

ANEXO I: Código de Programación

```
%% MONITORIZACIÓN TÉRMICA DEL PROCESO LASER METAL DEPOSITION (LMD)
% AUTOR:                Xabat Orue Llona
% TUTOR:                Iker Garmendia Sáez de Heredia
% FECHA:                01/03/2021 - 31/08/2021
% OBJETIVO:            % Determinar los ciclos de calentamiento y
                    % enfriamiento de las piezas fabricadas por LMD.
                    % De esta forma, se pretende garantizar una mejor
                    % fabricabilidad y predicción de la calidad de
                    % las piezas resultantes.

clc, clear all, close all;
%% Datos de Entrada %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Selección del Directorio de Importación
% 1. Tekniker    (\\ada)
% 2. PC Laptop  (C:)
% 3. USB        (E:)
Dir_Imp=1;

% Selección de Ensayos
% 1. Ensayo: Paredes Delgadas (PD)
% 2. Ensayo: Mesa Caliente (MC)
% 3. Ensayo: Impac-Flir-Optris (IFO)
% 4. Ensayo: Emisividad con Flir (EF)
Ensayo=3;

% Selección de Pruebas
Pruebas={17;...           % Pirómetro IMPAC (pI)
         17;...           % Cámara FLIR (cF)
         17};             % Cámara OPTRIS (cO)

% Tratamiento de Señales %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Remuestreo *****
fs = 60;    % Frecuencia de Muestreo [Hz]

% Tipo de Ajuste de Registros *****
% 1. Ajuste por Máximos
% 2. Ajuste por Encendido del Láser
tipoAJ=2;

% Límites de saturación *****
% Cámara FLIR (cF)
% R0    R1    R2
Lim_Sup= [425 , 1500 , 1200]; % Límite superior [°C]
Lim_Inf= [-20 , 0    , 400];  % Límite inferior [°C]

% Algoritmos Internos de las Cámaras Termométricas %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Modo de Procesamiento de Datos
% IRFormat=0;          % Radiometric Signal Linear
% IRFormat=1;          % Temperature Linear, 0,1K resolution
% IRFormat=2;          % Temperature Linear, 0,01K resolution
IRFormat=1;

% Signal Linear Mode *****
% Parámetros de Calibración
      % R0          R1          R2
B      = [1348.80 , 1408.40 , 1478.10]; % Conversión S-T
R      = [12713.13, 15509.30, 18799.46]; % Conversión S-T
F      = [1.00    , 1.00    , 1.00];   % Conversión S-T

% Parámetros de Compensación del Valor del Píxel
      % R0          R1          R2
J0     = [5385     , 7679     , 7791];   % Global Offset
J1     = [97.4802  , 15.35    , 4.22];   % Global Gain
K1     = [0.8889   , 1.0423   , 0.9939]; % (Ajuste manual)
K2     = [0.0364   , 0.0761   , 0.0725]; % (Ajuste manual)

% Parám. de Compensación Atmosférica (Spectral response param.)
      % R0          R1          R2
alpha1 = [0.0066  , 0.0066  , 0.0066];
alpha2 = [0.0126  , 0.0126  , 0.0126];
beta1  = [-0.023  , -0.023  , -0.023];
beta2  = [-0.0067 , -0.0067 , -0.0067];
X      = [1.9     , 1.9     , 1.9];

% Temperature Linear Mode *****
% Rango de Temperaturas
      % FLIR          % OPTRIS
% Rango = 1.....R0 = -20 - 120 °C ... 900 - 2450 °C (27Hz)
% Rango = 2.....R1 = 0 - 350 °C ... 950 - 2450 °C (80Hz)
% Rango = 3.....R2 = 0 - 1200°C ... 1100 - 2450 °C (1kHz)

Rango={3;... % Cámara FLIR (cF)
1}; % Cámara OPTRIS (cO)

% Alineamiento del Rango
% IRAlignment=0; % Ajuste en 0 K
% IRAlignment=1; % Ajuste en el límite inferior del rango
IRAlignment=0;

% Offsets (Extraídos del setting QueryCase, Limits)
      % R0          R1          R2
Offset=[-20+273.15 , 0 , 120+273.15]; % [K]
```

```

% Procesado de Señales %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Selección del Punto de la Pared (40x4 mm) *****
fP_mm= 0;           % Fila del Pto. en Z      [mm]
cP_mm= -20;        % Columna del Pto. en X   [mm]

% Selección de los Píxeles de Videos IR *****
% Filas
fP_px={225:227;... % Cámara FLIR (cF)          [px]
      28};         % Cámara OPTRIS (cO)       [px] (50 px.)

% Columnas
cP_px={50:58;...   % Cámara FLIR (cF)          [px]
      25};         % Cámara OPTRIS (cO)       [px] (150 px.)

% Mallado Virtual de la Pared *****
dH_Malla= 150;    % Discretización Horizontal
dV_Malla= 50;    % Discretización Vertical

% Parámetros del Proceso *****
L_p = 40;        % Longitud de las paredes [mm]
H_c = 1.00;     % Altura de capas [mm]
v_r = 25;       % Velocidad de avance del robot [mm/s]

% PIX Connect *****
Rpx=9.5;        % px=1mm
v_px= 238.1;   % Velocidad de avance por píxeles [px/s]
px_h= v_r/v_px; % Tamaño de pixel en horizontal [mm]

% Perfil de Temperaturas
% Inicios
P1= {[136,91];... % 1. Perfil horizontal
     [195,105]};  % 2. Perfil vertical

% Finales
P2= {[255,140];... % 1. Perfil horizontal
     [195,163]};  % 2. Perfil vertical

% N° de ptos.
Np= {9,...       % 1. Perfil horizontal
     6};         % 2. Perfil vertical

% Combinación de Cámaras FLIR y OPTRIS *****
Npas=4;         % Número de pasadas en común

```

```

%% Importar y Cargar Datos %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Importar y guardar registro de temperaturas y videos IR *****
tic
f_Imp_Reg_Temperaturas(Dir_Imp,Ensayo,Pruebas,fP_px,cP_px);
toc

% Cargar Datos de Tiempos y Temperaturas *****
load('3. Datos_IFO.mat')

% Variables de Importación *****
%
%           Nr           [-]           Número de Registros
%
% Robot ABB
%           t_rA           [s]           Tiempo
%           P_rA           [-]           Puntos
%           Q_rA           [-]           Cuaterniones
%           L_rA           [-]           Láser on/off
%
% Pirómetro IMPAC
%           t_pI           [s]           Tiempo
%           T_pI           [°C]         Temperatura
%
% Cámara FLIR
%           t_cF           [s]           Tiempo
%           S_cF           [-]           Señal original media en (f_px,c_px)
%           videoIR_cF    [-]           Videos IR original
%
% Cámara OPTRIS
%           t_cO           [s]           Tiempo *(Falta la adquisición)
%           T_cO           [°C]         Temp. Máxima Absoluta (1 px)
%           T_mHS_cO       [°C]         Temp. Máxima de la Media Móvil (3x3 px)
%           videoIR_cO    [-]           Videos IR de Matlab
%
%           tPX_cO         [s]           Tiempo de PIX Connect
%           vPX_IR         [-]           Videos IR de PIX Connect
%
%           diagTT_cO     [s,°C]       Diagramas t-T de PIX Connect

```

```

%% Cálculos %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Preprocesado de Señales %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 0. Preprocesamiento de Datos *****
% Pirómetro IMPAC (pI)
% 1 pico en 1º Registro
for i=1:length(T_pI{1})
    if T_pI{1}(i)==max(T_pI{1})
%       T_pI{1}(i)= min(T_pI{1});
%       T_pI{1}(i)= T_pI{1}(i-1);
%       T_pI{1}(i)= [];
    end
end

% Cámara FLIR (cF)
% Conversión Temperature - Temperature
% Señal de pixeles seleccionados
[T_cF]=f_Conversion_TTc...
    (Nr,Rango,IRFormat,IRAlignment,Offset,S_cF);

% Video IR
[videoT_cF]=f_TempLinearMode...
    (Nr,Rango,IRFormat,IRAlignment,Offset, ...
    Lim_Sup,Lim_Inf,videoIR_cF);

% Hot Spot (HS) %
for r=1:Nr
    for i=1:length(videoT_cF{r})

        HS_cF{r}(i)=double(max(max(videoT_cF{r}{i})));

    end
end

% Cámara OPTRIS (cO)
% Hot Spot (HS) extraído en la importación...

% Borrar pico inicial
N=4; % N° de picos
for i=1:N
    T_cO{1}(i)=T_cO{1}(N+1);
end

```

```

% Tratamiento de Señales %%%%%%%%%%%

% 1. Remuestreo *****
[trA_rem,PrA_rem,LrA_rem,...           % Robot ABB
 tpI_rem,TpI_rem,tc_rem,Tc_rem,... % Pirómetro IMPAC (+ Cámara FLIR)
 tcF_rem,TcF_rem,VcF_rem,HScF_rem,... % Cámara FLIR
 tcO_rem,TcO_rem,VcO_rem,...           % Cámara OPTRIS
                                DcO_rem]=... % Diagrama de OPTRIS
    f_Remuestreo_Total(Nr,fs,...
                        t_rA,P_rA,L_rA,...           % Robot ABB
                        t_pI,T_pI,...               % Pirómetro IMPAC
                        t_cF,T_cF,videoT_cF,HS_cF,...% Cámara FLIR
                        t_cO,T_cO,videoIR_cO,...     % Cámara OPTRIS
                        diagTT_cO); % Diagrama OPTRIS

% 2. Ajuste *****
[trA_AjTot,PrA_AjTot,LrA_AjTot,...     Robot ABB
 tpI_AjTot,TpI_AjTot,...               Pirómetro IMPAC
 tcF_AjTot,TcF_AjTot,VcF_AjTot,...     Cámara FLIR
 tcO_AjTot,TcO_AjTot,VcO_AjTot,...     Cámara OPTRIS
                                DcO_AjTot]... Diagrama OPTRIS
    =f_Ajuste_Total(Nr, tipoAJ,...
                   trA_rem,PrA_rem,LrA_rem,... % Robot ABB
                   tp_rem, Tp_rem,...         % Pirómetro IMPAC
                   tcF_rem,HScF_rem,VcF_rem,...% Cámara FLIR (Según HS)
                   tcO_rem,TcO_rem,VcO_rem,... % Cámara OPTRIS
                   DcO_rem); % Diagrama OPTRIS

% 3. Final *****
[trA_FinTot,PrA_FinTot,LrA_FinTot,...   Robot ABB
 tpI_FinTot,TpI_FinTot,...             Pirómetro IMPAC
 tcF_FinTot,TcF_FinTot,VcF_FinTot,...   Cámara FLIR
 tcO_FinTot,TcO_FinTot,VcO_FinTot,...   Cámara OPTRIS
                                DcO_FinTot]= ... Diagrama OPTRIS
    f_Final_Total(Nr,trA_AjTot,PrA_AjTot,LrA_AjTot,...% Robot ABB
                  tpI_AjTot,TpI_AjTot,...         % Pirómetro IMPAC
                  tcF_AjTot,TcF_AjTot,VcF_AjTot,...% Cám. FLIR
                  tcO_AjTot,TcO_AjTot,VcO_AjTot,...% Cám. OPTRIS
                  DcO_AjTot); % Diag OPTRIS

% 4. Saturación *****
[trA_sat,PrA_sat,LrA_sat,...           Robot ABB
 tpI_sat,TpI_sat,...                   Pirómetro IMPAC
 tcF_sat,TcF_sat,VcF_sat,...           Cámara FLIR
 tcO_sat,TcO_sat,VcO_sat,...           Cámara OPTRIS
                                DcO_sat]=... Diagrama OPTRIS
    f_Saturacion_Total(Nr,Lim_Inf,Lim_Sup,Rango,...
                       trA_FinTot,PrA_FinTot,LrA_FinTot,... % Robot ABB
                       tpI_FinTot,TpI_FinTot,...           % Piróm. IMPAC
                       tcF_FinTot,TcF_FinTot,VcF_FinTot,... % Cám. FLIR
                       tcO_FinTot,TcO_FinTot,VcO_FinTot,... % Cám. OPTRIS
                       DcO_FinTot); % Diag OPTRIS

```

```

% Procesado de Señales %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% 5. Procesado de Videos IR de OPTRIS *****
[MapaH,MapaV,
 DisTerm,Tptos_malla_cO,...
 Xdisc_cO,Zdisc_cO,...
 t_rA_L,Tpto_malla_cO]=...
   f_Procesado_OPTRIS(Nr,P1,P2,Np,Rpx, ...
                      fP_px,cP_px,dH_Malla,dV_Malla,...
                      trA_FinTot,PrA_FinTot,LrA_FinTot,... % Robot ABB
                      DcO_FinTot); % Diag OPTRIS

% 6. Mallado de la Pared *****
[VcF_Malla,Tp_cF,... % Cámara FLIR
 VcO_Malla,Tp_cO]=... % Cámara OPTRIS
   f_Mallado(Nr,tcF_final,TcF_final,VcF_final,...
             dH_Malla,dV_Malla,fP_mm,cP_mm,...
             t_rA_L,Tptos_malla_cO,Xdisc_cO,Zdisc_cO,...
             VcO_final,P1,P2,T_cO,tcO_final,...
             tpI_FinTot,TpI_FinTot,... % Pirómetro IMPAC
             tcF_FinTot,TcF_FinTot,VcF_FinTot,... % Cám. FLIR
             tcO_FinTot,TcO_FinTot,VcO_FinTot);...% Cám. OPTRIS

% 7. Combinación de Cámaras FLIR y OPTRIS *****
Tp_ComFO= f_Combinacion_FO(Nr,Npas,fP_mm,cP_mm,...
                           tcF_FinTot,Tp_cF,... % Cámara FLIR
                           tcO_FinTot,Tp_cO); % Cámara OPTRIS

% 8. Corrección de Temperaturas *****
[Tp_CorEvar,... % Evar del Ajuste Tc-E
 Tp_CorPol3]=... % Pol3 del Ajuste Tc-Tp
   f_Correccion_Temp(Nr,tipAJ,Rango,Lim_Inf,Lim_Sup,fP_mm,cP_mm,...
                    tp_rem,Tp_rem,... % Pirómetros IMPAC
                    tcF_FinTot,Tp_cF,... % Cámara FLIR
                    tcO_FinTot,Tp_cO,... % Cámara OPTRIS
                    Tp_ComFO); % Combinada cF-cO

```

*** Funciones internas de f_Correccion_Temp:**

```

% Reajuste de Registros *****
[tpI_FinCom, TpI_FinCom, ... Final común del Pirómetro IMPAC
tcF_FinCom, TcF_FinCom, ... Final común de la Cámara FLIR
tcO_FinCom, TcO_FinCom, ... Final común de la Cámara OPTRIS
tpI_SatCom, TpI_SatCom, ... Saturación del Pirómetro IMPAC
tcF_SatCom, TcF_SatCom] ... Saturación de la Cámara FLIR
    =f_Reajuste_IFO (Nr, tipoAJ, Rango, Lim_Inf, Lim_Sup, ...
                    tp_rem, Tp_rem, ... % Pirómetro IMPAC
                    tcF_FinTot, Tp_cF, ... % Cámara FLIR
                    tcO_FinTot, Tp_cO); % Cámara OPTRIS

% Estimación de la Emisividad *****

% Método de Ajuste Tc-E
[E_t, E_ls, E_med, t_ord, Tc_ord, E_ord, E_pol, C_pol, Ind_ord, ...
Tc_reg_ord, E_reg_ord, E_pol_reg, C_pol_reg, Ind_ord_reg, ...
    E_ls_reg, E_med_reg]= ...
    f_Emisividad_TcE (Nr, TpI_FinCom, tcF_FinCom, TcF_FinCom);

% Método de Ajuste Tc-Tp
[Tp_ord_TcTp, Tc_ord_TcTp, ... % Registro Seleccionado
Tp_pol3, E3, ...
Tp_pol2, E2, ...
Tp_poll1, E1, ...
Tp_reg_ord_TcTp, Tc_reg_ord_TcTp, ... % Todos los Registros
Tp_pol3_RegS, E3_reg, ...
Tp_pol2_RegS, E2_reg, ...
Tp_poll1_RegS, E1_reg] =...
    f_Emisividad_TcTp (Nr, TpI_FinCom, TcF_FinCom);

% Corrección de Temperaturas *****

% Método de Ajuste Tc-E
[Tc_Ecte, Tc_Evar, ... % Registro Seleccionado
Tc_Ecte_reg, Tc_Evar_reg]=... % Todos los Registros
    f_Temperatura_TcE (Nr, TcF_FinCom, E_ls, Tc_ord, E_pol, ...
    E_ls_reg, C_pol_reg); % Todos los Regs

% Método de Ajuste Tc-Tp
[Tc_cor3, Tc_cor2, Tc_cor1, ... % Registro Seleccionado
Tc_reg_cor3, Tc_reg_cor2, Tc_reg_cor1]=... % Todos los Registros
    f_Temperatura_TcTp (Nr, Tc_ord, E3, E2, E1, ... % Reg. Selec,
    E3_reg, E2_reg, E1_reg); % Todos los Regs

% Cálculo de Desviaciones *****
[Er_c, Er_cR, Er_cVarT, Er_cEvar_reg % Método Tc-E
Er_cor3, Er_cor2, Er_cor1, ... % Método Tc-Tp
Er_reg_cor3, Er_reg_cor2, Er_reg_cor1]= f_Desviaciones...
(Nr, Tp_sat, Tc_sat, Tc_Ecte, Tc_Evar, Tc_Evar_reg, ... % Tc-E
Tp_ord_TcTp, Tc_cor3, Tc_cor2, Tc_cor1, ... % Tc-Tp
Tc_reg_cor3, Tc_reg_cor2, Tc_reg_cor1);

```