

ANEXO II: Manual de Usuario

El presente anexo corresponde al manual de usuario del código de programación que se ha desarrollado en Matlab® para la herramienta de monitorización térmica del proceso LMD, mediante la cual se pretende facilitar la comprensión de su funcionamiento y poder así evitar errores en su utilización. Para ello, se exponen las partes del programa, así como la descripción de las funciones que se han implementado, donde se detallan los datos de entrada y salida que son necesarios para el correcto funcionamiento de los mismos.

Empezando por las partes del programa, la primera de ellas corresponde a los **datos de entrada** donde se introduce la información necesaria para la importación y carga de datos, así como los cálculos posteriores. Concretamente, el primer paso que se lleva a cabo es la selección del `Ensayo` y las `Pruebas` que se desean importar en la siguiente parte del programa, así como la dirección correspondiente (`Dir_Imp`). Gracias al formato Cell por columnas que presentan estos y el resto de los parámetros, cabe la posibilidad de analizar varios registros de forma simultánea. Así, se amplían los datos para el procesamiento y se mejora la precisión de los ajustes realizados.

Posteriormente, se introducen los datos para el tratamiento de las señales donde se especifica la frecuencia de muestreo (`fs`), el tipo de ajuste (`tipoAJ`) y los límites de saturación (`Lim_Sup` y `Lim_Inf`). El primero de ellos corresponde al parámetro para el remuestreo de todos los registros con la misma frecuencia, mientras que el segundo resulta necesario para especificar el tipo de ajuste de registros que se desea realizar. Aquí, cabe la posibilidad de llevar a cabo un ajuste según máximos o el inicio de funcionamiento del láser, siendo esta última la opción recomendada. En cuanto a la saturación, se establece unos límites con el fin de aumentar la precisión de los instrumentos termométricos que se han empleado.

Para los cuales, hace falta especificar los algoritmos internos de las cámaras termométricas. Aquí, se distingue entre el modo de funcionamiento *Signal Linear Mode* y el *Temperature Linear Mode* de la cámara termométrica FLIR A325 G® a través del parámetro `IRFormat` (Tabla 18 de la Memoria). En el primero de los modos, se especifican los parámetros de calibración (`B`, `R`, `F`), compensación (`J0`, `J1`, `K1`, `K2`) y respuesta espectral del objeto (`alpha1`, `alpha2`, `beta1`, `beta2`, `X`). Para el *Temperature Linear Mode* en cambio, los parámetros que se especifican son el Rango y su alineamiento (`IRAlignment`), así como el `Offset`. El valor de este último es extraído de los ajustes de la cámara (`QueryCase`, `Limits`) al realizar la conexión por Matlab®.

Para terminar con los datos de entrada, se establecen los parámetros para el procesado de las señales. Primero, se selecciona el punto de la pieza que se desea procesar, para lo cual cabe la posibilidad de especificar las coordenadas en el plano XZ con los parámetros `fP_mm` y `cP_mm`, o los pixeles con `fP_px` y `cP_px`. En este último caso, los pixeles que se pueden seleccionar de la cámara FLIR A325 G® depende de su resolución ($320 \times 240 \text{ px}$), mientras que en la OPRIS PI 05 M® es dependiente del mallado virtual que se establece sobre las paredes fabricadas por LMD con la discretización que se haga. Esto es determinado por los parámetros `dH_Malla` y `dH_Malla`, que corresponden al número

de punto que serán extraídos en la dirección horizontal y vertical respectivamente. Por consiguiente, se recomienda una discretización suficientemente grande como para apreciar pequeñas variaciones de temperaturas, y suficientemente pequeña como para un procesamiento ágil que no suponga un coste computacional elevado. A modo de ejemplo, la discretización que se propone para unas paredes de $40 \times 4 \text{ mm}$ es de $150 \times 50 \text{ px}$.

Asimismo, se introducen los parámetros del proceso LMD con el fin de establecer cierta relación entre las imágenes obtenidas de las cámaras y el registro de posición del robot ABB. A pesar de haber más parámetros, los más relevantes para la aplicación del procesamiento de señales son la longitud de las paredes (L_p), la altura entre capas (H_c) y la velocidad de avance del robot (v_r). Siendo esto así, los siguientes datos de entrada que se introducen son los correspondientes al software PIX Connect®. Entre estos destaca la relación de píxel (R_{px}), es decir, la relación que guarda un píxel con un milímetro real en el espacio (px/mm). Además, se tienen la velocidad de avance por píxeles (v_{px}) en unidades de px/s , y las variables que definen los perfiles de temperatura (P_1, P_2, N_p). Estos últimos son extraídos directamente desde los ajustes del software mencionado, por lo que no se ha requerido de cálculos adicionales como para la estimación de R_{px} y v_{px} . Por último, se especifica el número de pasadas en común que se detectan visualmente (N_{pas}). Se trata de un parámetro con la única intención de centrar la atención en una de las pasadas al realizar la combinación de cámaras para la ampliación del rango de temperaturas.

En resumen, los datos de entrada que se introducen en esta primera parte son los que se muestran en la siguiente tabla donde se detalla el formato y las unidades de cada una de ellas, así como una descripción de las mismas:

1. Tabla del Anexo II: Datos de entrada del código de programación de Matlab® para la monitorización térmica del proceso Laser Metal Deposition (LMD).

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|--|------------|----------|---|
| Dir_Imp | 1x1 double | - | Dirección de importación de datos (Directorio: 1-3) |
| Ensayo | 1x1 double | - | Ensayo seleccionado (1-4) |
| Pruebas | 3x1 cell | - | Prueba del ensayo seleccionado |
| fs | 1x1 double | Hz | Frecuencia de muestreo |
| tipoAJ | 1x1 double | - | Tipo de ajuste por máximos (1) o el inicio del láser (2) |
| Lim_Sup | 1x3 double | °C | Límite superior del rango para saturación |
| Lim_Inf | 1x3 double | °C | Límite inferior del rango para saturación |
| IRFormat | 1x1 double | - | Modo de funcionamiento de la cámara FLIR A325 G® trabajando en <i>Temperature Linear Mode</i> |
| B, R, F | 1x3 double | - | Parámetros de calibración de la cámara FLIR A325 G® trabajando en <i>Signal Linear Mode</i> |
| J0, J1, K1, K2 | 1x3 double | - | Parámetros de compensación de la cámara FLIR A325 G® trabajando en <i>Signal Linear Mode</i> |
| alpha1, alpha2, beta1, beta2, X | 1x3 double | - | Parámetros de respuesta espectral del objeto Para la cámara FLIR A325 G® trabajando en <i>Signal Linear Mode</i> (Spectral response parameters) |
| Rango | 2x1 cell | - | Rango de la cámara FLIR A325 G® (R0, R1 y R2) trabajando en <i>Temperature Linear Mode</i> |

| | | | |
|--------------------|------------|-------|--|
| IRAlignment | 1x1 double | - | Alineamiento del rango de la cámara FLIR A325 G® trabajando en <i>Temperature Linear Mode</i> |
| Offset | 1x3 double | °C | Offset del alineamiento de la cámara FLIR A325 G® trabajando en <i>Temperature Linear Mode</i> |
| fP_mm | 1x1 double | mm | Fila del punto seleccionado en la pared (Dirección Z) |
| cP_mm | 1x1 double | mm | Columna del punto seleccionado en la pared (Dirección X) |
| fP_px | 2x1 cell | px | Fila del punto seleccionado en cada video IR de las cámaras |
| cP_px | 2x1 cell | px | Columna del punto seleccionado en cada video IR de las cámaras |
| dH_Malla | 1x1 double | - | Discretización horizontal del mallado virtual |
| dV_Malla | 1x1 double | - | Discretización vertical del mallado virtual |
| L_p | 1x1 double | mm | Longitud de las paredes en la dirección X |
| H_c | 1x1 double | mm | Altura entre capas |
| v_r | 1x1 double | mm/s | Velocidad de avance del robot |
| Rpx | 1x1 double | px/mm | Relación de píxel |
| v_px | 1x1 double | px/s | Velocidad de avance por píxeles |
| P1 | 2x1 cell | px | Puntos iniciales de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect® |
| P2 | 2x1 cell | px | Puntos finales de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect® |
| Np | 2x1 cell | - | Número de puntos de adquisición de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect® |
| Npas | 1x1 double | - | Número de pasadas en común detectadas visualmente para la combinación de cámaras |

Una vez se introducen los datos de entrada, se establece **la importación y la carga de datos**. Primero, se importan los datos desde el directorio que se ha seleccionado anteriormente y se almacena la información en la misma carpeta donde está guardado el programa. Para ello, se hace uso de la función `f_Imp_Reg_Temperaturas`, donde se tienen los datos de entrada que se muestran en la 2. Tabla en azul. Mediante la única ejecución de la función `load` preestablecida de Matlab® para la carga de datos y la omisión de la función anterior, se pretende evitar la importación de información repetida en caso de seleccionar la misma prueba. La razón de esto viene dada por el elevado coste computacional que supone la operación de importación, especialmente al seleccionar varios registros. Siendo esto así, la selección de una prueba diferente supone la superposición de información al sobrescribir los datos en el archivo con formato MAT que se crea en la misma carpeta. Como resultado de esta operación, se tienen las siguientes variables de salida que se muestran en verde:

2. Tabla del Anexo II: Datos de entrada de la función `f_Imp_Reg_Temperaturas` (Azul) y variables de salida de la operación de importación y carga de datos (Verde).

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|-------------------------|---------------------|--------------|--|
| <code>Dir_Imp</code> | 1x1 double | - | Dirección de importación de datos (Directorio: 1-3) |
| <code>Ensayo</code> | 1x1 double | - | Ensayo seleccionado (1-4) |
| <code>Pruebas</code> | 3x1 cell | - | Prueba del ensayo seleccionado |
| <code>fP_px</code> | 2x1 cell | <i>px</i> | Fila del punto seleccionado en cada video IR de las cámaras |
| <code>cP_px</code> | 2x1 cell | <i>px</i> | Columna del punto seleccionado en cada video IR de las cámaras |
| <code>Nr</code> | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| <code>t_rA</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempo de registro de posición del robot ABB |
| <code>P_rA</code> | Nrx1 cell | <i>mm</i> | Puntos del registro de posición del robot ABB |
| <code>Q_rA</code> | Nrx1 cell | - | Cuaterniones del registro de posición del robot ABB |
| <code>L_rA</code> | Nrx1 cell | - | Funcionamiento del láser del registro de posición del robot ABB |
| <code>t_pI</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempo del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| <code>T_pI</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| <code>t_cF</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempo de la cámara FLIR A325 G® |
| <code>S_cF</code> | Nrx1 cell | - | Señal radiométrica media en (<code>f_px,c_px</code>) seleccionado |
| <code>videoIR_cF</code> | Nrx1 cell (MAT) | - | Video IR de la cámara FLIR A325 G® |
| <code>t_cO</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempo de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| <code>T_cO</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas máximas de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| <code>T_mHS_cO</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas máximas de la media móvil (3x3 <i>px</i>) de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| <code>videoIR_cO</code> | Nrx1 cell (MAT) | - | Video IR de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| <code>tPX_cO</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempo del software PIX Connect® |
| <code>vPX_IR</code> | Nrx1 cell (RAVI) | - | Video IR del software PIX Connect® (Problemas para procesar en Matlab®) |
| <code>diagTT_cO</code> | Nrx1 cell | <i>s, °C</i> | Diagrama t-T del software PIX Connect® |

Una vez se tengan todos los datos de entrada y las variables de salida, se procede a ejecutar la parte correspondiente a los **cálculos**. Aquí, se tienen distintas funciones que se clasifican por su cometido. Para empezar, se trabaja en el preprocesado de las señales, donde se eliminan los posibles picos que pudieran haber al inicio de los registros procedente del ruido creado por las reflexiones. Además, se realiza la conversión de temperaturas en los registros de la cámara FLIR A325 G[®] aplicando los algoritmos internos (Ver 3.4.1). Para ello, se hace uso de la función `f_Conversion_TTc` para las temperaturas del punto seleccionado en la pared. En la 3. Tabla se muestran los datos de entrada en azul y de salida en verde de esta función, donde se detallan el formato y las unidades de cada uno de ellos:

3. Tabla del Anexo II: Datos de entrada (Azul) y salida (Verde) de la función `f_Conversion_TTc`.

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|--------------------------|------------|----------|---|
| <code>Nr</code> | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| <code>Rango</code> | 2x1 cell | - | Rango de la cámara FLIR A325 G [®] (R0, R1 y R2) |
| <code>IRFormat</code> | 1x1 double | - | Modo de funcionamiento de la cámara FLIR A325 G [®] |
| <code>IRAlignment</code> | 1x1 double | - | Alineamiento del rango de la cámara FLIR A325 G [®] |
| <code>Offset</code> | 1x3 double | °C | Offset del alineamiento |
| <code>S_cF</code> | Nrx1 cell | - | Temperaturas originales de la cámara FLIR A325 G [®] |
| <code>T_cF</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas de salida de la cámara FLIR A325 G [®] |

Asimismo, se hace uso de la función `f_TempLinearMode` para todos los píxeles que forman los fotogramas de los videos IR. A diferencia de la función anterior donde la saturación se realiza posteriormente tras el ajuste, aquí se incluye dicha operación para considerar la saturación a lo largo de todo el video IR que proporciona la cámara FLIR A325 G[®]. Siendo esto así, se tienen los datos de entrada y salida que se muestran en la siguiente tabla:

4. Tabla del Anexo II Datos de entrada (Azul) y salida (Verde) de la función `f_TempLinearMode`.

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|--------------------------|--------------------|----------|---|
| <code>Nr</code> | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| <code>Rango</code> | 2x1 cell | - | Rango de la cámara FLIR A325 G [®] (R0, R1 y R2) |
| <code>IRFormat</code> | 1x1 double | - | Modo de funcionamiento de la cámara FLIR A325 G [®] |
| <code>IRAlignment</code> | 1x1 double | - | Alineamiento del rango de la cámara FLIR A325 G [®] |
| <code>Offset</code> | 1x3 double | °C | Offset del alineamiento |
| <code>Lim_Sup</code> | 1x3 double | °C | Límite superior del rango para saturación |
| <code>Lim_Inf</code> | 1x3 double | °C | Límite inferior del rango para saturación |
| <code>videoIR_cF</code> | Nrx1 cell (MAT) | - | Temperaturas originales de la cámara FLIR A325 G [®] |
| <code>videoT_cF</code> | Nrx1 cell (MAT) | °C | Temperaturas de salida de la cámara FLIR A325 G [®] |

Posteriormente, se ejecuta el tratamiento de las señales mediante las operaciones de remuestreo, ajuste del inicio y final, así como la saturación en los límites del rango. Para ello, se hace uso de las funciones `f_Remuestreo_Total`, `f_Ajuste_Total`, `f_Final_Total` y `f_Saturacion_Total` respectivamente, donde la ejecución se realiza de forma secuencial. Esto quiere decir que los datos de salida de uno son las entradas de la siguiente. Por consiguiente, los formatos y las unidades son invariables a lo largo de la secuencia de operaciones correspondiente al tratamiento de las señales.

Sin embargo, alguna de estas funciones requiere de parámetros de entrada adicionales para el correcto funcionamiento. Por consiguiente, se distingue entre los parámetros de entrada específicos para cada función (5. Tabla, Morado) y los genéricos que se introducen de forma secuencial en todas las funciones (5. Tabla, Azul). Dentro de los datos de entrada particulares destacan el número de registros (N_r), la frecuencia de muestreo (f_s), el tipo de ajuste (t_{tipoAJ}) y el rango seleccionado (R_{ango}) junto a su límite superior ($L_{\text{im_Sup}}$) e inferior ($L_{\text{im_Inf}}$).

En cuanto a los datos de salida, se distinguen los correspondientes al ajuste con final común de la función $f_{\text{Final_Total}}$ (5. Tabla, Verde) y los saturados procedentes de $f_{\text{Saturacion_Total}}$ (5. Tabla, Naranja). La razón de esta distinción viene determinada por la necesidad de introducir en las funciones posteriores. En el caso de las variables ajustadas con final común, son utilizadas para el procesamiento de señales, mientras que las saturadas se usan para la mera ilustración de las gráficas finales.

En la siguiente tabla se detallan cada uno de los datos de entrada y salida de la secuencia de operaciones mencionada:

5. Tabla del Anexo II: Datos de entrada particulares (Morado) y genéricos (Azul), y datos de salida de las funciones $f_{\text{Final_Total}}$ (Verde) y $f_{\text{Saturacion_Total}}$ (Naranja).

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|------------------------------|--------------------|----------|--|
| N_r | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| f_s | 1x1 double | Hz | Frecuencia de muestreo para la función $f_{\text{Remuestreo_Total}}$ |
| t_{tipoAJ} | 1x1 double | - | Tipo de ajuste (1-2) para la función $f_{\text{Ajuste_Total}}$ |
| R_{ango} | 2x1 cell | - | Rango de la cámara FLIR A325 G [®] (R0, R1 y R2) para la función $f_{\text{Saturacion_Total}}$ |
| $L_{\text{im_Sup}}$ | 1x3 double | °C | Límite superior del rango para saturación para la función $f_{\text{Saturacion_Total}}$ |
| $L_{\text{im_Inf}}$ | 1x3 double | °C | Límite inferior del rango para saturación para la función $f_{\text{Saturacion_Total}}$ |
| t_{rA} | Nrx1 cell | s | Tiempo de registro de posición del robot ABB |
| P_{rA} | Nrx1 cell | mm | Puntos del registro de posición del robot ABB |
| L_{rA} | Nrx1 cell | - | Funcionamiento del láser del registro de posición del robot ABB |
| t_{pI} | Nrx1 cell | s | Tiempo del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22 [®] |
| T_{pI} | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22 [®] |
| t_{cF} | Nrx1 cell | s | Tiempo de la cámara FLIR A325 G [®] |
| T_{cF} | Nrx1 cell | °C | Temperaturas de salida de la cámara FLIR A325 G [®] |
| $\text{video}T_{\text{cF}}$ | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video IR de salida de la cámara FLIR A325 G [®] |
| HS_{cF} | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del HS de la cámara FLIR A325 G [®] |
| t_{cO} | Nrx1 cell | s | Tiempo de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| T_{cO} | Nrx1 cell | °C | Temperaturas máximas de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| $\text{video}IR_{\text{cO}}$ | Nrx1 cell (MAT) | - | Video IR de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| $\text{diag}TT_{\text{cO}}$ | Nrx1 cell | s, °C | Diagrama $t - T$ de la cámara OPTRIS procedente del software PIX Connect [®] |

Monitorización Térmica del Proceso Laser Metal Deposition (LMD)

| | | | |
|--------------------|-----------------|-------|---|
| trA_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común del robot ABB |
| PrA_FinTot | Nrx1 cell | mm | Posiciones ajustadas con final común del robot ABB |
| LrA_FinTot | Nrx1 cell | - | Funcionamiento del láser ajustado con final común del robot ABB |
| tpI_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| TpI_FinTot | Nrx1 cell | °C | Temperaturas ajustadas con final común del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| tcF_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común de la cámara FLIR A325 G® |
| TcF_FinTot | Nrx1 cell | °C | Temperaturas ajustadas con final común de la cámara FLIR A325 G® |
| VcF_FinTot | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video IR ajustadas con final común de la cámara FLIR A325 G® |
| HScF_FinTot | Nrx1 cell | °C | Temperaturas saturadas del HS de la cámara FLIR A325 G® |
| tcO_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| TcO_FinTot | Nrx1 cell | °C | Temperaturas ajustadas con final común de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| VcO_FinTot | Nrx1 cell (MAT) | - | Video IR ajustado con final común de la cámara OPTRIS |
| DcO_FinTot | Nrx1 cell | s, °C | Diagramas $t - T$ ajustadas con final común de la cámara OPTRIS PI 05 M® procedente del software PIX Connect® |
| trA_sat | Nrx1 cell | s | Tiempos saturados del robot ABB |
| PrA_sat | Nrx1 cell | mm | Posiciones saturadas del robot ABB |
| LrA_sat | Nrx1 cell | - | Funcionamiento del láser saturado del robot ABB |
| tpI_sat | Nrx1 cell | s | Tiempos saturados del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| TpI_sat | Nrx1 cell | °C | Temperaturas saturadas del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| tcF_sat | Nrx1 cell | s | Tiempos saturados de la cámara FLIR A325 G® |
| TcF_sat | Nrx1 cell | °C | Temperaturas saturadas de la cámara FLIR A325 G® |
| VcF_sat | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video IR saturado de la cámara FLIR A325 G® |
| HScF_sat | Nrx1 cell | °C | Temperaturas saturadas del HS de la cámara FLIR A325 G® |
| tcO_sat | Nrx1 cell | s | Tiempos saturados de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| TcO_sat | Nrx1 cell | °C | Temperaturas saturadas de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| VcO_sat | Nrx1 cell (MAT) | - | Video IR saturado de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| DcO_sat | Nrx1 cell | s, °C | Diagramas $t - T$ saturadas de la cámara OPTRIS PI 05 M® procedente del software PIX Connect® |

Para terminar, se tiene la parte para el procesado de las señales donde el primer paso consiste en procesar los videos IR de la cámara OPTRIS PI M® con la función $f_Procesado_OPTRIS$ (6. Tabla).

6. Tabla del Anexo II: Datos de entrada (Azul) y salida (Verde) de la función $f_Procesado_OPTRIS$.

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|---------------------------|-------------------|-----------------|---|
| Nr | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| Rpx | 1x1 double | px/mm | Relación de píxel |
| P1 | 2x1 cell | px | Puntos iniciales de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect® |
| P2 | 2x1 cell | px | Puntos finales de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect® |
| Np | 2x1 cell | - | Número de puntos de adquisición de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect® |
| fP_px | 2x1 cell | px | Fila del punto seleccionado en cada video IR de las cámaras |
| cP_px | 2x1 cell | px | Columna del punto seleccionado en cada video IR de las cámaras |
| dH_Malla | 1x1 double | - | Discretización horizontal del mallado virtual |
| dV_Malla | 1x1 double | - | Discretización vertical del mallado virtual |
| trA_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común del robot ABB |
| PrA_FinTot | Nrx1 cell | mm | Posiciones ajustadas con final común del robot ABB |
| LrA_FinTot | Nrx1 cell | - | Funcionamiento del láser ajustado con final común del robot ABB |
| DcO_FinTot | Nrx1 cell | s, °C | Diagramas $t - T$ ajustadas con final común de la cámara OPTRIS PI 05 M® procedente del software PIX Connect® |
| T_RegPos_H | Nrx1 cell | °C | Temperaturas de los puntos del registro de posición según la distribución horizontal (sin interpolar) |
| T_RegPos_V | Nrx1 cell | °C | Temperaturas de los puntos del registro de posición según la distribución vertical (sin interpolar) |
| T_RegPosCOM_IntCar | Nrx1 cell | °C | Temperaturas de los puntos comunes del registro de posición en 2D según la interpolación cartesiana |
| V_Malla_IntPol | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video térmico de todos los puntos de la malla en 2D según la interpolación polar |
| T_Pto_IntPol | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla en 2D según la interpolación polar |
| Xdisc_cO | 1xdH_Malla double | mm | Discretización en X procedente del procesado de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| Zdisc_cO | 1xdV_Malla double | mm | Discretización en Z procedente del procesado de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| t_rA_L | Nrx1 cell | s | Tiempos del registro de posición del robot ABB procedente del procesado de la cámara OPTRIS PI 05 M® (filtrado) |

A partir del video térmico de la malla procedente de la cámara OPTRIS PI 05 M[®], se lleva a cabo el procesado de los videos IR de la cámara FLIR A325 G[®] con el fin de obtener una discretización común. Tal y como se expone más adelante, este paso es de vital importancia para la combinación de registros procedentes de estas dos fuentes y poder así ampliar el rango de temperaturas. Para ello, se hace uso de la función f_{Mallado} (7. Tabla), donde se tienen los siguientes datos de entrada y salida en azul y en verde respectivamente:

7. Tabla del Anexo II: Datos de entrada (Azul) y salida (Verde) de la función f_{Mallado} .

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|----------------|------------------------|----------|---|
| Nr | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| dH_Malla | 1x1 double | - | Discretización horizontal del mallado virtual |
| dV_Malla | 1x1 double | - | Discretización vertical del mallado virtual |
| fP_mm | 1x1 double | mm | Fila del punto seleccionado en la pared (Dirección Z) |
| cP_mm | 1x1 double | mm | Columna del punto seleccionado en la pared (Dirección X) |
| Xdisc_cO | 1xdH_Malla a double | mm | Discretización en X procedente del procesado de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| Zdisc_cO | 1xdV_Malla double | mm | Discretización en Z procedente del procesado de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| P1 | 2x1 cell | px | Puntos iniciales de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect [®] |
| P2 | 2x1 cell | px | Puntos finales de los perfiles de temperatura horizontal y vertical de PIX Connect [®] |
| tcF_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común de la cámara FLIR A325 G [®] |
| VcF_FinTot | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video IR ajustadas con final común de la cámara FLIR A325 G [®] |
| tcO_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| VcO_FinTot | Nrx1 cell (MAT) | - | Video IR ajustado con final común de la cámara OPTRIS |
| V_Malla_IntPol | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video térmico de todos los puntos de la malla en 2D según la interpolación polar |
| Tp_cF | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara FLIR A325 G [®] |
| VcF_Malla | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video térmico de la malla procedente de la cámara FLIR A325 G [®] |
| Tp_cO | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] |
| VcO_Malla | Nrx1 cell (MAT) | °C | Video térmico de la malla procedente de la cámara OPTRIS PI 05 M [®] (Igual a V_Malla_IntPol) |

Gracias a la función anterior, se tiene dos mallados independientes con el mismo número de puntos de las paredes fabricadas por LMD. Por consiguiente, resulta viable combinar los registros procedentes de cada fuente para la ampliación del rango de temperaturas a través de la superposición del rango $400 \div 1200 \text{ °C}$ de la cámara FLIR A325 G[®] y $900 \div 2450 \text{ °C}$ de OPTRIS PI 05 M[®].

Por lo tanto, el siguiente paso consiste en la combinación de temperaturas procedentes de las cámaras FLIR A325 G® y OPRIS PI 05 M®. La función encargada de ello es `f_Combinacion_FO`, donde se opera con las temperaturas del punto de la malla seleccionado en (`cP_mm`, `fP_mm`) en base a los parámetros que se muestran en la siguiente tabla:

8. Tabla del Anexo II: Datos de entrada (Azul) y salida (Verde) de la función `f_Combinacion_FO`.

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|-------------------------|------------|-----------|--|
| <code>Nr</code> | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| <code>Npas</code> | 1x1 double | - | Número de pasadas en común detectadas visualmente |
| <code>fP_mm</code> | 1x1 double | <i>mm</i> | Fila del punto seleccionado en la pared (Dirección Z) |
| <code>cP_mm</code> | 1x1 double | <i>mm</i> | Columna del punto seleccionado en la pared (Dirección X) |
| <code>tcF_FinTot</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempos ajustados con final común de la cámara FLIR A325 G® |
| <code>Tp_cF</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara FLIR A325 G® |
| <code>tcO_FinTot</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempos ajustados con final común de la cámara OPRIS PI 05 M® |
| <code>Tp_cO</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara OPRIS PI 05 M® |
| <code>Tp_ComFO</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara FLIR A325 G® |

Para terminar, se tiene la función `f_Correccion_Temp` encargada de aplicar los métodos de ajuste que se han desarrollado con el fin de corregir las temperaturas de la cámara FLIR A325 G® (Ver 3.4.2). En la 9. Tabla se muestran las variables de entrada (Azul) y salida (Verde) que son necesarias para su correcto funcionamiento:

9. Tabla del Anexo II: Datos de entrada (Azul) y salida (Verde) de la función `f_Correccion_Temp`.

| Símbolo | Formato | Unidades | Descripción |
|-------------------------|------------|-----------|--|
| <code>Nr</code> | 1x1 double | - | Número de registros importados (Pruebas) |
| <code>tipoAJ</code> | 1x1 double | - | Tipo de ajuste (1-2) |
| <code>Rango</code> | 2x1 cell | - | Rango de la cámara FLIR A325 G® (R0, R1 y R2) trabajando en <i>Temperature Linear Mode</i> |
| <code>Lim_Sup</code> | 1x3 double | °C | Límite superior del rango para saturación |
| <code>Lim_Inf</code> | 1x3 double | °C | Límite inferior del rango para saturación |
| <code>fP_mm</code> | 1x1 double | <i>mm</i> | Fila del punto seleccionado en la pared en Z |
| <code>cP_mm</code> | 1x1 double | <i>mm</i> | Columna del punto seleccionado en la pared en X |
| <code>tpI_RemTot</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempos remuestreados del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| <code>TpI_RemTot</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas remuestreados del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® |
| <code>tcF_FinTot</code> | Nrx1 cell | <i>s</i> | Tiempos ajustados con final común de la cámara FLIR A325 G® |
| <code>Tp_cF</code> | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara FLIR A325 G® |

| | | | |
|-------------------|-----------|----|---|
| tcO_FinTot | Nrx1 cell | s | Tiempos ajustados con final común de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| Tp_cO | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara OPTRIS PI 05 M® |
| Tp_ComFO | Nrx1 cell | °C | Temperaturas del punto seleccionado de la malla procedente de la cámara FLIR A325 G® |
| Tp_CorEvar | Nrx1 cell | °C | Temperatura corregida con ε_{Var} (Ajuste Tc-E) |
| Tp_CorPol3 | Nrx1 cell | °C | Temperatura corregida con $\varepsilon_{Pol.3}$ (Ajuste Tc-Tp) |

Dentro de esta última función, se tienen distintos algoritmos con el fin de dividir las operaciones necesarias para la corrección de temperaturas. Como las subfunciones de su interior no están al alcance del usuario, el conocimiento de las variables de entrada y salida de cada una de ellas no resulta tan importante como la función que desempeñan. Por ello, las siguientes explicaciones omiten la introducción de los datos de funcionamiento, y se centran en su cometido.

Siendo esto así, el primer paso que se lleva a cabo dentro de la función `f_Correccion_Temp` es el del reajuste de las señales procedentes del pirómetro IMPAC IGAR 12-LO MB 22® y las cámaras termométricas FLIR A325 G® y OPTRIS PI 05 M®, ya que la posición es dependiente del punto seleccionado de la malla. Para ello, se hace uso de la subfunción `f_Reajuste_IFO` donde se adaptan `f_Ajuste_Total`, `f_Final_Total` y `f_Saturacion_Total` para que únicamente se consideren los registros mencionados.

Una vez se tengan los tres registros reajustados con inicios, finales y saturaciones en común dentro de la función `f_Correccion_Temp`, se procede a la estimación de la emisividad (ε) a través de las subfunciones `f_Emisividad_TcE` y `f_Emisividad_TcTp` que implementan los métodos de ajuste $T_c - \varepsilon$ y $T_c - T_p$ respectivamente. Así, la corrección de temperaturas es realizada con las subfunciones `f_Temperatura_TcE` y `f_Temperatura_TcTp` considerando las correspondientes emisividades que se estiman con cada método.

Finalmente, el código de programación expulsa como resultados las desviaciones máximas y medias que se producen en cada uno de los métodos de ajuste mencionados. Esto es realizado a través de la subfunción `f_Desviaciones`, que permite un análisis cuantitativo a posteriori. Asimismo, el programa proporciona gráficas ilustrativas sobre los resultados obtenidos, mediante las cuales el usuario es capaz de realizar un análisis cualitativo.

