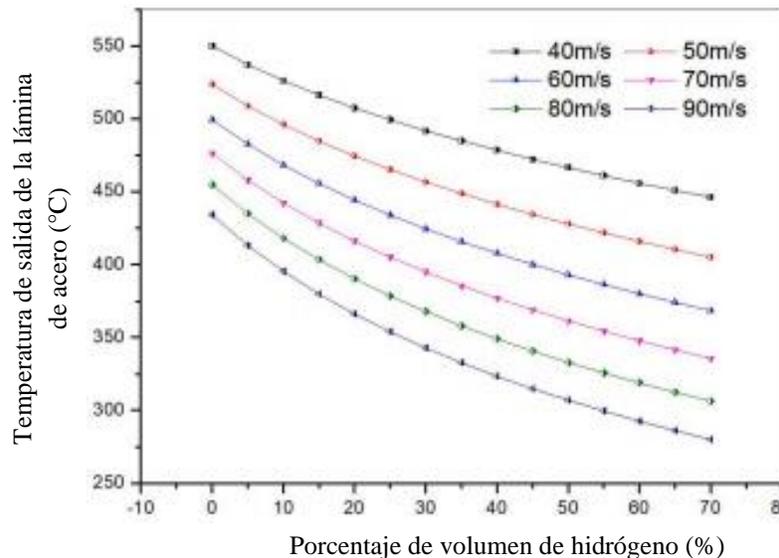


Figura 1.5. Temperatura calculada en una lámina a la salida del sistema de enfriamiento en función de la proporción de H_2 en el gas. Cada curva corresponde a una velocidad del gas proyectado sobre la lámina. Adaptada de Chen y cols. (2017).

Carozzo y cols. (2017) reportaron la distribución calculada de temperatura sobre la superficie de una lámina en movimiento a través de un sistema de refrigeración con jets múltiples de gas. El modelo desarrollado se basa en la solución simultánea de las ecuaciones diferenciales de flujo de fluidos y calor en los gases y la ecuación de conducción en el acero. A diferencia de los modelos previamente descritos, este modelo permite calcular la distribución del coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie de la lámina. Además, permite

visualizar detalladamente el mecanismo de impacto de los jets múltiples sobre la superficie de la lámina, lo cual es útil para optimizar el flujo de gas empleado para el enfriamiento.

La Figura 1.6. muestra la distribución calculada del coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie de la lámina en su paso por el sistema de jets múltiples de gas. Cada “celda” corresponde a la huella de una boquilla.

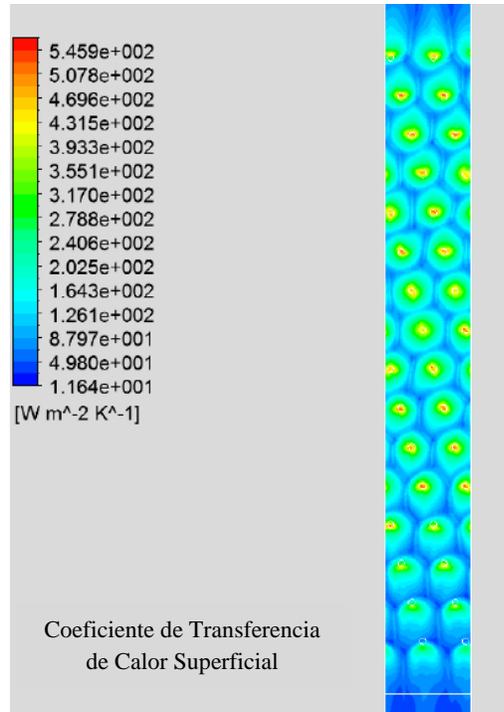


Figura 1.6. Distribución calculada del coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie de la lámina de acero durante su paso por el sistema de jets múltiples de gas de enfriamiento. Adaptada de Carozzo y cols. (2017).

Wan y cols. (2012), reportaron el modelado computacional de la temperatura de una lámina a la salida de la sección de enfriamiento rápido de un horno continuo vertical. Los autores reportaron que dicha temperatura es sensible a los factores siguientes: Propiedades termofísicas del gas refrigerante, el coeficiente de transferencia de calor entre la lámina y el gas de enfriamiento, y la capacidad calorífica del acero de la lámina. La temperatura se calculó considerando que una sección de lámina en movimiento se enfría del modo Newtoniano, es decir su temperatura es homogénea, pero varía con el tiempo conforme la lámina se desplaza bajo los jets de enfriamiento. El coeficiente de transferencia de calor se

determinó mediante una correlación empírica escrita en términos del número de Nusselt ($Nu=hL/k$), misma que los autores reportan como propia porque se generó usando sus mediciones de temperatura.

1.4. Hornos sin inercia térmica

No se ha encontrado algún trabajo reportado en la literatura que tenga gran semejanza al desarrollo de la tesis presente referente a hornos convencionales. Sin embargo, dado que la inercia térmica de los hornos convencionales juega un papel importante en el tratamiento térmico de lámina durante transiciones críticas, se presentan dos trabajos recientes sobre calentamiento de metal en sistemas sin inercia térmica.

Deminovich y cols. (2019) presentaron el estudio de sistemas de control de temperatura en líneas de tratamiento térmico continuo. Los autores consideran sistemas que emplean inducción electromagnética como fuente de calentamiento del metal, logrando con ello eliminar la inercia térmica que es propia de los hornos convencionales con masivas paredes radiantes. El calentamiento del metal se lleva a cabo en una línea que consta de por lo menos tres secciones, y su temperatura, medida con pirómetro, permite regular la potencia que debe suministrarse a los inductores.

Díaz y cols. (2021) presentaron un modelo numérico para simular el calentamiento resistivo durante el tratamiento térmico continuo de cremalleras de dirección automotriz. El calor se genera por efecto Joule al hacer pasar una corriente alterna a través de las piezas metálicas. De manera similar al calentamiento inductivo, este calentamiento resistivo no tiene la inercia térmica propia de los hornos convencionales.

Ambos métodos de calentamiento continuo muestran un desarrollo tecnológico limitado, por lo que aún no se emplean de manera generalizada en las líneas de producción. Sin embargo, son promisorios en el futuro. Cabe hacer notar que el modelo computarizado “TermoGal”, usado en la presente tesis, está basado en principios de transferencia de calor por lo que podría adaptarse a cualquier forma de calentamiento, ya sea por una fuente de calor inductiva o resistiva.

Capítulo 2. Metodología

El presente trabajo tiene como punto de partida una interfaz desarrollada previamente (Aréchiga, 2021). Ésta no considera el proceso de enfriamiento de la lámina mediante los jets de H₂-N₂ que se encuentran a la salida del horno y antes de la paila con zinc fundido, ni el efecto refrigerante de la mezcla de gases sobre la lámina dentro del horno. Además, la interfaz tampoco habilita al usuario para hacer cambios de temperatura en las distintas zonas del horno, ni cambios en la velocidad de rollos consecutivos. La interfaz es un programa que debe desplegar un menú gráfico en la pantalla para que el usuario controle los datos de los rollos de acero, ejecute el programa TermoGal y grafique el perfil de temperatura a distintos tiempos contados a partir de la transición. También debe aparecer la ventana de temperatura, por zona, que cada acero debe cumplir durante su paso por el horno continuo. Los cambios que incluye la nueva interfaz son los siguientes:

1. Un menú con los datos tabulados de los perfiles de temperatura en las paredes del horno y en la mezcla N₂-H₂ que fluye a contracorriente del movimiento de la lámina.
2. Implementación de los archivos y menús necesarios para ejecutar cálculos de temperatura de lámina en cualquiera de los siguientes casos.
 - a) *Inicio de secuencia*. El rollo de interés está precedido por un rollo para el cuál no hay un cálculo previo de su temperatura. La condición inicial se define con un perfil térmico estándar (por omisión) en la lámina, pero puede cambiarse manualmente a un perfil basado en las mediciones pirométricas actuales en la línea de producción.
 - b) *Transición*. El rollo de interés está precedido por un rollo para el cuál si hay un cálculo previo de temperatura. La condición inicial se obtiene del archivo de resultados de temperaturas calculadas para dicho rollo previo, pero puede editarse para especificar un perfil medido actualmente de temperatura.
 - c) *Repetición del cálculo*. Ocasionalmente se requiere repetir un cálculo por un dato corregido o para calcular iterativamente el cambio en la velocidad de la lámina necesario para mantener óptimamente su temperatura dentro de la ventana de operación.
3. Implementación del sistema de administración de los archivos de datos y de resultados para generar un registro histórico de los cálculos realizados.

2.1. Dominio de cálculo

La Figura 2.1 muestra esquemáticamente el dominio computacional dividido en cuatro zonas, que inician desde la entrada al horno, la zona de calentamiento por flama directa (zona 1), las zonas de calentamiento por resistencias eléctricas y tubos radiantes, donde se alcanza y estabiliza la mayor temperatura de lámina (zonas 2A y 2B), la zona de enfriamiento lento, todavía dentro del horno (zona 3) y la zona de enfriamiento rápido, fuera del horno (zona 4). En esta última, se emplean jets múltiples de una mezcla de gases $N_2 - H_2$ para promover que la lámina alcance una temperatura de $\sim 460^\circ\text{C}$ justo antes de entrar al baño de zinc fundido, (Ochoa, 2020). La figura también muestra algunos pirómetros que registran la temperatura de la superficie de la lámina en distintas zonas, TL_1 , TL_{2A} , TL_{2B} , TL_3 y TL_4 . Además, se considera que el perfil de temperatura de los gases, $T_g(x)$, es distinto al perfil de temperatura del horno, $T_f(x)$, excepto en la zona 1, donde son mutuamente equivalentes.

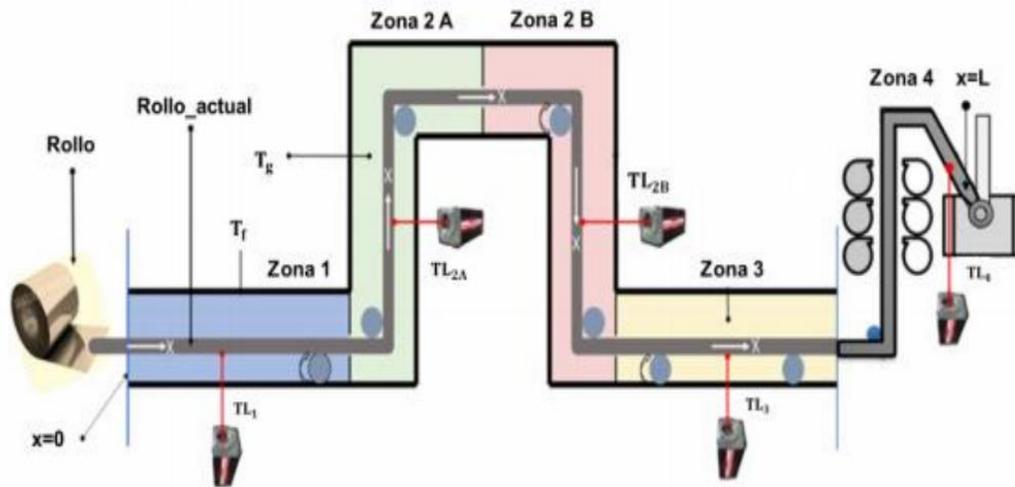


Figura 2.1. Representación esquemática del dominio computacional seccionado en cuatro zonas con diferentes temperaturas del horno. Adaptada de Ochoa. (2020).

2.2. Ecuación Diferencial de Transferencia de calor

La Figura 2.2 muestra una representación esquemática de lámina continua de acero moviéndose a una velocidad constante, V_L . La ecuación diferencial gobernadora de la transferencia de calor se obtiene a partir del principio de conservación de energía aplicado a un volumen finito de lámina y se expresa de la forma siguiente (Ochoa, 2020):

$$-\frac{\partial(\rho C_p T V_L)}{\partial x} + \frac{2q}{\delta} = \frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} \quad (2.1)$$

donde ρ y C_p son la densidad y el calor específico del acero, respectivamente, T es la temperatura local, δ es el espesor de la lámina de acero, q es la densidad de flujo de calor combinado, radiación más convección, a través de la superficie de la lámina, x es la posición medida desde la entrada al horno y t es el tiempo transcurrido desde la transición.

Las simplificaciones hechas en el modelo térmico se describen a continuación:

- I. La densidad del acero ρ es constante y el calor específico C_p depende de la temperatura. No se considera a la conductividad térmica debido a las simplificaciones II y III.
- II. El número de *Biot* es igual a $h\delta/(2k)$, y para nuestro sistema es $Bi < 0.1$ lo cual corresponde a un calentamiento Newtoniano. Es decir, la temperatura puede considerarse uniforme a través del espesor de la lámina, δ .
- III. La rapidez de conducción de calor en la dirección x es despreciable frente a la rapidez de transporte de energía por advección, es decir por el propio movimiento de la lámina. Esto se justifica con base en el número de *Péclet* que es igual a $V_L\delta/(2\alpha)$. En nuestro sistema, $Pe > 10$ lo cual indica que el transporte de energía por advección es dominante.

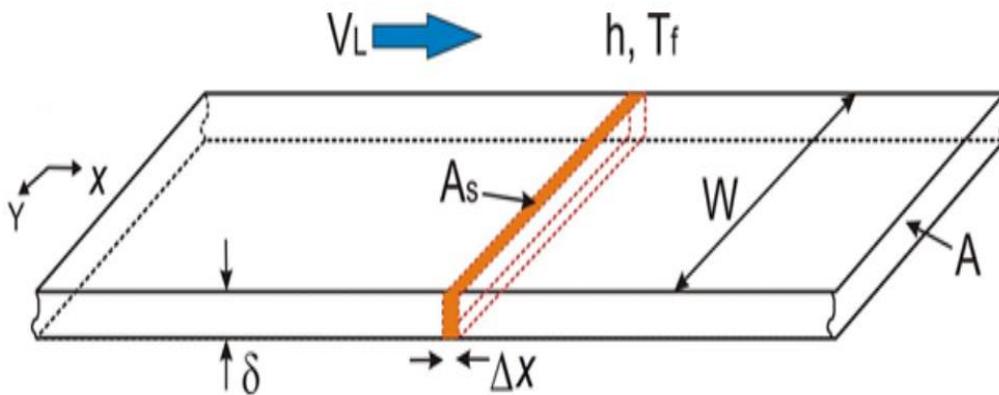


Figura 2.2. Representación esquemática de una sección de lámina donde se indica un volumen finito con longitud Δx , un espesor δ , un ancho W , que se mueve con la lámina a una velocidad uniforme, V_L , y un área de sección transversal, A . Ochoa. (2020). La lámina recibe calor a través de la superficie, A_s .

2.3. Condiciones iniciales y a la frontera

La temperatura inicial de la lámina en el horno corresponde al perfil de temperatura $T(x)$ justo al momento de la transición ($t=0$). Nótese que dicho perfil corresponde al rollo previo al rollo cuya temperatura se desea calcular. Este perfil térmico se puede generar a partir de mediciones pirométricas de temperatura de lámina en las distintas zonas del horno o bien se puede leer del archivo de resultados calculados del rollo previo.

Por otro lado, la Ec. (2.1) requiere una sola condición a la frontera, ya que es una ecuación diferencial de orden uno. Esta condición corresponde a la temperatura ambiental, T_0 , a la entrada del horno, de acuerdo con la expresión siguiente.

$$0 \leq t \leq t_f, \text{ en } x = 0, T = T_0 \quad (2.2)$$

siendo t_f el tiempo transcurrido hasta que la cola del rollo alcance la posición de la entrada al horno.

2.4. Interfaz de TermoGal

La interfaz desarrollada previamente por Aréchiga [2022] está enfocada al suministro de datos y graficado de resultados para un horno simplificado, considerando además una base de datos también simplificada. En esta tesis se desarrolló nuevamente la interfaz partiendo desde cero. La interfaz es un código escrito en la plataforma MatLab y permite la ejecución del programa escrito en lenguaje Fortran, TermoGal.

2.4.1. Características de la interfaz

Antes de describir la forma de suministrar las condiciones iniciales, conviene resaltar que esta interfaz se usará, preferencialmente, cuando existan transiciones críticas; es decir cuando los rollos consecutivos tengan diferencias significativas en sus espesores y/o en sus temperaturas de tratamiento. De otra forma, también podría usarse, pero sin una utilidad real ya que el proceso seguramente no requeriría un cambio en la velocidad de la lámina. La interfaz considera varios casos de condiciones iniciales. Estos casos son los siguientes:

- a) **Inicio de secuencia.** Este caso corresponde al inicio de los cálculos del día. Por lo tanto, no se tienen resultados de temperatura calculada para el rollo que se encuentra dentro del horno. Sin embargo, la interfaz permite suministrar esta

condición inicial de dos formas. La primera es aceptando un perfil estándar de temperatura (por omisión), y la segunda es suministrar manualmente las temperaturas registradas en ese momento por los pirómetros distribuidos a lo largo del horno.

- b) **Transición.** En este caso si se cuenta con un perfil previamente calculado de temperatura de lámina. Sin embargo, la interfaz también permite suministrar las temperaturas medidas en ese momento con los pirómetros.
- c) **Repetición de un cálculo.** Este caso surge al momento de optimizar el cambio de velocidad de la lámina. Se modifica la velocidad de la lámina del rollo en cuestión, así como el tiempo transcurrido desde la transición para aplicar dicho cambio. Si se desea, se puede modificar algún otro dato y se procede a ejecutar el modelo TermoGal. La representación gráfica del perfil calculado de temperatura de lámina en distintos tiempos permite revisar si la temperatura se encuentra dentro de la ventana térmica requerida. En caso negativo, se modifica la velocidad de lámina y se ejecuta un nuevo cálculo, repitiendo este proceso hasta obtener el resultado buscado.

2.4.2. Interfaz entre el modelo TermoGal y el usuario

La interfaz fue preparada en GUIDE, versión 2018b de MatLab, y empleando programación visual. La interfaz presenta un menú para suministrar los datos de dos rollos consecutivos: El rollo previo, cuyo perfil de temperatura constituye el dato de temperatura inicial, y el rollo que sigue detrás y cuyo perfil de temperatura se desea calcular. Para ambos rollos se deben suministrar datos tales como el número de identificación del rollo (ID), el espesor de lámina de acero, la velocidad de lámina, el grado de acero, etc. Adicionalmente, se deben suministrar los perfiles de temperatura del horno y de los gases a lo largo del horno. Estos perfiles son mutuamente distintos, excepto en la zona de calentamiento por flama directa (zona 1).

La Figura 2.3 muestra el menú, formado por 4 bloques de datos y un espacio para un gráfico. Los dos bloques a la izquierda, titulados ROLLO ACTUAL, corresponden a los datos del rollo que se encuentra en el horno. Estos datos serán la condición inicial para el cálculo de interés que es la temperatura del rollo siguiente, cuyos datos se encuentran en los bloques situados a la derecha con el título ROLLO SIGUIENTE. Finalmente, el gráfico permite

visualizar el perfil térmico de la lámina a lo largo del horno y calculado para diferentes tiempos contados desde la transición. La forma de operar la interfaz para cada uno de los casos de datos iniciales disponibles es la siguiente.

Inicio de secuencia. Se oprime el botón “Cargar datos” en el bloque ROLLO ACTUAL, y con ello toma datos estándar como punto de partida. A continuación, se procede a editar los campos pertinentes, incluyendo la temperatura de lámina. Se oprime el botón “Actualizar datos” y se continúa con el mismo procedimiento para el bloque ROLLO SIGUIENTE. Hay que señalar que en este punto se debe suministrar los perfiles de temperatura del horno y de los gases. Los datos de ambos rollos se cargan directamente de archivos existentes en el directorio del disco duro, llamados ROLLO_ACTUAL.TXT y ROLLO.TXT, respectivamente. Una vez que los parámetros se hayan cargado, los botones llamados “actualizar datos” cambian a color naranja. Al oprimir el botón en ambos recuadros la información se actualizará en los archivos *.txt, para un inicio de secuencia y una transición.

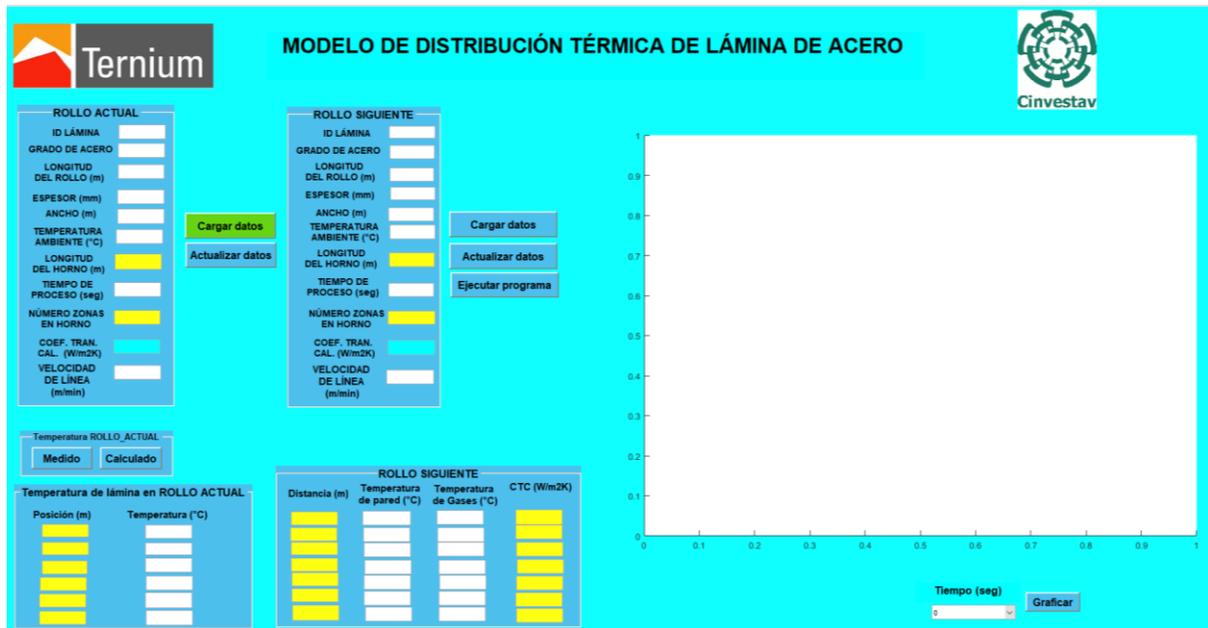


Figura 2.3. Menú inicial de la interfaz.

Transición. En este caso se cuenta con datos y resultados del rollo actual, por lo que primero se suministra el ID del rollo. Con este dato, la interfaz buscará el archivo de datos respectivo y lo desplegará. Asimismo, el perfil calculado de temperatura de lámina también se leerá del archivo respectivo y se desplegará en el bloque correspondiente. La interfaz provee la opción de que el usuario pueda escoger un perfil térmico medido para el rollo actual en lugar del

calculado. La información para el rollo siguiente se suministra como se describió previamente.

Repetición del cálculo. Este caso se resuelve editando los datos pertinentes y actualizando los archivos de datos. Los archivos de resultados de temperatura conservarán solamente el último cálculo realizado.

Los datos suministrados en cada celda son:

Bloque “ROLLO ACTUAL”: Identificador de rollo (ID), grado de acero, longitud del rollo (m), espesor de lámina (mm), ancho de lámina (m), temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), tiempo de proceso (s) (tiempo transcurrido desde la transición hasta el cambio de velocidad de la línea), número de zonas en horno, posición de los jets de $\text{N}_2\text{-H}_2$ (m), y velocidad de la línea (m/min).

Bloque “Temperatura de lámina en ROLLO ACTUAL”: Incluye las posiciones constantes de los pirómetros, medidas desde la entrada al horno, y la temperatura de lámina medida más recientemente por cada pirómetro.

Bloque “ROLLO SIGUIENTE”: Contiene los mismos parámetros que ROLLO ACTUAL, además de la posición de termopares a lo largo del horno (m), la temperatura de la pared del horno ($^{\circ}\text{C}$), la temperatura de los gases a contraflujo ($^{\circ}\text{C}$), y el coeficiente convectivo de transferencia de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) sobre la superficie de la lámina en la zona de enfriamiento con jets de $\text{H}_2\text{-N}_2$.

Gráfica: Muestra la gráfica del perfil de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la lámina desde la entrada del horno y a diferentes tiempos (s) transcurridos desde la transición.

Los colores en los botones y casillas juegan un papel conveniente para guiar al usuario en el empleo de la interfaz. La Tabla 2.1 muestra los colores que el usuario debe de identificar durante el proceso de cálculo. Las casillas editables están en color blanco, y el usuario puede cambiar los parámetros a voluntad. Las casillas en color amarillo son parámetros constantes, i.e. que no cambiarán. Sin embargo, la celda en color verde permite cambiar el coeficiente de transferencia de calor a la entrada de los chorros de enfriamiento. Este cambio es importante, ya que al cambiar la velocidad de la lámina se modifica la velocidad de toda la línea, incluyendo la lámina que está pasando por la zona de enfriamiento con $\text{H}_2\text{-N}_2$.

Tabla 2.1. Identificación de funciones de botones o características de magnitudes en celda por su color.

Color	Función de cada botón
	Cargar datos, ejecutar programa y graficar.
	Actualizar datos, medido y calculado.
	Botón desactivado.
Características de las magnitudes	
	Coeficiente de transferencia de calor (W/m^2K) en la posición a la entrada de la zona de enfriamiento con la mezcla H_2-N_2 (jet coolers).
	Los parámetros longitud de horno (m), número de zonas en el horno, y posición de chorros de enfriamiento (m), son constantes.
	Los parámetros ID de lámina, grado de acero, ancho (m), longitud de rollo (m), espesor (mm), temperatura ambiente ($^{\circ}C$), tiempo de proceso (s) y velocidad de línea (m/min) pueden cambiar para cada rollo.

2.5. Condiciones de operación

Para realizar el estudio se consideró un estudio paramétrico reportado en una tesis anterior (Ochoa, 2020), con 8 rollos de prueba procesados de forma consecutiva bajo condiciones hipotéticas. En estas pruebas se incluyen dos grados de acero¹, SG A y SG B, cuya composición química nominal se muestra en la Tabla 2.2. La densidad, el calor específico y las ventanas térmicas son función de dicha composición.

Tabla 2.2. Composición química nominal de los aceros SG A y SG B, adaptado de Ochoa. (2020).

	%C	%Mn	%P	%S	%Al	%Si	%Cr	%Cu	%Mo	%Nb	%B	%Ti
SG A	0.15	2.5	0.05	0.01	0.035	0.8	0.25	0.05	0.15	0.056	0.0004	0.02
SG B	0.23	2.9	0.05	0.01	0.04	0.225	0.025	0.03	0.0075	0.005	0.005	0.005

La Tabla 2.3 muestra los límites de temperatura mínima y máxima de dichas ventanas para cada acero y para cada zona del horno.

¹ Los grados de acero tienen nombres hipotéticos por respeto a un convenio de confidencialidad con la empresa.

Tabla 2.3. Ventanas de operación para aceros SG A y SG B, adaptada de Ochoa. (2020).

Zona	Grado de acero SG A		Grado de acero SG B	
	T _{min} (°C)	T _{máx} (°C)	T _{min} (°C)	T _{máx} (°C)
1	670	750	610	700
2A	780	840	720	780
2B	780	840	720	780
3	640	740	600	700
4	430	470	430	470

La Tabla 2.4 muestra los espesores de lámina y grados de acero considerados en los 8 casos. En éstos, los rollos son alimentados al horno continuo de forma consecutiva. Todos los casos corresponden a transiciones críticas. En la mayoría de los casos se varía una variable a la vez, excepto en los casos 4, 7 y 8 donde se varían simultáneamente espesor de lámina y grado de acero. Se busca reproducir el estudio paramétrico reportado previamente, pero con las actualizaciones en la interfaz.

Tabla 2.4. Secuencia de calentamiento de rollos consecutivos para el estudio paramétrico. Actual=rollo actualmente en el horno, Siguiente=rollo siguiente y por entrar al horno.

Caso	Espesores de lámina (mm)		Grados de acero	
	Actual	Siguiente	Actual	Siguiente
1	2.5	2.0	SG A	SG A
2	2.0	1.0	SG A	SG A
3	1.0	0.5	SG A	SG A
4	0.5	0.7	SG A	SG B
5	0.7	1.5	SG B	SG B
6	1.5	2.5	SG B	SG B
7	2.5	0.5	SG B	SG A
8	0.5	2.5	SG A	SG B

Capítulo 3. Resultados y discusión

3.1. Estudio paramétrico

En esta sección se muestran los menús con los datos y resultados de los perfiles térmicos de la lámina del rollo actual y rollo siguiente. Se presentan los perfiles de temperatura de lámina para tiempos $t=0, 10$ y 120 s contados desde la transición. Estos perfiles corresponden al tiempo inicial, al tiempo de aplicación de los cambios de velocidad de lámina y del coeficiente convectivo de transferencia de calor por los jets de H_2-N_2 , y a un tiempo de estabilización de temperatura. Los perfiles térmicos de la lámina son iguales a los correspondientes reportados previamente (Ochoa, 2020) y satisfacen razonablemente bien los límites de las ventanas térmicas, que se representan con líneas horizontales punteadas.

Caso 1. La Figura 3.1 muestra el comportamiento térmico de la lámina para la transición que corresponde a un cambio de espesor de 2.5 a 2 mm. Los demás parámetros son constantes, tales como el grado de acero (SG A) y los perfiles térmicos de los gases y de la pared del horno. Para lograr mantener la temperatura de la lámina del rollo siguiente dentro de la ventana térmica respectiva, se incrementó la velocidad de la lámina de 20 a 25 m/min, a 10 s de la transición.

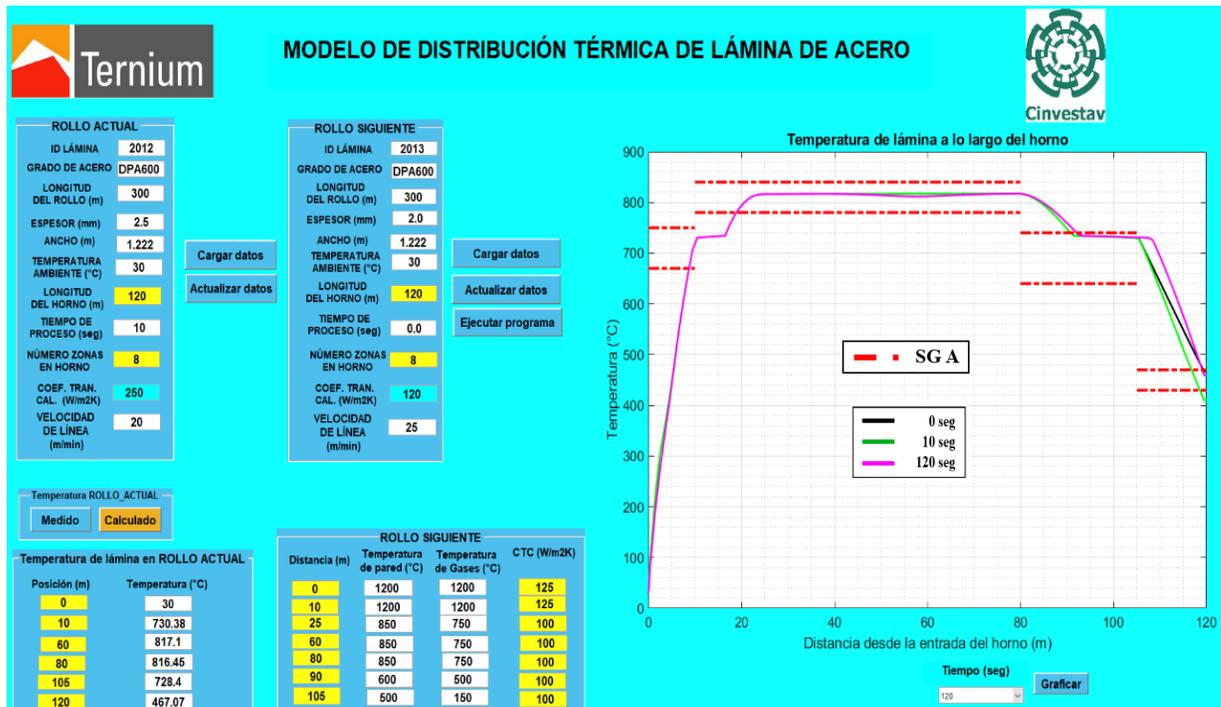


Figura 3.1. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 1.

Por otro lado, la gráfica de temperatura muestra que, durante dicho período de 10 s, la temperatura de la lámina de 2.5 mm que llega a la paila disminuyó por debajo de 460°C. Para recuperar su temperatura se procedió a disminuir el coeficiente de transferencia de calor en la zona de jets de H₂-N₂ de 250 a 120 W/m²K.

Caso 2. La Figura 3.2 muestra el comportamiento térmico de la lámina, con grado de acero SG A, para el rollo actual y rollo siguiente. El espesor de lámina cambió de 2 a 1 mm para el rollo siguiente. Así mismo, el cambio de la velocidad de lámina cambió de 25 a 45 m/min. Además, se redujo el coeficiente de transferencia de calor de 700 a 200 W/m²K. La temperatura de la lámina aumenta a una temperatura de 780°C en una distancia de 15 m de la entrada al horno. Posteriormente, la temperatura se eleva mostrando una perturbación alcanzando una temperatura máxima de 860°C a los 22 m, por lo que excede los límites de la ventana de operación. A 30 m de distancia la temperatura disminuye un grado por cada metro que recorre hasta entrar a la ventana de operación que es entre 780 a 840°C y una distancia de 80 m. Mas allá, la temperatura del acero disminuye considerablemente hasta que la lámina alcanza la distancia de 105 m, donde se encuentran los jets de gas. Sin embargo, para un tiempo t=10 s, la temperatura de lámina sale de la ventana de operación llegando a una temperatura de 269°C. En dicho tiempo se incrementa la velocidad de la lámina lo que permite reducir el tiempo de enfriamiento bajo los jets de gas y por ende aumentar la temperatura de lámina a ~456°C.

Caso 3. La Figura 3.3 muestra el perfil térmico para tiempos t = 0, 10 y 60 s. Considerando el mismo grado de acero SG A para ambos rollos, actual y siguiente. Los espesores de lámina son, en el rollo actual es de 1 mm y en el rollo siguiente de 0.5 mm. La velocidad para el rollo actual es de 45 m/min y para el rollo siguiente es 90 m/min. Esto obedece a que la lámina es más delgada por lo que debe reducirse el tiempo de residencia para evitar un sobrecalentamiento del acero. El coeficiente convectivo de transferencia de calor del rollo actual es 700 W/m²K, y para el rollo siguiente se estableció en 200 W/m²K. De manera similar a los casos anteriores, las condiciones de operación durante los primeros 10 s provocan que la temperatura de lámina al final del sistema se salga de la especificación de la ventana térmica con una temperatura de 202°C. En ese instante, se aplican los cambios de velocidad y del coeficiente convectivo, lo que favorece la recuperación de temperatura a 463°C, ver la curva para t = 60 s. Por otra parte, nótese que en el resto del horno y hasta la

salida de la zona 2, la temperatura de la lámina se mantiene dentro de la ventana en el rango de temperaturas 780 - 840°C.

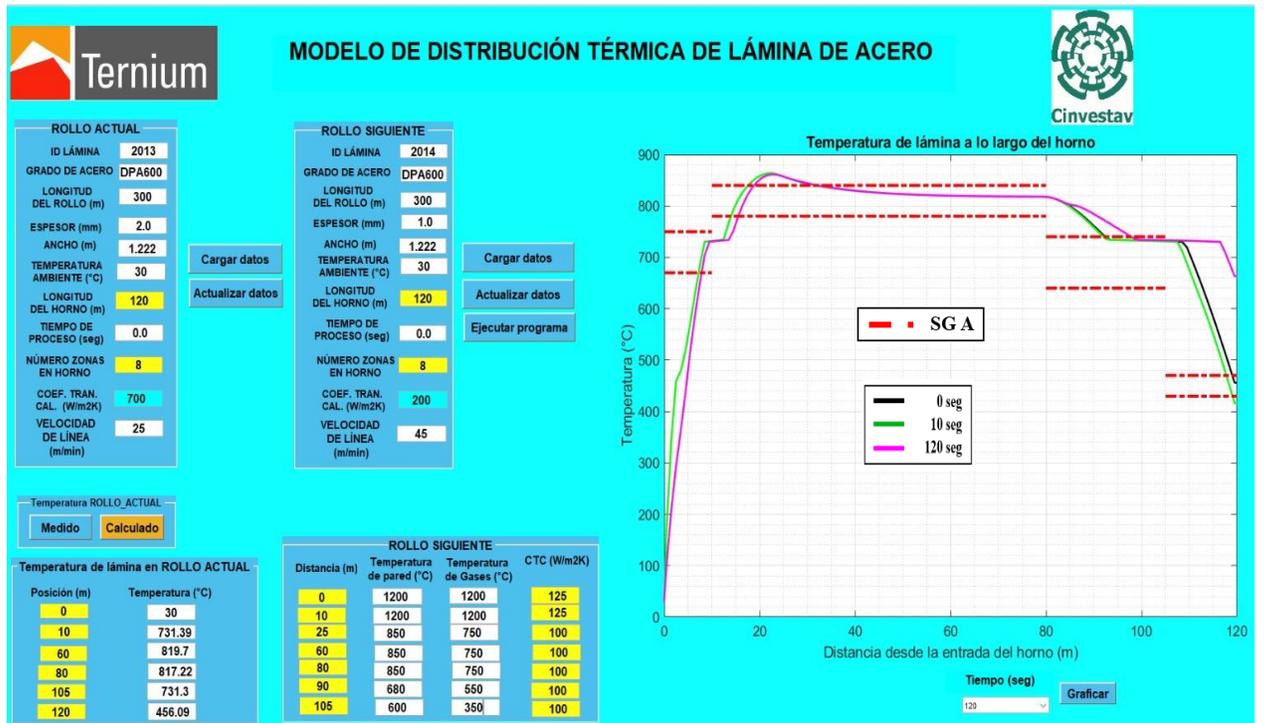


Figura 3.2. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 2.

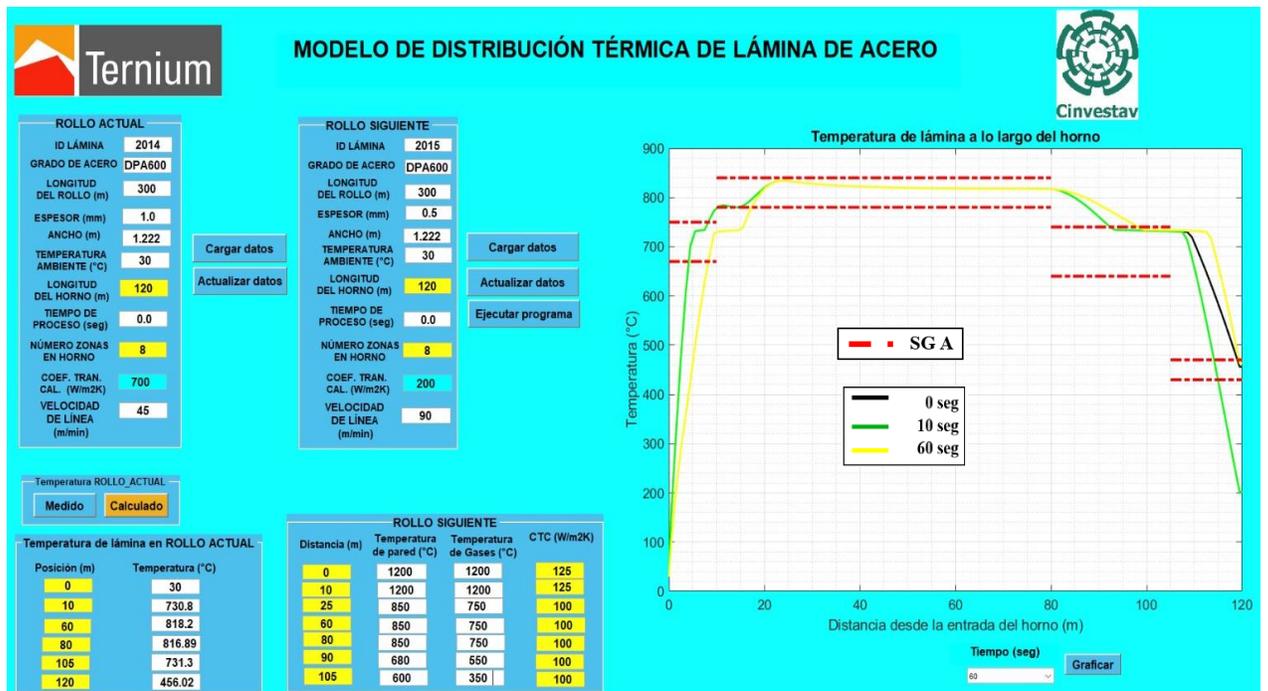


Figura 3.3. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 3.

Caso 4. Este caso corresponde a una transición que conlleva un cambio de grado del acero, SG A y SG B para los rollos actual y siguiente, respectivamente; así como espesores de lámina de 0.5 a 0.7 mm para los rollos actual y siguiente, respectivamente. Este ligero incremento del espesor de lámina demanda más tiempo de calentamiento, lo que se consiguió al disminuir la velocidad de 90 m/min para el rollo actual a 83 m/min para el siguiente. Así mismo, se redujo el coeficiente de transferencia de calor en la zona de enfriamiento con jets de H₂-N₂. Para el rollo actual es 700 W/m²K y para el rollo siguiente es 350 W/m²K. Las Figuras 3.4 (a)-(d) muestran los perfiles térmicos acumulados de lámina calculados al momento de la transición, y 10, 60 y 120 s después. La Figura 3.4 (a) muestra el perfil térmico de la lámina de acero SG A, que evidencia una temperatura por debajo de la ventana en el rango de posiciones entre 10 y 80 m de la entrada al horno. La Figura 3.4 (b) presenta los perfiles calculados en t=0 (línea color negro) y en t=10 s de la transición (línea color verde). La ventana térmica del acero SG B empieza a aparecer en el gráfico como resultado del avance de la lámina respectiva hasta una posición de 13.8 m. Después de dicha posición se tiene lámina de acero SG A, cuyo perfil de temperatura en t=10 s difiere del especificado en t=0 debido a los cambios de velocidad y coeficiente de transferencia de calor en la zona de enfriamiento con jets. La Figura 3.4 (c) muestra, además de los perfiles anteriores, el perfil térmico en un tiempo de t=60 s (línea de color amarillo), después del cual la lámina del rollo siguiente recorrió 83 m. Puede notarse que para t=60 s la temperatura de lámina se encuentra dentro de la ventana térmica en prácticamente todo el horno. La Figura 3.4 (d) muestra los perfiles de temperatura de lámina calculados en t=0, 10, 60 y 120 s (línea de color magenta). En este último tiempo, la lámina de acero SG B ocupa la totalidad del horno. Su temperatura se encuentra dentro de los límites de las ventanas indicadas a lo largo de todas las zonas del horno.

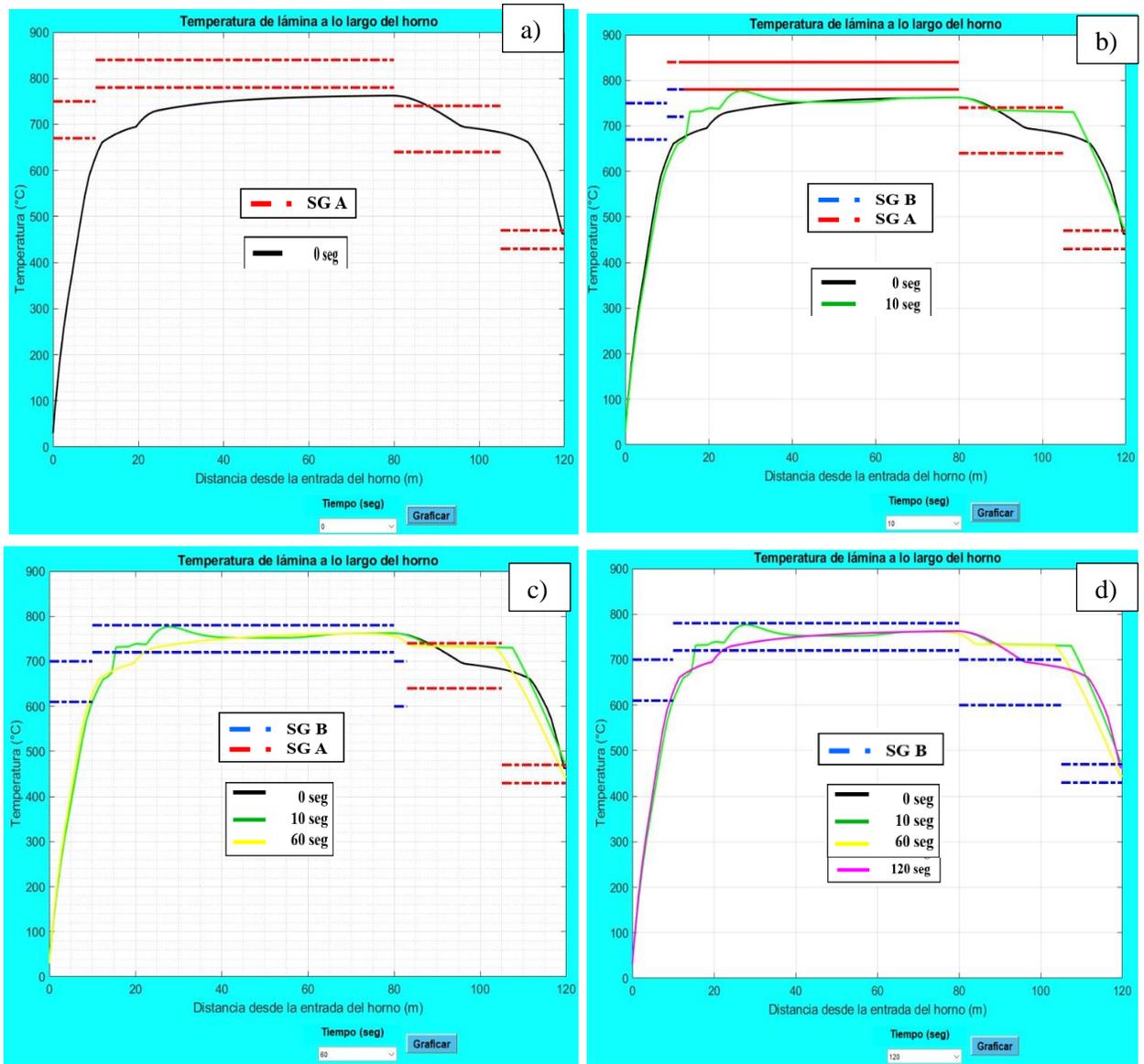


Figura 3.4. Perfiles térmicos de la lámina del Caso 4. a) En la transición, $t=0$, b) en $t=0$ y $t=10$ s después de la transición, c) en $t=0$, 10 y 60 s después de la transición y d) en $t=0$, 10, 60 y 120 s después de la transición.

Caso 5. La Figura 3.5 muestra el menú de datos para los rollos actual y siguiente, ambos de acero SG B, con un cambio de espesor de 0.7 a 1.5 mm. En este caso, la velocidad del rollo actual, de 83 m/min, se reduce a 38 m/min para el rollo siguiente. Así mismo, el coeficiente de transferencia de calor en la zona de jets para el rollo actual es $90 \text{ W/m}^2\text{K}$ y se incrementa a $280 \text{ W/m}^2\text{K}$ para el rollo siguiente. Los perfiles de temperatura para los tiempos $t=0$ y 10

s son mutuamente similares, pero a una distancia mayor que 85 m hay cierta diferencia. Esta diferencia es importante en la posición final de 120 m, justo antes de que la lámina se sumerja en el zinc fundido. Aquí la temperatura de lámina se eleva por encima de la ventana térmica a 600°C. Sin embargo, gracias al incremento en el coeficiente de transferencia de calor en la zona de jets, se consigue restablecer la temperatura de la lámina a un valor dentro de la ventana de operación.

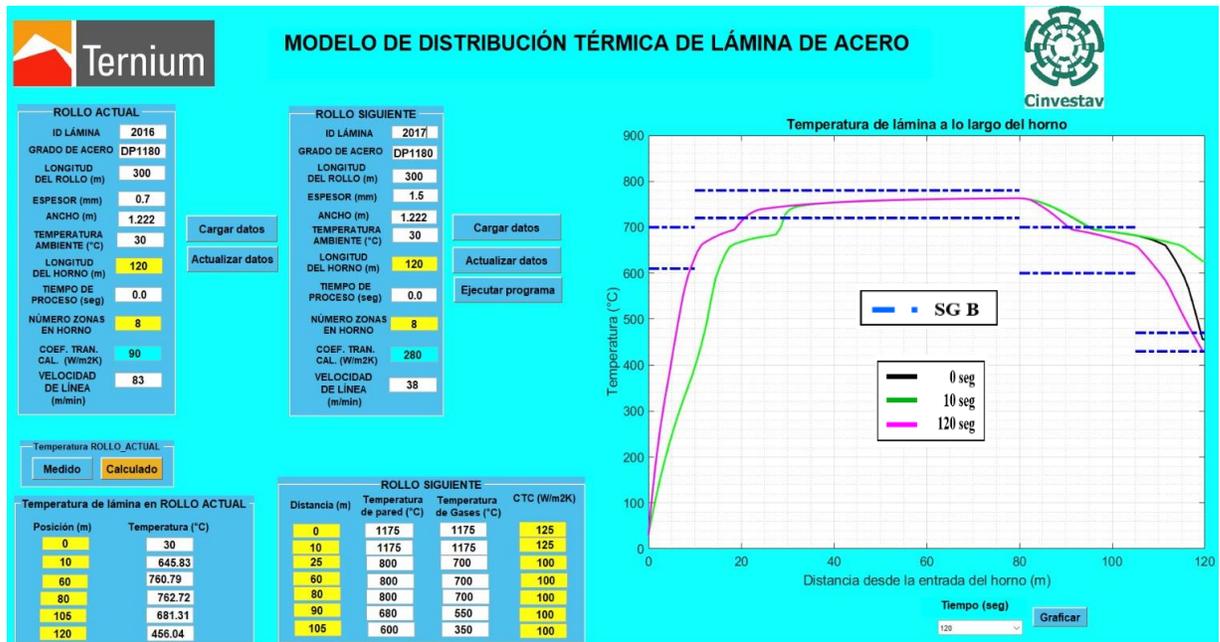


Figura 3.5. Interfaz con datos y perfiles térmicos de la lámina del Caso 5.

Caso 6. La Figura 3.6 muestra el menú de datos y los perfiles térmicos calculados de lámina de acero SG B. El rollo actual está formado por una lámina con espesor igual a 1.5 mm y el rollo siguiente con una lámina de 2.5 mm de espesor. Este cambio conlleva una disminución de la velocidad de lámina de 38 a 20 m/min. También, en la zona de enfriamiento de la lámina mediante la mezcla de H₂-N₂, se realiza un incremento del coeficiente de transferencia de calor de 60 W/m²K para el rollo actual a 350 W/m²K para el rollo siguiente. Como resultado de los cambios anteriores, el perfil térmico en t=10 s presenta cambios con respecto al calculado en t=0. El mayor espesor de la lámina del rollo siguiente provoca una disminución de la temperatura en la primera zona del horno. Además, la temperatura de la lámina aumenta en la posición final de 120 m, saliendo de la ventana de operación. Sin

embargo, después de 120 s, la temperatura de la lámina se recupera para entrar nuevamente dentro de la ventana de operación.

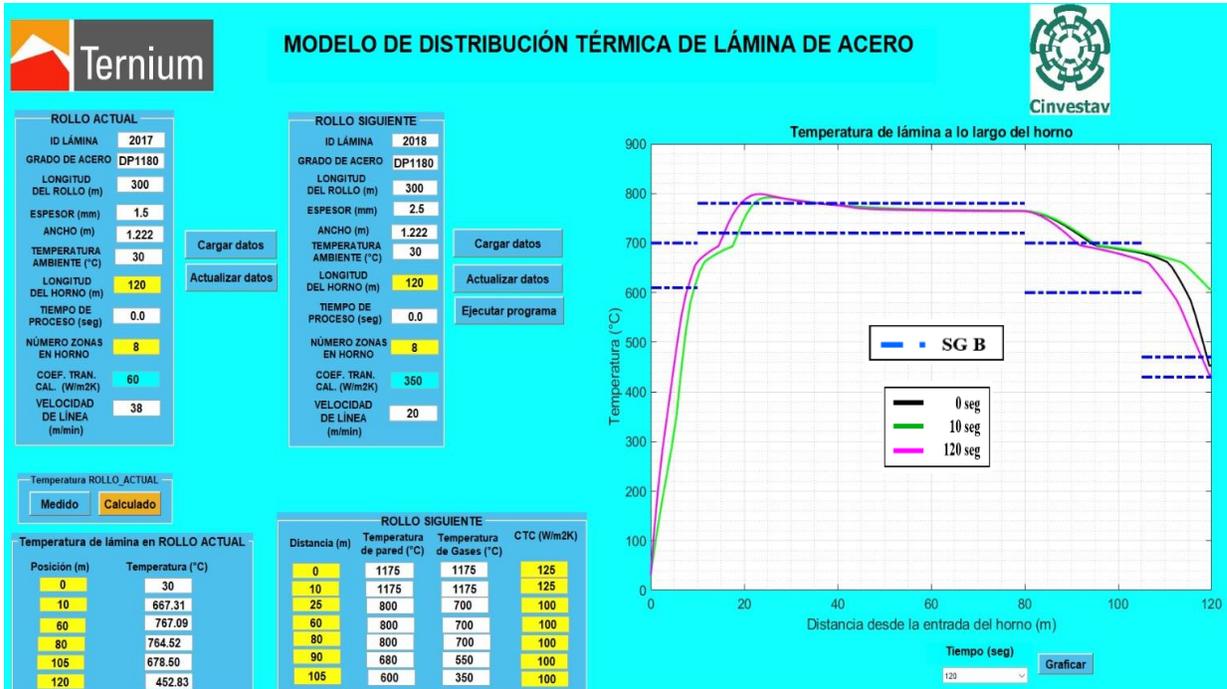


Figura 3.6. Interfaz con datos y perfil térmico de la lámina del Caso 6.

Caso 7. Las Figuras 3.7 (a)-(d) muestran los perfiles acumulados de temperatura de lámina calculados en tiempos de $t=0, 10, 60$ y 120 s. En este caso, se presenta un cambio del grado de acero ya que la lámina del rollo actual es de acero SG B mientras que la lámina del rollo siguiente es de acero SG A. Los espesores de lámina para los rollos actual y siguiente son 2.5 y 0.5 mm, respectivamente. Esta disminución del espesor de lámina se compensó con un incremento de la velocidad de lámina de 20 m/min para el rollo actual a un valor de 80 m/min para el rollo siguiente. Así mismo, el coeficiente de transferencia de calor para el rollo actual es de 2000 W/m²K y para el rollo siguiente de 140 W/m²K. La Figura 3.7 (b) muestra los perfiles térmicos calculados en tiempos de 0 y 10 s después de la transición, y puede apreciarse que el cambio importante con respecto al perfil inicial es en la temperatura al final, justo a la entrada a la paila con zinc fundido. La temperatura de lámina asciende a 600°C . Sin embargo, las Figuras 3.7(c) y (d) muestran que a tiempos mayores se estabiliza el perfil de temperatura en todo el sistema a valores aceptables.

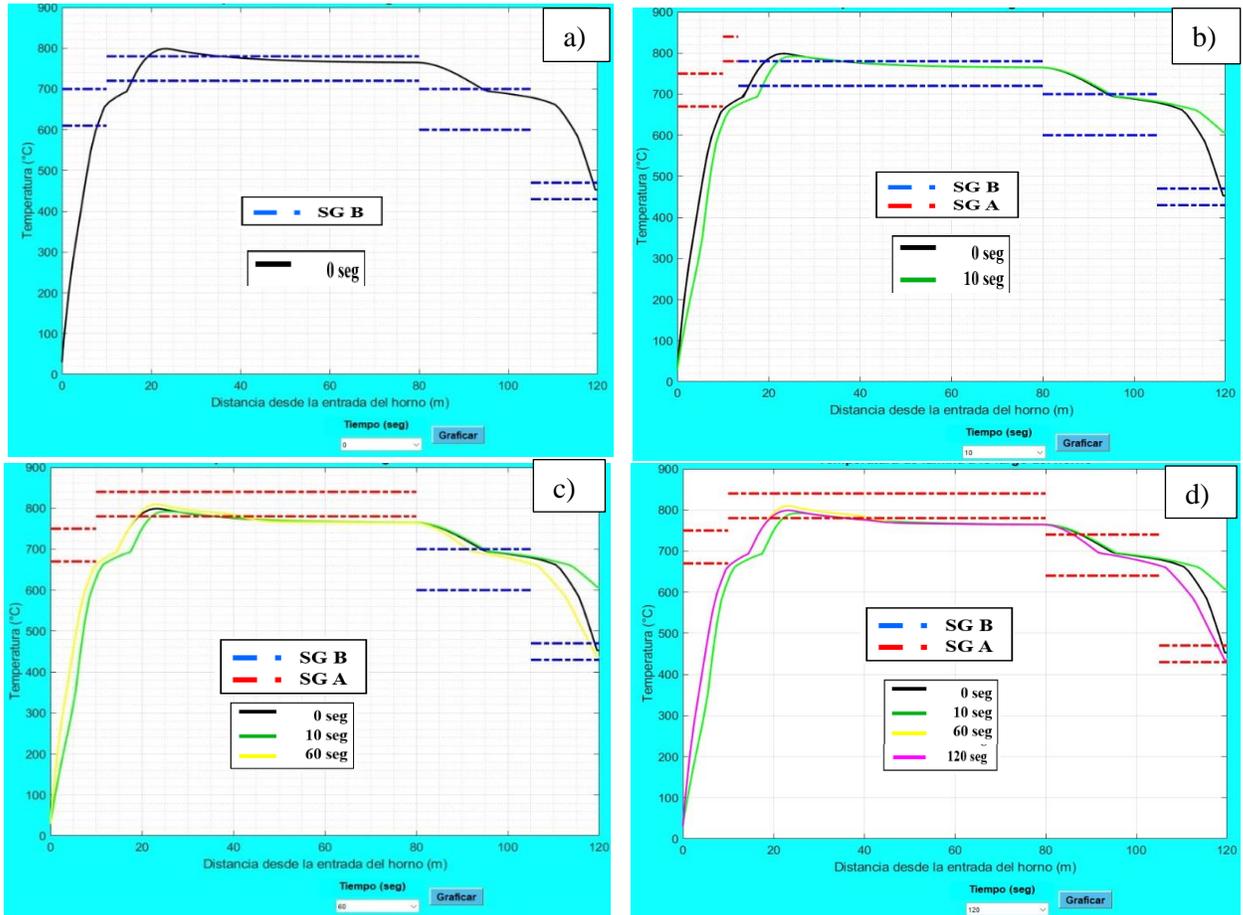


Figura 3.7. Perfiles térmicos calculados de la lámina, caso 7, a distintos tiempos después de la transición: a) 0, b) 0 y 10 s, c) 0, 10 y 60 s y d) 0, 10, 60 y 120 s.

Caso 8. Las Figuras 3.8 (a)-(f) muestran los perfiles térmicos de lámina calculados en los tiempos después de la transición de 0, 10, 60, 120, 180 y 300s, respectivamente. Este caso incluye un cambio de grado de acero de la lámina en la transición de rollo actual (acero SG A) a rollo siguiente (acero SG B). Los espesores de lámina para rollo actual y rollo siguiente son 0.5 y 2.5 mm, respectivamente. La velocidad de la lámina del rollo actual es de 80 m/min y rollo siguiente de 25 m/min. Así mismo, el cambio del coeficiente de transferencia de calor para el rollo que se encuentra dentro del horno es de $0 \text{ W/m}^2\text{K}$ y para el rollo siguiente de $400 \text{ W/m}^2\text{K}$. En este caso los perfiles calculados muestran inestabilidades a lo largo del tiempo, pero se mantienen dentro de las ventanas de operación. Sin embargo, la temperatura al final del sistema es la que tarda 300 s para alcanzar el valor estable adecuado.

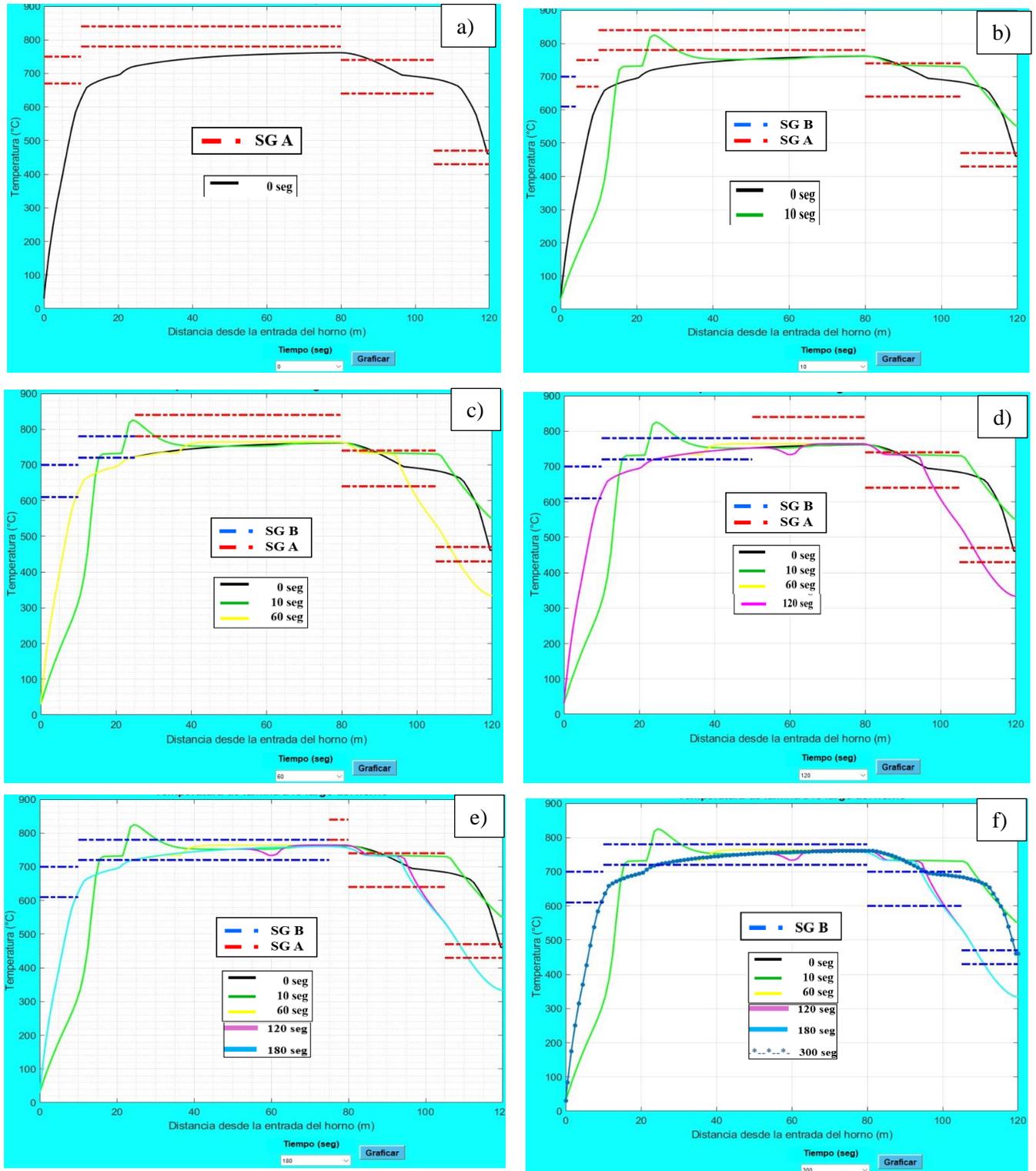


Figura 3.8. Perfiles térmicos acumulados calculados de la lámina, caso 8, a distintos tiempos después de la transición: a) 0, b) 0 y 10 s, c) 0, 10 y 60 s, d) 0, 10, 60 y 120 s, e) 0, 10, 60, 120 y 180 s y f) 0, 10, 60, 120, 180 y 300 s.

Capítulo 4. Resumen y conclusiones

- Se desarrolló una interfaz, en el programa MatLab, que permite suministrar datos y graficar los resultados generados por el modelo TermoGal. Este modelo resuelve numéricamente la ecuación diferencial de transferencia de calor, bajo condiciones iniciales y de frontera apropiadas. El resultado de esta solución es la evolución del perfil de temperatura de la lámina desde la entrada al horno hasta la salida de la zona de enfriamiento con chorros de una mezcla de N_2-H_2 .
- El uso de la interfaz se ejemplificó con los casos estudiados en una tesis previa. Se consideraron 8 casos que incluyen transiciones todas ellas con cambio de espesor de lámina y algunas además con cambios del grado de acero. Los parámetros que se cambiaron para buscar mantener el perfil de temperatura dentro de la ventana de operación fueron la velocidad de la lámina y el coeficiente de transferencia de calor en la zona de enfriamiento por jets de H_2-N_2 .
- La interfaz desarrollada grafica de manera dinámica el rango de temperatura de las ventanas de operación. De este modo, las ventanas mostradas se actualizan de acuerdo con el avance de la lámina del siguiente rollo. Estas ventanas dinámicas permiten visualizar el paso de la transición a lo largo del horno.
- La interfaz tiene la flexibilidad de considerar los casos de inicio de secuencia y de transición entre rollos. En el primer caso se debe suministrar el perfil de temperatura de la lámina del rollo actual medida por los pirómetros que están situados a lo largo del horno. En el segundo caso, la interfaz captura el perfil final calculado previamente de temperatura del rollo actual, para considerarlo como condición inicial para el rollo siguiente.
- La interfaz también tiene la flexibilidad de poder reanudar los cálculos en caso de que hubiesen pasado varios rollos que no requirieron predicción térmica. Este sería el caso cuando se procesan rollos con transiciones no-críticas. La reanudación del cálculo procede de forma análoga a un inicio de secuencia; es decir, se captura el perfil de temperatura medida de la lámina del rollo actual.

- La interfaz permite también repetir los cálculos de una misma transición con el fin de estudiar el efecto que pueden tener las variables de proceso en la evolución del perfil térmico de la lámina. En particular, las variables que son de interés para un estudio paramétrico son: el espesor de las láminas, el grado de acero, el cambio de velocidad de línea y el tiempo en el que se aplica dicho cambio, y finalmente el coeficiente de transferencia de calor sobre la lámina en la zona de los chorros refrigerantes H₂-N₂. Esta opción de repetir los cálculos permite determinar iterativamente la velocidad que debe tener la lámina del rollo siguiente para mantener el perfil de temperatura del acero dentro de la ventana térmica respectiva.

Bibliografía

- Aréchiga Cruz, C. (2021). Tesis de Maestría en Ciencias. Simulación numérica de la temperatura de lámina de acero durante su calentamiento continuo. CINVESTAV, Unidad Saltillo.
- Carozzo, G., Cravero, C., Marini, M., y Mazza, M. (2020). CFD Simulation of a Temperature Control System for Galvanizing Line of Metal Band Based on Jet Cooling Heat Transfer. *applied science*, 9-12.
- Chen, P., Dai, F., Pan, L., Guo, Y., Ke, J., Wu, J., Li, Y. (2020). Numerical simulation and experimental study of strip steel jet cooling. *ELSEVIER Science direct*, 1-10.
- Díaz Moreno, J. M., García Vázquez, C., Ortegón Gallego, F., González Montesinos, M. T., y Viglialoro, G. (2021). Industrial Steel Heat Treating: Numerical Simulation of Induction Heating and Aquaquenching Cooling with Mechanical Effects. *MDPI*, 1-17.
- Demidovich, V., Perevalov, Y., y Prokofiev, G. (2019). Temperature Control Systems in Continuous Heat. *IEEE Xplore*, 424-428.
- MathWorks. (2022). GUIDE, herramienta para diseñar interfaces. Obtenido de www.mathworks.com.
- Ochoa Ríos, P. A. (2020). Tesis de Maestría en Ciencias. Estudio numérico del efecto de una transición crítica en la temperatura de lámina de acero durante el galvanizado continuo. CINVESTAV, Unidad Saltillo.
- SteelDynamics. (2021). Proceso de galvanizado de lámina de acero. Obtenido de www.steeldynamics.com.
- Taylor, S., y Wang, S. (2017). Modelling steel strip heating within an annealing furnace. Taylor and Wang *Pacific Journal of Mathematics for Industry*, 1-15.
- Wan, F., Wang, Y.-q., y Qin, S.-r. (2012). Modeling of Strip Temperature in Rapid Cooling Section of Vertical Continuous Annealing Furnace. *Journal of Iron and Steel Research, International*. 19(11). 27-32, 30-32.

Apéndice I

Código de la Interfaz de TermoGal

Este apéndice contiene un código computacional llamado *codigo.m* para generar una interfaz *codigo.fig*, en la plataforma MatLab versión 2018b.

```
function varargout = codigo(varargin)
% CODIGO MATLAB code for codigo.fig

%     CODIGO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in CODIGO.M with the given
input arguments.
%     stop.
% Edit the above text to modify the response to help codigo
% Last Modified by GUIDE v2.5 15-Sep-2022 11:10:05
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @codigo_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @codigo_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function codigo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = codigo_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
varargout{1} = handles.output;
```

```
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.pushbutton4, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton3, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton17, 'BackgroundColor' , 'g' );
switch get(handles.pushbutton4,'value');
    case 1
        id_acerol
        =str2double(get(handles.edit6,'String'));
        grado_acerol =(get(handles.edit7,'String'));
        espesor_acerol
        =str2double(get(handles.edit9,'String'));
        long_rollo1
        =str2double(get(handles.edit8,'String'));
        ancho_acerol
        =str2double(get(handles.edit10,'String'));
        velocp_acero
        =str2double(get(handles.edit44,'String'));

        for i = id_acerol
            j = [num2str(i) 'TEMPERATURA' '.TXT' ];
            p=load (j);
            end
            [x,n]=max(p(:,1));
            K=p(n+1:end,:);
%LA VARIABLE K TOMA LA POSICION DEL ULTIMO TIEMPO
nunarulo='%dROLLO_ACTUAL\n'; %SE DECLARA COMO
VARIABLE EL NOMBRE DEL ROLLO ACTUAL
newrollo=insertBefore(nunarulo,12,''); %FUNCION QUE
MUESTRA EL ID DEL ROLLO Y SE LE AGREGA A ROLLO_ACTUAL PARA LA
GENERACION DE DOCUMENTO TXT
fprintf(nunarulo,id_acerol);

d=fopen('ROLLO.TXT');
txt=textscan(d,'%t','delimiter','\n');
handles.edit46.String=txt{1}{4}(1:2);
fclose('all');

long_horno =str2double(get(handles.edit69,'String'));
tiempo_proceso =str2double(get(handles.edit70,'String'));
T_ambiente =str2double(get(handles.edit68,'String'));
NZH =str2double(get(handles.edit71,'String'));
XUJET =105;

%Posiciones
```

```
x0=0;
x1=str2double(get(handles.edit53, 'String'));
x2=str2double(get(handles.edit54, 'String'));
x3=str2double(get(handles.edit55, 'String'));
x4=str2double(get(handles.edit56, 'String'));
x5=str2double(get(handles.edit57, 'String'));
x6=str2double(get(handles.edit96, 'String'));
x7=120;

%Temperaturas de pared
TP1=str2double(get(handles.edit27, 'String'));
TP2=str2double(get(handles.edit45, 'String'));
TP3=str2double(get(handles.edit21, 'String'));
TP4=str2double(get(handles.edit22, 'String'));
TP5=str2double(get(handles.edit23, 'String'));
TP6=str2double(get(handles.edit98, 'String'));
TP7=str2double(get(handles.edit99, 'String'));
TP8=800;

%Temperaturas de los gases
TG1=str2double(get(handles.edit12, 'String'));
TG2=str2double(get(handles.edit19, 'String'));
TG3=str2double(get(handles.edit18, 'String'));
TG4=str2double(get(handles.edit17, 'String'));
TG5=str2double(get(handles.edit16, 'String'));
TG6=str2double(get(handles.edit101, 'String'));
TG7=str2double(get(handles.edit102, 'String'));
TG8=800;

%Coeficientes de transferencia de calor por convección
C1=str2double(get(handles.edit58, 'String'));
C2=str2double(get(handles.edit59, 'String'));
C3=str2double(get(handles.edit60, 'String'));
C4=str2double(get(handles.edit61, 'String'));
C5=str2double(get(handles.edit104, 'String'));
C6=str2double(get(handles.edit105, 'String'));
C7=str2double(get(handles.edit106, 'String'));
C8=str2double(get(handles.edit72, 'String'));

for i = id_acerol
    u = [num2str(i) 'ROLLO_ACTUAL' '.TXT'];
end

fileID=fopen(u, 'wt');
fprintf(fileID, '%-2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-
2.2f\n', id_acerol, grado_acerol, espesor_acerol, ancho_acerol, lo
ng_rollol, tiempo_proceso);
```

```
fprintf(fileID, '%d\n', long_horno);
fprintf(fileID, '%.1f\n', velocp_acero);
fprintf(fileID, '%d\n', T_ambiente);
fprintf(fileID, '%d\n', NZH);
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-
8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x2, TP2, TG2, C2, x3, TP3, TG3, C3, x4, TP4, TG4, C4
, x5, TP5, TG5, C5, 90, TP6, TG6, C6, x6, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fprintf(fileID, '%-4.1f      %-4.2f\n', K');
fclose(fileID);
```

```
fileID=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT', 'wt');
fprintf(fileID, '%-2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-
2.2f\n', id_acerol, grado_acerol, espesor_acerol, ancho_acerol, lo
ng_rollo1, tiempo_proceso);
fprintf(fileID, '%d\n', long_horno);
fprintf(fileID, '%.1f\n', velocp_acero);
fprintf(fileID, '%d\n', T_ambiente);
fprintf(fileID, '%d\n', NZH);
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-
8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x2, TP2, TG2, C2, x3, TP3, TG3, C3, x4, TP4, TG4, C4
, x5, TP5, TG5, C5, 90, TP6, TG6, C6, x6, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fprintf(fileID, '%-4.1f      %-4.2f\n', K');
fclose(fileID);
end
```

```
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.pushbutton3, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton4, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton17, 'BackgroundColor' , 'g' );
```

```
id_acero      =str2double(get(handles.edit1, 'String'));
grado_acero   =(get(handles.edit2, 'String'));
espesor_acero =str2double(get(handles.edit4, 'String'));
long_rollo    =str2double(get(handles.edit3, 'String'));
ancho_acero   =str2double(get(handles.edit5, 'String'));
velocp_acero =str2double(get(handles.edit74, 'String'));
long_horno    =str2double(get(handles.edit64, 'String'));
tiempo_proceso =str2double(get(handles.edit65, 'String'));
T_ambiente    =str2double(get(handles.edit63, 'String'));
NZH           =str2double(get(handles.edit66, 'String'));
XUJET         =105;
```

```
%Datos de temperatura del horno con lámina actual
```

%Posiciones

```
x0=0;  
x1=str2double(get(handles.edit48,'String'));  
x2=str2double(get(handles.edit49,'String'));  
x3=str2double(get(handles.edit50,'String'));  
x4=str2double(get(handles.edit51,'String'));  
x5=str2double(get(handles.edit52,'String'));  
x6=str2double(get(handles.edit96,'String'));  
x7=120;
```

%Temperaturas de pared

```
TP1=str2double(get(handles.edit27,'String'));  
TP2=str2double(get(handles.edit45,'String'));  
TP3=str2double(get(handles.edit21,'String'));  
TP4=str2double(get(handles.edit22,'String'));  
TP5=str2double(get(handles.edit23,'String'));  
TP6=str2double(get(handles.edit98,'String'));  
TP7=str2double(get(handles.edit99,'String'));  
TP8=800;
```

%Temperaturas de los gases

```
TG1=str2double(get(handles.edit12,'String'));  
TG2=str2double(get(handles.edit19,'String'));  
TG3=str2double(get(handles.edit18,'String'));  
TG4=str2double(get(handles.edit17,'String'));  
TG5=str2double(get(handles.edit16,'String'));  
TG6=str2double(get(handles.edit101,'String'));  
TG7=str2double(get(handles.edit102,'String'));  
TG8=800;
```

%Coeficientes de transferencia de calor por convección

```
C1=str2double(get(handles.edit58,'String'));  
C2=str2double(get(handles.edit59,'String'));  
C3=str2double(get(handles.edit60,'String'));  
C4=str2double(get(handles.edit61,'String'));  
C5=str2double(get(handles.edit104,'String'));  
C6=str2double(get(handles.edit105,'String'));  
C7=str2double(get(handles.edit106,'String'));  
C8=str2double(get(handles.edit62,'String'));
```

%Temperaturas de la lámina

```
TL0=str2double(get(handles.edit47,'String'));  
TL1=str2double(get(handles.edit43,'String'));  
TL2=str2double(get(handles.edit41,'String'));  
TL3=str2double(get(handles.edit38,'String'));  
TL4=str2double(get(handles.edit36,'String'));  
TL5=str2double(get(handles.edit34,'String'));
```

```
a=fopen('POSICION_PIROMETROS.TXT');
    txt=textscan(a, '%t', 'delimiter', '\n');
    handles.edit53.String=txt{1}{2}(1);
    handles.edit54.String=txt{1}{3}(1:2);
    handles.edit56.String=txt{1}{4}(1:2);
    handles.edit57.String=txt{1}{5}(1:2);
    handles.edit96.String=txt{1}{7}(1:3);
    fclose('all');

for i=id_acero
u = [num2str(i) 'ROLLO_ACTUAL' '.TXT'];
end
s=exist(u);
fileID=fopen(u, 'wt');
fprintf(fileID, '%-2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-
2.2f\n', id_acero, grado_acero, espesor_acero, ancho_acero, long_
ollo, tiempo_proceso);
fprintf(fileID, '%d\n', long_horno);
fprintf(fileID, '%.1f\n', velocp_acero);
fprintf(fileID, '%d\n', T_ambiente);
fprintf(fileID, '%d\n', NZH);
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-
8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x1, TP2, TG2, C2, 25, TP3, TG3, C3, x2, TP4, TG4, C4
, x3, TP5, TG5, C5, 90, TP6, TG6, C6, x4, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fprintf(fileID, '%-4.1f %-
4.2f\n', TL0, T_ambiente, x1, TL1, x2, TL2, x3, TL3, x4, TL4, x7, TL5);
fclose(fileID);

fileID=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT', 'wt');
fprintf(fileID, '%-2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-
2.2f\n', id_acero, grado_acero, espesor_acero, ancho_acero, long_
ollo, tiempo_proceso);
fprintf(fileID, '%d\n', long_horno);
fprintf(fileID, '%.1f\n', velocp_acero);
fprintf(fileID, '%d\n', T_ambiente);
fprintf(fileID, '%d\n', NZH);
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-
8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x1, TP2, TG2, C2, 25, TP3, TG3, C3, x2, TP4, TG4, C4
, x3, TP5, TG5, C5, 90, TP6, TG6, C6, x4, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fprintf(fileID, '%-4.1f %-
4.2f\n', TL0, T_ambiente, x1, TL1, x2, TL2, x3, TL3, x4, TL4, x7, TL5);
fclose(fileID);
```

```
nunarulo='%dROLLO_ACTUAL\n'; %SE DECLARA COMO
VARIABLE EL NOMBRE DEL ROLLO ACTUAL
newrollo=insertAfter(nunarulo,12, ''); %FUNCION QUE
MUESTRA EL ID DEL ROLLO Y SE LE AGREGA A ROLLO_ACTUAL PARA LA
GENERACION DE DOCUMENTO TXT
fprintf(nunarulo,id_acero);
e=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT');
    txt=textscan(e,'%t','delimiter','\n');
    handles.edit46.String=txt{1}{4}(1:2);
    fclose('all');

function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.pushbutton8, 'BackgroundColor', 'g' );
set(handles.pushbutton6, 'BackgroundColor', '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton18, 'BackgroundColor', '[0.30 0.75
0.93]' );
y=msgbox('CALCULO EN PROCESO', '', 'WARN');
set(y, 'color', 'r');

switch get(handles.pushbutton6, 'value');
    case 1
        id_acero1
        =str2double(get(handles.edit6, 'String'));
        grado_acero1 = (get(handles.edit7, 'String'));
        espesor_acero1
        =str2double(get(handles.edit9, 'String'));
        long_rollo1
        =str2double(get(handles.edit8, 'String'));
        ancho_acero1
        =str2double(get(handles.edit10, 'String'));
        velocp_acero
        =str2double(get(handles.edit44, 'String'));
        long_horno
        =str2double(get(handles.edit69, 'String'));
        tiempo_proceso
        =str2double(get(handles.edit70, 'String'));
        T_ambiente
        =str2double(get(handles.edit68, 'String'));
        NZH
        =str2double(get(handles.edit71, 'String'));
        XUJET = 105;

%Posiciones
x0=0;
x1=str2double(get(handles.edit53, 'String'));
x2=str2double(get(handles.edit54, 'String'));
```

```
x3=str2double(get(handles.edit55,'String'));
x4=str2double(get(handles.edit56,'String'));
x5=str2double(get(handles.edit57,'String'));
xJ=str2double(get(handles.edit95,'String'));
x6=str2double(get(handles.edit96,'String'));
x7=120;

%Temperaturas de pared
TP1=str2double(get(handles.edit27,'String'));
TP2=str2double(get(handles.edit45,'String'));
TP3=str2double(get(handles.edit21,'String'));
TP4=str2double(get(handles.edit22,'String'));
TP5=str2double(get(handles.edit23,'String'));
TP6=str2double(get(handles.edit98,'String'));
TP7=str2double(get(handles.edit99,'String'));
TP8=800;

%Temperaturas de los gases
TG1=str2double(get(handles.edit12,'String'));
TG2=str2double(get(handles.edit19,'String'));
TG3=str2double(get(handles.edit18,'String'));
TG4=str2double(get(handles.edit17,'String'));
TG5=str2double(get(handles.edit16,'String'));
TG6=str2double(get(handles.edit101,'String'));
TG7=str2double(get(handles.edit102,'String'));
TG8=800;

%Coeficientes de transferencia de calor por convección
C1=str2double(get(handles.edit58,'String'));
C2=str2double(get(handles.edit59,'String'));
C3=str2double(get(handles.edit60,'String'));
C4=str2double(get(handles.edit61,'String'));
C5=str2double(get(handles.edit104,'String'));
C6=str2double(get(handles.edit105,'String'));
C7=str2double(get(handles.edit106,'String'));
C8=str2double(get(handles.edit72,'String'));

fileID=fopen('ROLLO.TXT','wt');
fprintf(fileID,'% -2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-
2.2f\n',id_acerol,grado_acerol,espesor_acerol,ancho_acerol,lo
ng_rollo1,tiempo_proceso);
fprintf(fileID,'%d\n',long_horno);
fprintf(fileID,'%d\n',velocp_acero);
fprintf(fileID,'%d\n',T_ambiente);
fprintf(fileID,'%d\n',NZH);
```

```
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x2, TP2, TG2, C2, x3, TP3, TG3, C3, x4, TP4, TG4, C4, x5, TP5, TG5, C5, xJ, TP6, TG6, C6, x6, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fclose(fileID);

for i = id_acerol
    u = [num2str(i) 'ROLLO' '.TXT'];
end

fileID=fopen(u, 'wt');
fprintf(fileID, '%-2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-2.2f\n', id_acerol, grado_acerol, espesor_acerol, ancho_acerol, long_rollol, tiempo_proceso);
fprintf(fileID, '%d\n', long_horno);
fprintf(fileID, '%d\n', velocp_acero);
fprintf(fileID, '%d\n', T_ambiente);
fprintf(fileID, '%d\n', NZH);
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x2, TP2, TG2, C2, x3, TP3, TG3, C3, x4, TP4, TG4, C4, x5, TP5, TG5, C5, xJ, TP6, TG6, C6, x6, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fclose(fileID);

!TERMOGAL.exe;
copyfile('TEMPERATURA.TXT', [num2str(id_acerol) 'TEMPERATURA' '.TXT' ]);
f=load([num2str(id_acerol) 'TEMPERATURA' '.TXT' ]);
copyfile('EVOLUCION_TERMICA.TXT', [num2str(id_acerol) 'EVOLUCION_TERMICA' '.TXT' ]);
copyfile('TEMPERATURA_BACKUP.TXT', [num2str(id_acerol) 'TEMPERATURA_BACKUP' '.TXT' ]);
copyfile('VELOCIDAD.TXT', [num2str(id_acerol) 'VELOCIDAD' '.TXT' ]);
copyfile('VENTANA.TXT', [num2str(id_acerol) 'VENTANA' '.TXT' ]);
c=msgbox('CALCULO TERMINADO', '', 'HELP');
set(c, 'color', 'g');
%set(handles.pushbutton18, 'BackgroundColor', '[0.30 0.75 0.93]' );
end

function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'), get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.pushbutton8, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
handles=guidata(hObject);
    id_acero=str2double(get(handles.edit6,'String'));
    id_acero1=str2double(get(handles.edit1,'String'));

    if id_acero
        for i = id_acero
            j = [ num2str(i) 'TEMPERATURA' '.TXT' ];
            k = [ num2str(i) 'ROLLO_ACTUAL' '.TXT' ];
            p=load(j);
            s=exist(k);
            end
            if s;
                set(handles.pushbutton18,
'BackgroundColor' , '[0.93 0.69 0.13]' );
            else
                set(handles.pushbutton4, 'BackgroundColor'
, '[0.93 0.69 0.13]' );

                e=fopen('ROLLO.TXT');
                txt=textscan(e,'%t','delimiter','\n');
                handles.edit1.String=txt{1}{1}(1:4);
                fclose('all');
            end
        end

    switch get(handles.popupmenu2,'value');
        case 1

            x=p(2:123,1);
            y=p(2:123,2);
            axes(handles.axes3);
            plot(x,y,'k','linewidth',2)
            ylim([0 900])
            hold on

            plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
            plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)

            %zona 2
            plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
            plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)
```

```
%zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)

%hold off
title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
grid minor

    case 2
x=p(125:246,1);
y=p(125:246,2);
axes(handles.axes3);
plot(x,y,'g','linewidth',2)
ylim([0 900])

plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 2
plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)
%zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)

%hold off
title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
grid minor
```

```
        case 3
x=p(740:861,1);
y=p(740:861,2);
axes(handles.axes3);
plot(x,y,'y','linewidth',2)
ylim([0 900])
hold on

plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)

%zona 2
plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)

%zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)

%hold off
title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
grid minor

        case 4
x=p(1478:1599,1);
y=p(1478:1599,2);
axes(handles.axes3);
plot(x,y,'m','linewidth',2)
ylim([0 900])
hold on

plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)

%zona 2
plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)
```

```
%zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)
%hold off

title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
grid minor

    case 5
x=p(2216:2337,1);
y=p(2216:2337,2);
axes(handles.axes3);
plot(x,y,'c','linewidth',2)
ylim([0 900])
hold on
    %zona 1
plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)

%zona 2
plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)

%zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)

title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
```

```
grid minor

    case 6
x=p(2954:3075,1);
y=p(2954:3075,2);
axes(handles.axes3);
plot(x,y,'k','linewidth',2)
ylim([0 900])
hold on
    %zona 1
plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)

    %zona 2
plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)

    %zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
    %zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)

title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
grid minor

    case 7
x=p(3692:3813,1);
y=p(3692:3813,2);
axes(handles.axes3);
plot(x,y,'-*','linewidth',2)
ylim([0 900])
hold on
    %[x,y]=getpts
    %zona 1
plot([0 10],[610 610],'-b','linewidth',3)
plot([0 10],[700 700],'-b','linewidth',3)

    %zona 2
plot([10 80],[720 720],'-b','linewidth',3)
```

```
plot([10 80],[780 780],'-b','linewidth',3)

%zona 3
plot([80 105],[600 600],'-b','linewidth',3)
plot([80 105],[700 700],'-b','linewidth',3)
%zona 4
plot([105 120],[430 430],'-b','linewidth',3)
plot([105 120],[470 470],'-b','linewidth',3)

title('Temperatura de lámina a lo largo del
horno')
xlabel('Distancia desde la entrada del horno
(m)', 'FontSize',14);
ylabel('Temperatura (°C)', 'FontSize',14);
set(gca, 'FontSize',14);
grid on
grid minor
end

function axes3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
function axes4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
myImage1 = imread('Captura.JPG');
imshow(myImage1);

function axes5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
myImage2 = imread('cinveslogo.jpg');
imshow(myImage2);

function edit34_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit34_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit36_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit36_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit38_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit38_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit41_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit41_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit43_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit43_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit21_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit21_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit23_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit23_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit27_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit27_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit44_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit44_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit45_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit45_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit46_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit46_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function edit47_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit47_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit48_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit48_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit49_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit49_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit50_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit50_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit51_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit51_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit52_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit52_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit53_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit53_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit54_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit54_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

end

```
function edit55_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit55_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit56_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit56_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit57_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit57_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit58_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit58_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit59_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit59_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit60_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit60_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit61_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit61_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit62_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit62_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit63_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit63_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit64_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit64_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit65_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit65_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit66_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit66_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit68_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit68_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit69_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit69_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit70_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit70_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit71_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit71_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit72_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit72_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton17_Callback(hObject, eventdata, handles)
id_acero =str2double(get(handles.edit1,'String'));
id_acerol =str2double(get(handles.edit6,'String'));
    for i = id_acero
        j = [ num2str(i) 'ROLLO_ACTUAL' '.TXT'
];
        end
        s=exist(j);
if s;
    e=fopen(j);
    txt=textscan(e,'%t','delimiter','\n');
    handles.edit1.String=txt{1}{1}(1:5);
    handles.edit2.String=txt{1}{1}(6:12);
    handles.edit4.String=txt{1}{1}(13:16);
    handles.edit5.String=txt{1}{1}(19:23);
    handles.edit3.String=txt{1}{1}(25:28);
    handles.edit63.String=txt{1}{4}(1:2);
    handles.edit64.String=txt{1}{2}(1:3);
    handles.edit65.String=txt{1}{1}(28:31);
```

```
handles.edit66.String=txt{1}{5}(1);
handles.edit74.String=txt{1}{3}(1:2);

%Datos de recuadro ROLLO SIGUIENTE
handles.edit53.String=txt{1}{6}(1);
handles.edit54.String=txt{1}{7}(1:2);
handles.edit55.String=txt{1}{8}(1:2);
handles.edit56.String=txt{1}{9}(1:2);
handles.edit57.String=txt{1}{10}(1:2);
handles.edit95.String=txt{1}{11}(1:2);
handles.edit96.String=txt{1}{12}(1:3);

handles.edit27.String=txt{1}{6}(9:13);
handles.edit45.String=txt{1}{7}(8:13);
handles.edit21.String=txt{1}{8}(8:13);
handles.edit22.String=txt{1}{9}(8:13);
handles.edit23.String=txt{1}{10}(8:13);
handles.edit98.String=txt{1}{11}(8:13);
handles.edit99.String=txt{1}{12}(8:13);

handles.edit12.String=txt{1}{6}(16:21);
handles.edit19.String=txt{1}{7}(16:21);
handles.edit18.String=txt{1}{8}(16:21);
handles.edit17.String=txt{1}{9}(16:21);
handles.edit16.String=txt{1}{10}(16:21);
handles.edit101.String=txt{1}{11}(16:21);
handles.edit102.String=txt{1}{12}(16:21);

handles.edit58.String=txt{1}{6}(23:27);
handles.edit59.String=txt{1}{7}(23:27);
handles.edit60.String=txt{1}{8}(23:27);
handles.edit61.String=txt{1}{9}(23:27);
handles.edit104.String=txt{1}{10}(23:27);
handles.edit105.String=txt{1}{11}(23:27);
handles.edit106.String=txt{1}{12}(23:27);
handles.edit62.String=txt{1}{13}(25:28);

handles.edit46.String=txt{1}{4}(1:2);
handles.edit43.String=txt{1}{26}(8:14);
handles.edit41.String=txt{1}{76}(8:14);
handles.edit38.String=txt{1}{96}(8:14);
handles.edit36.String=txt{1}{121}(8:14);
handles.edit34.String=txt{1}{136}(8:14);

a=fopen('POSICION_PIROMETROS.TXT');
txt=textscan(a,'%t','delimiter','\n');
handles.edit47.String=txt{1}{2}(1);
```

```
handles.edit48.String=txt{1}{3}(1:2);
handles.edit49.String=txt{1}{4}(1:2);
handles.edit50.String=txt{1}{5}(1:2);
handles.edit51.String=txt{1}{6}(1:3);
handles.edit52.String=txt{1}{7}(1:3);
fclose('all');

set(handles.pushbutton19, 'BackgroundColor' ,
'[0.93 0.69 0.13]' );
set(handles.pushbutton20, 'BackgroundColor' ,
'g' );
set(handles.pushbutton17, 'BackgroundColor' ,
'[0.30 0.75 0.93]');

else
y=msgbox(['NO EXISTE ___' num2str(i)
'ROLLO_ACTUAL__TOMANDO ARCHIVO POR DEFAULT'],'','warn');
set(y,'color','r');
e=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT');
txt=textscan(e,'%t','delimiter','\n');
handles.edit1.String=txt{1}{1}(1:5);
handles.edit2.String=txt{1}{1}(6:12);
handles.edit4.String=txt{1}{1}(13:16);
handles.edit5.String=txt{1}{1}(19:23);
handles.edit3.String=txt{1}{1}(25:27);
handles.edit63.String=txt{1}{4}(1:2);
handles.edit64.String=txt{1}{2}(1:3);
handles.edit65.String=txt{1}{1}(28:31);
handles.edit66.String=txt{1}{5}(1);
handles.edit74.String=txt{1}{3}(1:2);

%Datos de recuadro ROLLO SIGUIENTE
handles.edit53.String=txt{1}{6}(1);
handles.edit54.String=txt{1}{7}(1:2);
handles.edit55.String=txt{1}{8}(1:2);
handles.edit56.String=txt{1}{9}(1:2);
handles.edit57.String=txt{1}{10}(1:2);
handles.edit95.String=txt{1}{11}(1:2);
handles.edit96.String=txt{1}{12}(1:3);

handles.edit27.String=txt{1}{6}(9:13);
handles.edit45.String=txt{1}{7}(8:13);
handles.edit21.String=txt{1}{8}(8:13);
handles.edit22.String=txt{1}{9}(8:13);
handles.edit23.String=txt{1}{10}(8:13);
handles.edit98.String=txt{1}{11}(8:13);
```

```
handles.edit99.String=txt{1}{12} (8:13);

handles.edit12.String=txt{1}{6} (16:21);
handles.edit19.String=txt{1}{7} (16:21);
handles.edit18.String=txt{1}{8} (16:21);
handles.edit17.String=txt{1}{9} (16:21);
handles.edit16.String=txt{1}{10} (16:21);
handles.edit101.String=txt{1}{11} (16:21);
handles.edit102.String=txt{1}{12} (16:21);

handles.edit58.String=txt{1}{6} (23:27);
handles.edit59.String=txt{1}{7} (23:27);
handles.edit60.String=txt{1}{8} (23:27);
handles.edit61.String=txt{1}{9} (23:27);
handles.edit104.String=txt{1}{10} (23:27);
handles.edit105.String=txt{1}{11} (23:27);
handles.edit106.String=txt{1}{12} (23:27);
handles.edit62.String=txt{1}{13} (25:28);

handles.edit46.String=txt{1}{4} (1:2);
handles.edit43.String=txt{1}{26} (6:8);
handles.edit41.String=txt{1}{76} (6:8);
handles.edit38.String=txt{1}{96} (6:8);
handles.edit36.String=txt{1}{121} (7:9);
handles.edit34.String=txt{1}{136} (9:11);

%Datos de recuadro temperatura de lámina en
ROLLO ACTUAL
a=fopen('POSICION_PIROMETROS.TXT');
txt=textscan(a, '%t', 'delimiter', '\n');
handles.edit47.String=txt{1}{2} (1);
handles.edit48.String=txt{1}{3} (1:2);
handles.edit49.String=txt{1}{4} (1:2);
handles.edit50.String=txt{1}{5} (1:2);
handles.edit51.String=txt{1}{6} (1:3);
handles.edit52.String=txt{1}{7} (1:3);
fclose('all');

set(handles.pushbutton19, 'BackgroundColor' ,
'[0.93 0.69 0.13]' );
set(handles.pushbutton20, 'BackgroundColor' ,
'g' );
set(handles.pushbutton17, 'BackgroundColor' ,
'[0.30 0.75 0.93]');
fclose('all');
e=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT');
txt=textscan(e, '%t', 'delimiter', '\n');
```

```
handles.edit46.String=txt{1}{4}(1:2);
fclose('all');

end

function pushbutton18_Callback(hObject, eventdata, handles)
y=msgbox('DATOS ACTUALIZADOS', '', 'none');
id_acero =str2double(get(handles.edit6, 'String'));
grado_acero =(get(handles.edit7, 'String'));
espesor_acero =str2double(get(handles.edit9, 'String'));
long_rollo =str2double(get(handles.edit8, 'String'));
ancho_acero =str2double(get(handles.edit10, 'String'));
long_horno =str2double(get(handles.edit69, 'String'));
tiempo_proceso =str2double(get(handles.edit70, 'String'));
T_ambiente =str2double(get(handles.edit68, 'String'));
NZH =str2double(get(handles.edit71, 'String'));
XUJET =105;
velocp_acero =str2double(get(handles.edit44, 'String'));

set(handles.pushbutton18, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton6, 'BackgroundColor' , 'g' );

x0=0;
x1=str2double(get(handles.edit48, 'String'));
x2=str2double(get(handles.edit49, 'String'));
x3=str2double(get(handles.edit50, 'String'));
x4=str2double(get(handles.edit51, 'String'));
x5=str2double(get(handles.edit52, 'String'));
x6=str2double(get(handles.edit96, 'String'));
x7=120;

%Temperaturas de pared
TP1=str2double(get(handles.edit27, 'String'));
TP2=str2double(get(handles.edit45, 'String'));
TP3=str2double(get(handles.edit21, 'String'));
TP4=str2double(get(handles.edit22, 'String'));
TP5=str2double(get(handles.edit23, 'String'));
TP6=str2double(get(handles.edit98, 'String'));
TP7=str2double(get(handles.edit99, 'String'));
TP8=800;

%Temperaturas de los gases
TG1=str2double(get(handles.edit12, 'String'));
TG2=str2double(get(handles.edit19, 'String'));
TG3=str2double(get(handles.edit18, 'String'));
TG4=str2double(get(handles.edit17, 'String'));
```

```
TG5=str2double(get(handles.edit16,'String'));
TG6=str2double(get(handles.edit101,'String'));
TG7=str2double(get(handles.edit102,'String'));
TG8=800;

%Coeficientes de transferencia de calor por convección
C1=str2double(get(handles.edit58,'String'));
C2=str2double(get(handles.edit59,'String'));
C3=str2double(get(handles.edit60,'String'));
C4=str2double(get(handles.edit61,'String'));
C5=str2double(get(handles.edit104,'String'));
C6=str2double(get(handles.edit105,'String'));
C7=str2double(get(handles.edit106,'String'));
C8=str2double(get(handles.edit72,'String'));

%Temperaturas de la lámina
TL0=str2double(get(handles.edit47,'String'));
TL1=str2double(get(handles.edit43,'String'));
TL2=str2double(get(handles.edit41,'String'));
TL3=str2double(get(handles.edit38,'String'));
TL4=str2double(get(handles.edit36,'String'));
TL5=str2double(get(handles.edit34,'String'));

sekvarulo='%dDATOS ACTUALIZADOS\n';
newrollo=insertBefore(sekvarulo,18,' ');
fprintf(sekvarulo,' ');

fileID=fopen('ROLLO.TXT','wt');
fprintf(fileID,'% -2d %-s %-2.2f %-2.3f %-2d %-
2.2f\n',id_acero,grado_acero,espesor_acero,ancho_acero,long_r
ollo,tiempo_proceso);
fprintf(fileID,'%d\n',long_horno);
fprintf(fileID,'%d\n',velocp_acero);
fprintf(fileID,'%d\n',T_ambiente);
fprintf(fileID,'%d\n',NZH);
fprintf(fileID,'% -8d%-8d%-8d%-
8d\n',x0,TP1,TG1,C1,x1,TP2,TG2,C2,25,TP3,TG3,C3,x2,TP4,TG4,C4
,x3,TP5,TG5,C5,90,TP6,TG6,C6,x4,TP7,TG7,C7,x7,TP8,TG8,C8);
fprintf(fileID,'%d\n',XUJET);
fclose(fileID);

function edit74_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit74_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end

function pushbutton19_Callback(hObject, eventdata, handles)
id_acero      =str2double(get(handles.edit1, 'String'));
grado_acero   =(get(handles.edit2, 'String'));
espesor_acero =str2double(get(handles.edit4, 'String'));
long_rollo    =str2double(get(handles.edit3, 'String'));
ancho_acero   =str2double(get(handles.edit5, 'String'));
velocp_acero  =str2double(get(handles.edit74, 'String'));
long_horno    =str2double(get(handles.edit64, 'String'));
tiempo_proceso =str2double(get(handles.edit65, 'String'));
T_ambiente    =str2double(get(handles.edit63, 'String'));
NZH           =str2double(get(handles.edit66, 'String'));
XUJET         =105;

                for i = id_acero
                j = [ num2str(i) 'ROLLO_ACTUAL' '.TXT'
];

                end
                s=exist(j);
                if s;
'BackgroundColor' , '[0.30 0.75 0.93]' );
                else
'BackgroundColor' , '[0.30 0.75 0.93]' );
                end

%Posiciones
x0=0;
x1=str2double(get(handles.edit48, 'String'));
x2=str2double(get(handles.edit49, 'String'));
x3=str2double(get(handles.edit50, 'String'));
x4=str2double(get(handles.edit51, 'String'));
x5=str2double(get(handles.edit52, 'String'));
x6=str2double(get(handles.edit96, 'String'));
x7=120;

%Temperaturas de pared
TP1=str2double(get(handles.edit27, 'String'));
TP2=str2double(get(handles.edit45, 'String'));
TP3=str2double(get(handles.edit21, 'String'));
TP4=str2double(get(handles.edit22, 'String'));
TP5=str2double(get(handles.edit23, 'String'));
TP6=str2double(get(handles.edit98, 'String'));
TP7=str2double(get(handles.edit99, 'String'));
TP8=800;
```

```
%Temperaturas de los gases
TG1=str2double(get(handles.edit12,'String'));
TG2=str2double(get(handles.edit19,'String'));
TG3=str2double(get(handles.edit18,'String'));
TG4=str2double(get(handles.edit17,'String'));
TG5=str2double(get(handles.edit16,'String'));
TG6=str2double(get(handles.edit101,'String'));
TG7=str2double(get(handles.edit102,'String'));
TG8=800;

%Coeficientes de transferencia de calor por convección
C1=str2double(get(handles.edit58,'String'));
C2=str2double(get(handles.edit59,'String'));
C3=str2double(get(handles.edit60,'String'));
C4=str2double(get(handles.edit61,'String'));
C5=str2double(get(handles.edit104,'String'));
C6=str2double(get(handles.edit105,'String'));
C7=str2double(get(handles.edit106,'String'));
C8=str2double(get(handles.edit62,'String'));

%Temperaturas de la lámina
TL0=str2double(get(handles.edit47,'String'));
TL1=str2double(get(handles.edit43,'String'));
TL2=str2double(get(handles.edit41,'String'));
TL3=str2double(get(handles.edit38,'String'));
TL4=str2double(get(handles.edit36,'String'));
TL5=str2double(get(handles.edit34,'String'));

nunarulo='%dDATOS ACTUALIZADOS\n';
newrollo=insertBefore(nunarulo,18,' ');
fprintf(nunarulo,' ');

fileID=fopen('POSICION_PIROMETROS.TXT','wt');
fprintf(fileID,'%d\n',6);
fprintf(fileID,'%d\n',x0);
fprintf(fileID,'%d\n',x1);
fprintf(fileID,'%d\n',x2);
fprintf(fileID,'%d\n',x3);
fprintf(fileID,'%d\n',x4);
fprintf(fileID,'%d\n',x5);
fclose(fileID);

fileID=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT','wt');
fprintf(fileID,'%d\n',id_acero,grado_acero,espesor_acero,ancho_acero,long_rollo,tiempo_proceso);
fprintf(fileID,'%d\n',long_horno);
```

```
fprintf(fileID, '%d\n', velocp_acero);
fprintf(fileID, '%d\n', T_ambiente);
fprintf(fileID, '%d\n', NZH);
fprintf(fileID, '%-8d%-8d%-8d%-
8d\n', x0, TP1, TG1, C1, x1, TP2, TG2, C2, 25, TP3, TG3, C3, x2, TP4, TG4, C4
, x3, TP5, TG5, C5, 90, TP6, TG6, C6, x4, TP7, TG7, C7, x7, TP8, TG8, C8);
fprintf(fileID, '%d\n', XUJET);
fprintf(fileID, '%-4.1f    %-
4.2f\n', TL0, T_ambiente, x1, TL1, x2, TL2, x3, TL3, x4, TL4, x5, TL5);
fclose(fileID);
e=fopen('ROLLO_ACTUAL.TXT');
    txt=textscan(e, '%t', 'delimiter', '\n');
    handles.edit46.String=txt{1}{4}(1:2);
    fclose('all');
msgbox('DATOS ACTUALIZADOS', '', 'none');

function pushbutton20_Callback(hObject, eventdata, handles)
id_acero      =str2double(get(handles.edit6, 'String'));
set(handles.pushbutton20, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton18, 'BackgroundColor' , '[0.93 0.69
0.13]' );
set(handles.pushbutton19, 'BackgroundColor' , '[0.30 0.75
0.93]' );
set(handles.pushbutton6, 'BackgroundColor' , 'g');
    for i = id_acero
        l = [ num2str(i) 'ROLLO' '.TXT'];
    end
    t=exist(l);

    if t
        k=fopen(l);
        txt=textscan(k, '%t', 'delimiter', '\n');
        handles.edit6.String=txt{1}{1}(1:5);
        handles.edit7.String=txt{1}{1}(6:12);
        handles.edit9.String=txt{1}{1}(13:16);
        handles.edit10.String=txt{1}{1}(19:23);
        handles.edit8.String=txt{1}{1}(25:27);
        handles.edit68.String=txt{1}{4}(1:2);
        handles.edit69.String=txt{1}{2}(1:3);
        handles.edit70.String=txt{1}{1}(28:31);
        handles.edit71.String=txt{1}{5}(1);
        handles.edit72.String=txt{1}{13}(25:28);
        handles.edit44.String=txt{1}{3}(1:2);
        fclose('all');

    else t=id_acero;
```

```
y=msgbox(['NO EXISTE ___' num2str(i) 'ROLLO__TOMANDO
ARCHIVO POR DEFAULT'],'','help');
set(y,'color','r');
    e=fopen('ROLLO.TXT');
    txt=textscan(e,'%t','delimiter','\n');
    handles.edit6.String=txt{1}{1}(1:5);
    handles.edit7.String=txt{1}{1}(6:12);
    handles.edit9.String=txt{1}{1}(13:16);
    handles.edit10.String=txt{1}{1}(19:23);
    handles.edit8.String=txt{1}{1}(25:27);
    handles.edit68.String=txt{1}{4}(1:2);
    handles.edit69.String=txt{1}{2}(1:3);
    handles.edit70.String=txt{1}{1}(28:31);
    handles.edit71.String=txt{1}{5}(1);
    handles.edit72.String=txt{1}{13}(25:28);
    handles.edit44.String=txt{1}{3}(1:2);
    fclose('all');
end

function edit96_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit96_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit95_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit95_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit98_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit98_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit99_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit99_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit101_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit101_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit102_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit102_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit104_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit104_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit105_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit105_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit106_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit106_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

end
```

Apéndice II

Hoja de control de datos del modelo “TERMOGAL”.

Este apéndice muestra la hoja de control del modelo computarizado llamado TermoGal donde se suministran manualmente los datos del rollo actual y rollo siguiente. Los datos registrados se introducen en la interfaz desarrollada que se muestra en el apéndice I, para calcular el perfil térmico de la lámina.

CONTROL DE DATOS DEL MODELO COMPUTARIZADO “TERMOGAL”

LUGAR _____

FECHA _____

DATOS DEL ROLLO ACTUAL (EN EL HORNO)

ID ROLLO ACTUAL	
PRAM DEL ROLLO ACTUAL	
LONGITUD DEL ROLLO (m)	
ESPESOR DE LAMINA (mm)	
ANCHO DE LAMINA (m)	
VELOCIDAD DE LINEA (m/min)	
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	
TEMPERATURA LAMINA, PIRÓMETRO 1 (°C)	
TEMPERATURA LAMINA, PIRÓMETRO 2 (°C)	
TEMPERATURA LAMINA, PIRÓMETRO 3 (°C)	
TEMPERATURA LAMINA, PIRÓMETRO 4 (°C)	
TEMPERATURA LAMINA, PIRÓMETRO 5 (°C)	

DATOS DEL ROLLO SIGUIENTE (TRANSICIÓN)

ID ROLLO SIGUIENTE	
PRAM DEL ROLLO SIGUIENTE	
LONGITUD DEL ROLLO (m)	
ESPEJOR DE LAMINA (mm)	
ANCHO DE LAMINA (m)	
VELOCIDAD DE LINEA (m/min)	
TEMPERATURA ENTRADA AL HORNO (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 1 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 2 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 3 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 4 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 5 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 6 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 7 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 8 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 9 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 10 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 11 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 12 (°C)	
TEMPERATURA HORNO, TERMOPAR 13 (°C)	

Apéndice III

Programa computacional para la optimización de la velocidad de la lámina de acero.

Este apéndice contiene un programa computacional *TERMOGAL.FOR* y un ejecutable *TERMOGAL.exe* creados en Fortran. El ejecutable es considerado y llamado por MatLab en la ventana de operación, para el cálculo de la velocidad de la lámina y crear un perfil térmico tomando en cuenta diferentes parámetros. Fortran contiene diferentes subrutinas, y la única que se modificará es *SUBROUTINE ADAPT*, por lo cual se muestra a continuación.

```
SUBROUTINE ADAPT
C  Transferencia de Calor Unidimensional Transitoria en una
C  lámina de  acero.
C  Solo hay variación de la temperatura a lo largo de la
C  lámina. El gradiente térmico a través del espesor se
C  desprecia porque el número de Biot es menor que 0.1
C  y el gradiente térmico a lo ancho se asume conocido o bien
C  se desprecia en base a un calentamiento uniforme a lo ancho
C  de la lámina.
C  Solo hay advección, se desprecia conducción ya que el
C  número de Peclet es mayor que 10.
C  La lámina tiene un espesor DELTA y se representa por una
C  región de longitud ZL(longitud de lámina en horno más tramo
C  de "jet coolers" hasta la entrada al baño de zinc)
C  que está sometida a las condiciones de frontera
C  siguientes:
C  1) En x=0    T(1) = T0          La entrada es isotérmica
C  porque entra continuamente lámina a temperatura ambiente.
C  2) En x=ZL  No se especifica ni temperatura ni flujo de
C  calor, simplemente la temperatura a la salida se calcula.
C  La distribución inicial de temperatura corresponde a los 3
C  casos siguientes:
C  a) Inicio de secuencia: La temperatura es uniforme e igual
C  a T0.
C  b) Empalme: La distribución inicial de temperatura
C  proviene de un cálculo anterior.
C  c) Empalme: La distribución inicial de temperatura se
C  obtiene por interpolación de mediciones pirométricas.
C  La lámina se mueve con una velocidad inicial V0.
C*****
*****
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      PARAMETER (NI=10000)
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
CHARACTER*6 GRADO1,GRADO2
CHARACTER*18 TITLE
CHARACTER*64 HEADER,PLOTF
COMMON T(NI),ALAM(NI),GAM(NI),CON(NI),AIM(NI),AP(NI),
2 X(NI),XU(NI),XDIF(NI),XCV(NI),SC(NI),SP(NI)
COMMON/BC/FLUXI1,FLUXL1,KBCI1,KBCL1
COMMON/CNTL/KSTOP
COMMON/GENL/TIME,DT,XL,NF,L1,L2,L3,IST,ITER,
1 LAST,MODE,KORD
COMMON/NFF/RELAX,CRIT,KPRINT,KSOLVE,
1 KBLOC,NTIMES,NTC,KPLOT
COMMON/TTL/TITLE,HEADER,PLOTF
C
COMMON/TP/XPIRO(10000),TPIRO(10000),EMIS(10000),TPIR(10000)
COMMON/ZG/NZX,NCVX(50)
COMMON/ZG2/XZONE(50)
COMMON/ADAP1/DTC,VELOC1,VELOC2,TFINAL,T0,XUNION,ALY,VELO
C,TPRINT0,
1 TPRINT,TPERFIL0,TPERFIL,XUJET
COMMON/ADAP2/DELTA1,DELTA2,RLTOTAL1,RLTOTAL2,TIEMPO1,TIE
MPO2
COMMON/ADAP3/NCASO,NROLLO1,NROLLO2,NPIRO
COMMON/ADAP4/WY(50),HZ(50),XFV(50)
COMMON/ADAP5/TF(50),TF2(50),HCONV(50),XFT(50),XFN(50),XP
IR(50),
1 TF1(50),TF21(50),HCONV1(50),HCONV2(50)
COMMON/ADAP6/NDENCP1,NEMIS1,NDENCP2,NEMIS2,NPIR
COMMON/RHOC/ TDENSCP1(50),DENSCP1(50),TDENSCP2(50),DENS
P2(50)
COMMON/EMI/TEMI1(50),EMISIV1(50),TEMI2(50),EMISIV2(50)
COMMON/TFCE/TFUR(NI),TFUR2(NI),HCONVECCION(NI)
COMMON/COU/COURANT
C*****
*****
ENTRY GRID
HEADER='CONDUCCION TRANSITORIA UNIDIMENSIONAL EN
LAMINA'
OPEN(UNIT=10,FILE='ROLLO.TXT')
READ(10,*) NROLLO2,GRADO2,DELTA2,ALY2,RLTOTAL2,TIEMPO2
! Número de rollo, grado de acero, espesor de lámina (mm),
ancho de lámina (m), longitud total del rollo (m), tiempo a
la velocidad VELOC2.
READ(10,*) ALX !
Longitud de lámina del rollo siguiente en horno (m).
READ(10,*) VELOC2 !
Velocidad de la lámina (m/min) después del tiempo TIEMPO1
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
      READ(10,*) T0                                     !
Temperatura ambiente (°C)
      READ(10,*) NZH                                   !
Número de zonas en horno
      DO I=1,NZH                                       ! Datos
operativos para el rollo siguiente
      READ(10,*) XFT(I),TF(I),TF2(I),HCONV2(I)        ! Posición de
termopar en zona I, temperatura pared en zona I, temperatura
de gases en zona I, y coef. de transf. por convección en zona
I
      ENDDO
      READ(10,*) XUJET                                 ! Posición a
la entrada de la zona de jet coolers. Cuando la transición
alcanza este punto es momento de cambiar el coeficiente
convectivo de los jets
      CLOSE(10)
C
      OPEN(UNIT=15,FILE="ROLLO_ACTUAL.TXT")
      READ(15,*) NROLLO1,GRADO1,DELTA1,ALY1,RLTOTAL1,TIEMPO1 !
Rollo previo: Número de rollo, grado de acero, espesor de
lámina (mm), ancho de lámina (m), longitud total del rollo
(m), tiempo a la velocidad VELOC1.
      READ(15,*) ALXA                                  ! Rollo
actual: Longitud de lámina en horno (m).
      READ(15,*) VELOC1                                ! Velocidad
de la lámina (m/min) hasta el tiempo TIEMPO1
      READ(15,*) T0                                    !
Temperatura ambiente (°C)
      READ(15,*) NZH                                   ! Número de
zonas en horno
      DO I=1,NZH                                       ! Datos
operativos para el rollo actual
      READ(15,*) XFT(I),TF1(I),TF21(I),HCONV1(I)      ! Posición
de termopar en zona I, temperatura pared en zona I,
temperatura de gases en zona I, y coef. de transf. por
convección en zona I
      ENDDO
      READ(15,*) XUJET                                 ! Posición a
la entrada de la zona de jet coolers. Cuando la transición
alcanza este punto es momento de cambiar el coeficiente
convectivo de los jets
C
      I=1
      17 READ(15,*,END=18) XPIRO(I),TPIRO(I)          ! Lectura de
perfil, medido o calculado previamente, de temperatura de
rollo actual
      I = I+1
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
GOTO 17
18 CONTINUE
CLOSE(15)
NPIRO = I-1 ! Número de
datos de temperatura en rollo previo, sean valores calculados
o medidos
C
DO I=1,NZH
HCONV(I) = HCONV2(I) ! Los
coeficientes convectivos son los correspondientes al rollo
siguiente,
IF(XFT(I).GE.XUJET) HCONV(I) = HCONV1(I) ! excepto por
los de la zona de jet coolers que se conservan en un
principio
ENDDO
C
OPEN(UNIT=17,FILE="ZONAS_HORNO.TXT") ! Lectura de
dimensiones internas del horno. Con este dato se estima el
factor de visión.
READ(17,*) NZVISTA
DO I=1,NZVISTA
READ(17,*) XFV(I),WY(I),HZ(I)
ENDDO
CLOSE(17)
C
OPEN(UNIT=19,FILE="POSICION_PIROMETROS.TXT")
READ(19,*) NPIR ! Número de
pirómetros dentro del horno
DO I=1,NPIR
READ(19,*) XPIR(I) ! Lectura de la
posición de los pirómetros dentro del horno (m).
ENDDO
CLOSE(19)
C
OPEN(UNIT=20,FILE="NUMERICO.TXT")
READ(20,*) NZX ! Número de
regiones en dirección "x"
DO NZ=1,NZX
READ(20,*) XFN(NZ),NCVX(NZ) ! Posición (m)
final de la zona NZ y su respectivo número de volúmenes de
control
ENDDO
READ(20,*) TPRINT0 ! Período de
impresión de evolución térmica (s).
READ(20,*) TPERFIL0 ! Período de
impresión de perfiles térmicos (s).
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
      READ(20,*) COURANT                ! Número de Courant
para asegurar un Dt apropiado. C<1
      TPRINT = TPRINT0
      TPERFIL= TPERFILO
      XZONE(1) = XFN(1)
      XL = XZONE(1)
      DO NZ=2,NZX
          XZONE(NZ) = XFN(NZ)-XFN(NZ-1)
          XL = XL + XZONE(NZ)           ! Suma para
determinar la longitud total del dominio computacional
      ENDDO
C
      TFINAL = RLTOTAL2/(VELOC2/60.)    ! Tiempo para pasar
toda la lámina del rollo siguiente por la entrada al horno,
usando la velocidad del siguiente rollo
      TIEMPO2 = TFINAL - TIEMPO1        ! Tiempo de
recorrido (s) de la lámina a la velocidad VELOC2
C
      CALL ZGRID
C
      CALL PROPS(GRADO1,GRADO2)         ! Lectura de las
propiedades térmicas de los aceros en los rollos actual
(GRADO1) y siguiente (GRADO2)
C
      ! Estas
propiedades se leen como una función de la temperatura
      RETURN
C
      ENTRY BEGIN
      TITLE=' TEMPERATURA DE LAMINA DE ACERO'
C
      VELOC = DMAX1(VELOC1,VELOC2)
      DXMIN = 100.
      DO K=2,L2
          DXMIN1= XU(K+1)-XU(K)
          DXMIN = DMIN1(DXMIN1,DXMIN)
      ENDDO
      DTC = DXMIN/(VELOC/60.)           ! Tamaño máximo de paso (s)
      DT = COURANT*DTC                 ! Tamaño de paso (s)
      LAST = INT(TFINAL/DT)            ! Número de pasos de tiempo
C
      NSTEEL = 1                       ! Acero del rollo actual. Este acero
ocupa todo el horno al inicio, t=0.
      DO I=1,L1
          NVAR=1                        ! Interpolar temperatura de la
lámina
          XI = X(I)                    ! La variable independiente es la
posición
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
CALL INTERPOLA (NSTEEL, NVAR, XI, NPIRO, TIJ)
T(I) = TIJ          ! Distribución inicial de
temperatura de lámina en el horno obtenida por interpolación
de la distribución previa, sea medida o calculada
NVAR=2              ! Interpolar producto
densidad*capacidad calorífica del acero del rollo actual
XI = T(I)           ! La variable independiente es ahora
la temperatura
CALL INTERPOLA (NSTEEL, NVAR, XI, NDENCP1, RCP)
ALAM(I) = RCP       ! Distribución inicial del producto
densidad*capacidad calorífica del acero del rollo
actual, obtenida por interpolación de los datos tabulares
NVAR=3              ! Interpolar emisividad de la
superficie del acero del rollo actual
CALL INTERPOLA (NSTEEL, NVAR, XI, NEMIS1, EM)
EMIS(I) = EM        ! Distribución inicial de la
emisividad del acero del rollo actual, obtenida de datos
tabulados
XI = X(I)           ! La variable independiente es la
posición
NVAR=4              ! Interpolar temperatura de pared de
horno
CALL INTERPOLA (NSTEEL, NVAR, XI, NZH, TFURNACE)
TFUR(I) = TFURNACE ! Distribución de la temperatura a
lo largo del horno, obtenida de datos tabulados
NVAR=5              ! Interpolar temperatura de la
mezcla nitrógeno-hidrógeno en el horno
CALL INTERPOLA (NSTEEL, NVAR, XI, NZH, TFURNACE2)
TFUR2(I) = TFURNACE2 ! Distribución de la temperatura a
lo largo del horno, obtenida de datos tabulados
NVAR=6              ! Interpolar coeficiente de
transferencia de calor por convección
CALL INTERPOLA (NSTEEL, NVAR, XI, NZH, HCONVECC)
HCONVECCION(I) = HCONVECC ! Distribución del
coeficiente de transf. de calor convectivo a lo largo del
horno, obtenida de datos tabulados
END DO
C
T(1) = T0           ! Condición a la frontera en la
entrada de rollo al horno, con temperatura T0.
XUNION = 0.0        ! Posición inicial de la unión entre
los rollos consecutivos.
ALY = ALY1          ! Inicialmente la lámina tiene el
ancho del rollo previo,
DELTA= DELTA1       ! también tiene el espesor
respectivo, y
VELOC= VELOC1       ! la velocidad de dicha lámina.
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
C
    RETURN
C
    ENTRY OUTPUT
    IF(ITER.NE.0) GO TO 30
C
    OPEN(UNIT=20,FILE='TEMPERATURA_BACKUP.TXT') ! Archivo
de resultados de temperatura de lámina (con rótulos)
    OPEN(UNIT=40,FILE='TEMPERATURA.TXT') ! Archivo
de resultados de temperatura de lámina (sin rótulos)
    OPEN(UNIT=60,FILE='EVOLUCION_TERMICA.TXT') ! Archivo
de resultados de la evolución térmica en las posiciones de
los pirómetros
    OPEN(UNIT=80,FILE='VELOCIDAD.TXT') ! Archivo
de resultados de la velocidad de la lámina y la posición de
la unión
    WRITE(20,21)
    21  FORMAT(4X,' Distancia (m)',3X,'Temperatura
(°C)',2X,'Unión (m)')
        WRITE(20,*) 'Tiempo(s) =',TIME
    WRITE(40,25) TIME, ZERO
    DO I=1,L1
        WRITE(20,25) X(I),T(I),XUNION
        WRITE(40,25) X(I),T(I)
    ENDDO
    25  FORMAT(F12.2,5X,F9.2,5X,F9.2)
        WRITE(60,22)
    22  FORMAT('Tiempo
(s)',4X,'P1(°C)',6X,'P2(°C)',6X,'P3(°C)',6X,
1      'P4(°C)',6X,'P5(°C)')
    NVAR = 0
    DO J=1,NPIR
        XI = XPIR(J)
        CALL INTERPOLA(NSTEEL,NVAR,XI,L1,TIJ)
        TPIR(J) = TIJ
    ENDDO
        WRITE(60,26)
TIME,TPIR(1),TPIR(2),TPIR(3),TPIR(4),TPIR(5)
    26  FORMAT(F8.2,5(3X,F9.2))
        WRITE(80,27)
    27  FORMAT('Tiempo (s)',2X,'Veloc lam.(m/min)',2X,'Unión
(m)')
        WRITE(80,28) TIME,VELOC,XUNION
    28  FORMAT(F8.2,3X,F9.2,6X,F9.2)
C
    RETURN
    30  CONTINUE
```

```

    DIFER = ABS (TIME-TPERFIL)
    DIFERR= ABS (TIME-TFINAL)
    IF (DIFER.LE.0.5*DT.OR.DIFERR.LE.DT) THEN
        WRITE (20,*) 'Tiempo (s) =',TIME
    WRITE (40,25) TIME,ZERO
    DO I=1,L1
        WRITE (20,25) X(I),T(I),XUNION
        WRITE (40,25) X(I),T(I)
    ENDDO
    TPERFIL = TPERFIL + TPERFILO
    ENDIF
C
    DIFER = ABS (TIME-TPRINT)
    DIFERR= ABS (TIME-TFINAL)
    IF (DIFER.LE.0.5*DT.OR.DIFERR.LE.DT) THEN
        NVAR = 0
        DO J=1,NPIR
            XI = XPIR(J)
            CALL INTERPOLA (NSTEEL,NVAR,XI,L1,TIJ)
            TPIR(J) = TIJ
        ENDDO
        WRITE (60,26)
    TIME,TPIR(1),TPIR(2),TPIR(3),TPIR(4),TPIR(5)
        WRITE (80,28) TIME,VELOC,XUNION
        TPRINT = TPRINT + TPRINTO
    ENDIF
C
    IF (TIME.LE.TIEMPO1) THEN                                ! Cálculo
de la posición de la unión entre rollos consecutivos
        VELOC = VELOC1
        XUNION = XUNION + VELOC/60.*DT
    ELSE
        VELOC = VELOC2                                        ! ***** SE
CONSIDERA UN SOLO CAMBIO DE VELOCIDAD
        XUNION = XUNION + VELOC/60.*DT
    ENDIF
C
    NFLAG = 0                                                ! Bandera
que desactiva la interpolación del coeficiente convectivo,
dejando intacta la interpolación calculada en BEGIN
        IF (XUNION.GE.XUJET) THEN                            ! Cuando
la transición alcance la zona de jet coolers...
            DO I=1,NZH
                IF (XFT(I).GE.XUJET) HCONV(I)=HCONV2(I)      ! ...se
actualiza el coeficiente convectivo de esta zona al
correspondiente al rollo siguiente
            ENDDO

```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
      NFLAG= 1                      ! Bandera
para activar la interpolación del coeficiente convectivo
      ENDIF
C
      IF(NFLAG.EQ.1) THEN          ! Si la
transición llegó a la zona de jet coolers, se interpolan los
coeficientes convectivos
      DO I=1,L1
          XI = X(I)                ! La variable independiente es la
posición
          NVAR=6                   ! Interpolan coeficiente de
transferencia de calor por convección. Ahora se usan los
coeficientes de jet coolers correspondientes al siguiente
rollo.
          CALL INTERPOLA(NSTEEL,NVAR,XI,NZH,HCONVECC)
          HCONVECCION(I) = HCONVECC ! Distribución de la
temperatura a lo largo del horno, obtenida de datos tabulados
      ENDDO
      ENDIF
C
      RETURN
C
      ENTRY PHI
C
      DO I=2,L2                    ! ZONAS DEL HORNO
CON TEMPERATURA Y COEF. CONVECTIVO PROPIOS: SE INCLUYEN:
1 (FLAMA DIRECTA), 2A (TUBOS RADIANTES), 2B (RESISTENCIAS),
3 (MANTENIMIENTO) Y 4 (JET COOLING)
          TFH = TFUR(I)
          TFH2= TFUR2(I)
          HCON= HCONVECCION(I)
          EMISW = 0.9              ! Emisividad de la pared
interior del horno
C
          IF(X(I).LE.XUNION) THEN ! Definición del grado de acero
en función de la posición de la unión entre rollos
              NSTEEL = 2          ! Acero del rollo siguiente
              NDENCP = NDENCP2
              NEMIS = NEMIS2
              ALY = ALY2          ! Ancho de lámina de rollo
siguiente
              DELTA = DELTA2     ! Espesor de lámina de rollo
siguiente
          ELSE
              NSTEEL = 1          ! Acero del rollo previo
              NDENCP = NDENCP1
              NEMIS = NEMIS1
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
      ALY      = ALY1          ! Ancho de lámina de rollo
previo
      DELTA    = DELTA1       ! Espesor de lámina de rollo
previo
      ENDIF
C
      XI = T(I)              ! La variable independiente es
la temperatura
      NVAR=2                 ! Se interpola el producto
densidad*capacidad calorífica del acero
      CALL INTERPOLA (NSTEEL,NVAR,XI,NDENCP,TIJ)
      ALAM(I) = TIJ          ! Producto densidad*capacidad
calorífica del acero
      NVAR=3                 ! Se interpola la emisividad de
la superficie del acero
      CALL INTERPOLA (NSTEEL,NVAR,XI,NEMIS,TIJ)
      EMIS(I) = TIJ          ! Emisividad de la superficie
metálica
C
      IF(X(I).LE.XFV(1)) THEN
      PWET = WY(1) + HZ(1)   ! El perímetro mojado en la
primer zona del horno
      ENDIF
      DO J=1,NZVISTA-1
      IF(X(I).GT.XFV(J).AND.X(I).LE.XFV(J+1)) THEN
      PWET = WY(J+1) + HZ(J+1) ! El perímetro mojado en la
zona J+1
      ENDIF
      END DO
      FVISTA = 1./(1.+EMIS(I)*(1-EMISW)/EMISW*ALY/PWET)   !
Factor de vista
      HRAD = 5.67E-
08*EMIS(I)*((T(I)+273.15)**2+(TFH+273.15)**2)*
1          (T(I)+ TFH + 2.*273.15)*FVISTA
      HTOT = HCON + HRAD
      SC(I) = 2./(DELTA/1000.)*(HRAD*TFH + HCON*TFH2)
      SP(I) = -2.*HTOT/(DELTA/1000.)
      END DO
C
      RETURN
      END
C
      SUBROUTINE PROPS (GRADO1,GRADO2)          ! Lectura de los
archivos con las propiedades de los aceros 1=Rollo Actual y
2=Rollo Siguiete
C
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
CHARACTER*6 GRADO1,GRADO2           ! Es importante
que los grados de acero se identifiquen exclusivamente con 6
caracteres
CHARACTER*10 ARCHIVO1,ARCHIVO2
COMMON/ADAP6/NDENCP1,NEMIS1,NDENCP2,NEMIS2,NPIR

COMMON/RHOCP/TDENSCP1(50),DENSCP1(50),TDENSCP2(50),DENSCP2(50
)
COMMON/EMI/TEMI1(50),EMISIV1(50),TEMI2(50),EMISIV2(50)
C
ARCHIVO1 = GRADO1//".TXT"           ! El nombre del
grado de acero se une a la terminación ".TXT" para
identificar al archivo con las propiedades correspondientes
OPEN(UNIT=10,FILE=ARCHIVO1)
READ(10,*) NDENCP1
DO I=1,NDENCP1
READ(10,*) TDENSCP1(I),DENSCP1(I)
ENDDO
READ(10,*) NEMIS1
DO I=1,NEMIS1
READ(10,*) TEMI1(I),EMISIV1(I)
ENDDO
CLOSE(10)
C
ARCHIVO2= GRADO2//".TXT"
OPEN(UNIT=20,FILE=ARCHIVO2)
READ(20,*) NDENCP2
DO I=1,NDENCP2
READ(20,*) TDENSCP2(I),DENSCP2(I)
ENDDO
READ(20,*) NEMIS2
DO I=1,NEMIS2
READ(20,*) TEMI2(I),EMISIV2(I)
ENDDO
CLOSE(20)
RETURN
END
C
SUBROUTINE INTERPOLA(NSTEEL,NVAR,XI,NPIRO,TIJ)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
C    NSTEEL= Número de acero dentro del horno,    1=de
rollo actual, 2=de rollo siguiente
C    NVAR = Número de la variable a interpolar, 0,1=
Temperatura de lámina, 2= densidad*capacidad calorífica, 3=
emisividad
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
C
Temperatura horno, 5= temperatura gas en horno, 6= coef.
convectivo en horno
C      XI = Variable independiente, Si NVAR= 0,1  ent.
XI=posición x, NVAR=2 ent. XI=temperatura, NVAR=3 ent.
XI=temperatura
C
Si NVAR= 4,5,6 ent.
XI=posición de termopares en horno, xft
C      NPIRO=Número de datos, Si NVAR=0 ent. NPIRO=número de
temps. calculadas para interpolar y determinar las temps. en
las posiciones de los pirómetros
C
Si NVAR=1 ent. NPIRO=número de
temps. calculadas ó pirométricas,
C
Si NVAR=2 ent NPIRO=número de
datos dens*cp
C
Si NVAR=3 ent. NPIRO=número de
datos de emisividad
C
Si NVAR=4,5,6 ent.
NPIRO=número de zonas en el horno, NZH
PARAMETER(NI=10000)
COMMON/ADAP1/DTC, VELOC1, VELOC2, TFINAL, T0, XUNION, ALY, VELO
C, TPRINT0,
1
TPRINT, TPERFIL0, TPERFIL, XUJET
COMMON/TP/XPIRO(10000), TPIRO(10000), EMIS(10000), TPIR(100
00)
COMMON/RHOC/ TDENSCP1(50), DENSCP1(50), TDENSCP2(50), DENSC
P2(50) ! TIJ= Variable dependiente, Si NVAR=0 ó 1 ent.
TIJ=temperatura de lámina, NVAR=2 ent. TIJ=DENSCP, NVAR=3
ent. TIJ=EMISIV
COMMON/EMI/TEMI1(50), EMISIV1(50), TEMI2(50), EMISIV2(50)

COMMON/ADAP5/TF(50), TF2(50), HCONV(50), XFT(50), XFN(50), XPIR(50
),
1
TF1(50), TF21(50), HCONV1(50), HCONV2(50)
COMMON T(NI), ALAM(NI), GAM(NI), CON(NI), AIM(NI), AP(NI),
2 X(NI), XU(NI), XDIF(NI), XCV(NI), SC(NI), SP(NI)
C
IF(NVAR.EQ.0) THEN ! Interpola
temperaturas calculadas a lo largo de la línea
DO I=1,NPIRO-1
IF(X(I).LE.XI.AND.X(I+1).GT.XI) THEN
TIJ = (T(I+1)-T(I))/(X(I+1)-X(I))*
1 (XI-X(I)) + T(I)
ENDIF
IF(XI.LE.X(1)) THEN
TIJ = T(1)
ENDIF
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
        IF (XI.GE.X(NPIRO)) THEN
            TIJ = T(NPIRO)
        ENDIF
    END DO
ENDIF

C
    IF(NVAR.EQ.1) THEN
        ! Interpola
        temperaturas medidas pirométricamente a lo largo de la línea
        DO I=1,NPIRO-1
            IF(XPIRO(I).LE.XI.AND.XPIRO(I+1).GT.XI) THEN
                TIJ = (TPIRO(I+1)-TPIRO(I))/(XPIRO(I+1)-XPIRO(I)) *
1                (XI-XPIRO(I)) + TPIRO(I)
            ENDIF
            IF(XI.LE.XPIRO(1)) THEN
                TIJ = TPIRO(1)
            ENDIF
            IF(XI.GE.XPIRO(NPIRO)) THEN
                TIJ = TPIRO(NPIRO)
            ENDIF
        END DO
    ENDIF

C
    IF(NVAR.EQ.4) THEN
        ! Interpola
        temperaturas medidas a lo largo de la pared del horno
        DO I=1,NPIRO-1
            IF(XFT(I).LE.XI.AND.XFT(I+1).GT.XI) THEN
                TIJ = (TF(I+1)-TF(I))/(XFT(I+1)-XFT(I)) *
1                (XI-XFT(I)) + TF(I)
            ENDIF
            IF(XI.LE.XFT(1)) THEN
                TIJ = TF(1)
            ENDIF
            IF(XI.GE.XFT(NPIRO)) THEN
                TIJ = TF(NPIRO)
            ENDIF
        END DO
    ENDIF

C
    IF(NVAR.EQ.5) THEN
        ! Interpola
        temperaturas estimadas del gas que fluye a contracorriente de
        la lámina a lo largo del horno
        DO I=1,NPIRO-1
            IF(XFT(I).LE.XI.AND.XFT(I+1).GT.XI) THEN
                TIJ = (TF2(I+1)-TF2(I))/(XFT(I+1)-XFT(I)) *
1                (XI-XFT(I)) + TF2(I)
            ENDIF
            IF(XI.LE.XFT(1)) THEN
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```

        TIJ = TF2 (1)
    ENDIF
    IF(XI.GE.XFT(NPIRO)) THEN
        TIJ = TF2(NPIRO)
    ENDIF
END DO
ENDIF
C
    IF(NVAR.EQ.6) THEN                ! Interpola
coeficientes de transferencia de calor por convección
estimados a lo largo del horno
        DO I=1,NPIRO-1
            IF(XFT(I).LE.XI.AND.XFT(I+1).GT.XI) THEN
                TIJ = (HCONV(I+1)-HCONV(I))/(XFT(I+1)-XFT(I))*
1
                (XI-XFT(I)) + HCONV(I)
            ENDIF
            IF(XI.LE.XFT(1)) THEN
                TIJ = HCONV(1)
            ENDIF
            IF(XI.GE.XFT(NPIRO)) THEN
                TIJ = HCONV(NPIRO)
            ENDIF
        END DO
    ENDIF
C
                                ***** PROPIEDADES DEL ACERO
*****
C
    IF(NSTEEL.EQ.1) THEN                ! INTERPOLACION DE
PROPIEDADES DEL ACERO EN EL ROLLO ACTUAL
        IF(NVAR.EQ.2) THEN                ! Interpola productos
densidad*capacidad calorífica determinados en función de la
temperatura
            DO I=1,NPIRO-1
                IF(TDENSCP1(I).LE.XI.AND.TDENSCP1(I+1).GT.XI) THEN
                    TIJ = (DENSCP1(I+1)-DENSCP1(I))/(TDENSCP1(I+1)-
TDENSCP1(I))*
1
                    (XI-TDENSCP1(I)) + DENSCP1(I)
                ENDIF
                IF(XI.LE.TDENSCP1(1)) THEN
                    TIJ = DENSCP1(1)
                ENDIF
                IF(XI.GE.TDENSCP1(NPIRO)) THEN
                    TIJ = DENSCP1(NPIRO)
                ENDIF
            END DO
        ENDIF
C
```

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

```
      IF(NVAR.EQ.3) THEN                ! Interpola datos de
emisividad determinados en función de la temperatura
      DO I=1,NPIRO-1
        IF(TEMI1(I).LE.XI.AND.TEMI1(I+1).GT.XI) THEN
          TIJ = (EMISIV1(I+1)-EMISIV1(I))/(TEMI1(I+1)-TEMI1(I)) *
1          (XI-TEMI1(I)) + EMISIV1(I)
        ENDIF
        IF(XI.LE.TEMI1(1)) THEN
          TIJ = EMISIV1(1)
        ENDIF
        IF(XI.GE.TEMI1(NPIRO)) THEN
          TIJ = EMISIV1(NPIRO)
        ENDIF
      END DO
    ENDIF
  ENDIF
```

C

```
      IF(NSTEEL.EQ.2) THEN                ! INTERPOLACION DE
PROPIEDADES DEL ACERO EN EL ROLLO SIGUIENTE
      IF(NVAR.EQ.2) THEN                ! Interpola productos
densidad*capacidad calorífica determinados en función de la
temperatura
      DO I=1,NPIRO-1
        IF(TDENSCP2(I).LE.XI.AND.TDENSCP2(I+1).GT.XI) THEN
          TIJ = (DENSCP2(I+1)-DENSCP2(I))/(TDENSCP2(I+1)-
TDENSCP2(I)) *
1          (XI-TDENSCP2(I)) + DENSCP2(I)
        ENDIF
        IF(XI.LE.TDENSCP2(1)) THEN
          TIJ = DENSCP2(1)
        ENDIF
        IF(XI.GE.TDENSCP2(NPIRO)) THEN
          TIJ = DENSCP2(NPIRO)
        ENDIF
      END DO
    ENDIF
```

C

```
      IF(NVAR.EQ.3) THEN                ! Interpola datos de
emisividad determinados en función de la temperatura
      DO I=1,NPIRO-1
        IF(TEMI2(I).LE.XI.AND.TEMI2(I+1).GT.XI) THEN
          TIJ = (EMISIV2(I+1)-EMISIV2(I))/(TEMI2(I+1)-TEMI2(I)) *
1          (XI-TEMI2(I)) + EMISIV2(I)
        ENDIF
        IF(XI.LE.TEMI2(1)) THEN
          TIJ = EMISIV2(1)
        ENDIF
      ENDIF
```

```
        IF (XI.GE.TEMI2 (NPIRO) ) THEN
            TIJ = EMISIV2 (NPIRO)
        ENDIF
    END DO
ENDIF
ENDIF
C
    RETURN
END
```