

# **PROYECTO: Calibración de una cámara**

## **(para entregar por parejas en 7-10 días)**

<b>Apellidos, Nombre:</b> Fernández Cabrita, Alejandro
<b>Apellidos, Nombre:</b> Evangelista Sarabia, Carlos
<b>Apellidos, Nombre:</b> De Almeida Pissarra, Inês

En esta entrega, subid un fichero tipo zip o similar con:

- Este fichero (formato doc o pdf) con las respuestas, código y gráficas pedidas.
- Vuestro script lab2 conteniendo todas las funciones necesarias para funcionar.
- Si habéis hecho el apartado 4) la foto de la malla hecha con vuestro teléfono.

### **1) Determinación de la matriz H (30%)**

Adjuntad el volcado con las posiciones iniciales y finales de las esquinas, así como un zoom de la 1<sup>a</sup> esquina donde se aprecie el punto inicial (rojo) y su mejora (verde). Adjuntad el código de vuestra función refinar.m.

Esquina sup. izda:

x\_inicial=1330.5,y\_inicial= 665.0

x\_final=1309.8,y\_final= 652.0

Esquina sup. dcha:

x\_inicial=4084.5,y\_inicial=1175.0

x\_final=4077.6,y\_final=1190.3

Esquina inf. dcha:

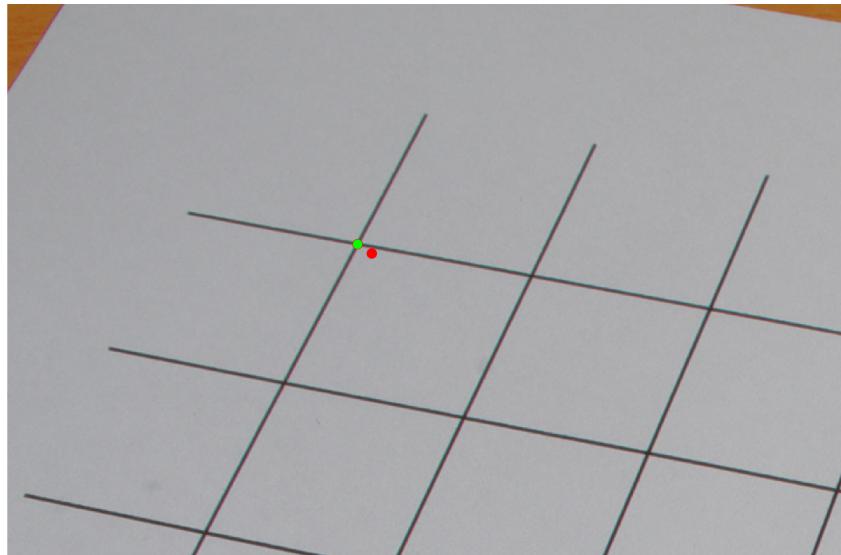
x\_inicial=4042.5,y\_inicial=3005.0

x\_final=4032.2,y\_final=3000.2

Esquina inf. izda:

x\_inicial= 526.5,y\_inicial=2165.0

x\_final= 538.2,y\_final=2151.4



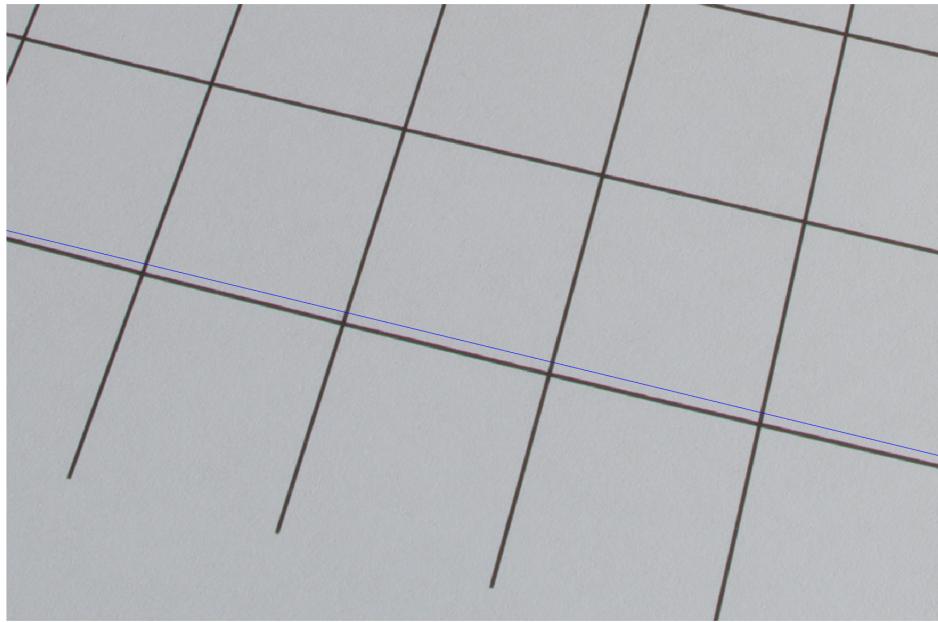
```

function [xm,ym]=refinar(x,y)
    global aux
    % Definición del tamaño y coordenadas zona a explorar
    R=50; r=(-R:R); dx=ones(length(r),1)*r; dy=dx';
    x=round(x); y=round(y);
    S=im2double(aux((y+r),(x+r)));
    S0=min(S(:));
    d = abs(S-S0);
    w=exp(-50*d);
    w=w/sum(w(:));
    mult=w.*(x+dx);
    xm = sum(mult(:));
    mult2=w.*(y+dy);
    ym = sum(mult2(:));
end

```

¿Se superpone exactamente el rectángulo dibujado sobre la malla del papel?  
 Adjuntad una captura de un zoom en una zona donde se aprecien diferencias. ¿A qué puede ser debido?

No



Puede ser debido a la distorsión causada por la lente, típica de un gran angular (distancia focal corta).

Adjuntad el resultado de H. Guardar la matriz H con el comando `save H1 H;`

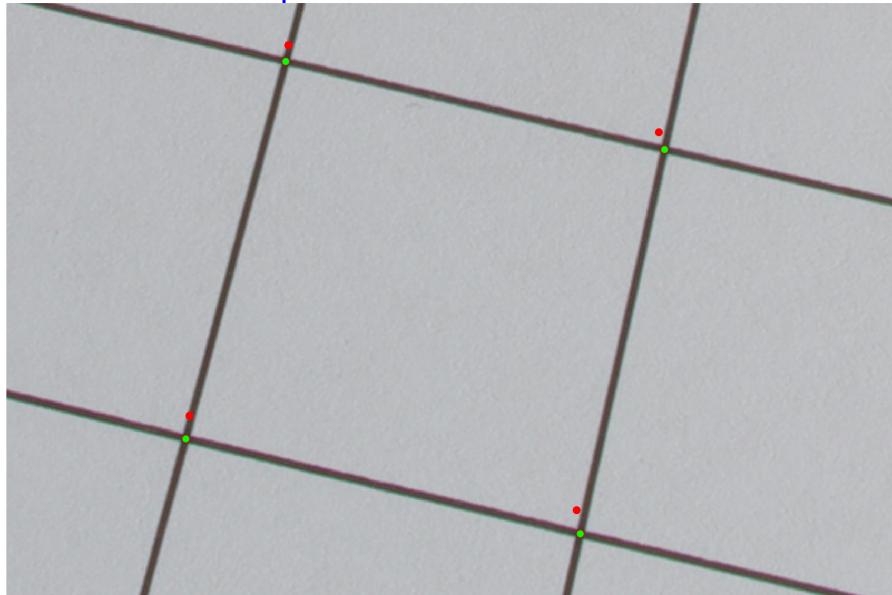
H = 14.367 8.578 2447.21  
 2.624 -10.190 1633.04  
 -0.000 0.002 1.00

Adjuntad valores usados para (X,Y) y la nueva matriz H obtenida (debe ser similar a la anterior). Guardar la nueva matriz obtenida con `save H2 H;`

```
X = [-20, 20, 20, -20];
Y = [-20, -20, -60, -60];
```

```
H = 14.573 8.566 2448.09
     2.546 -10.594 1631.69
    -0.000  0.002   1.00
```

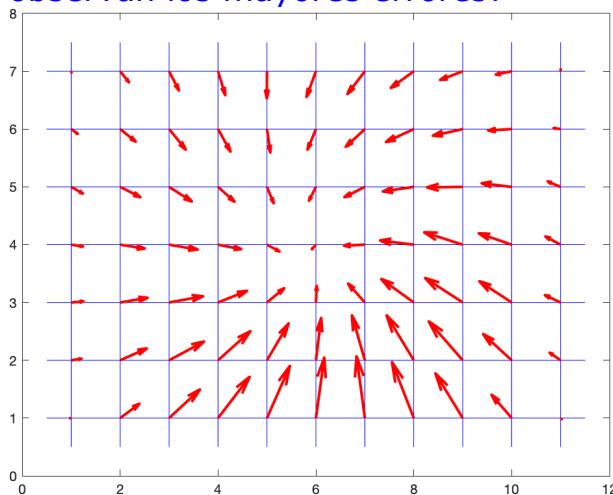
Adjuntad zoom de la imagen mostrando el resultado en uno de los cuadrados de la malla donde se aprecien las diferencias entre los cruces reales y predichos.



Volcad el valor medio de este vector d, lo que nos dará una idea del error medio de predicción de la matriz H.

10.578

Adjuntad el gráfico obtenido con S=2. ¿Dónde es cero el error? ¿En qué puntos se observan los mayores errores?



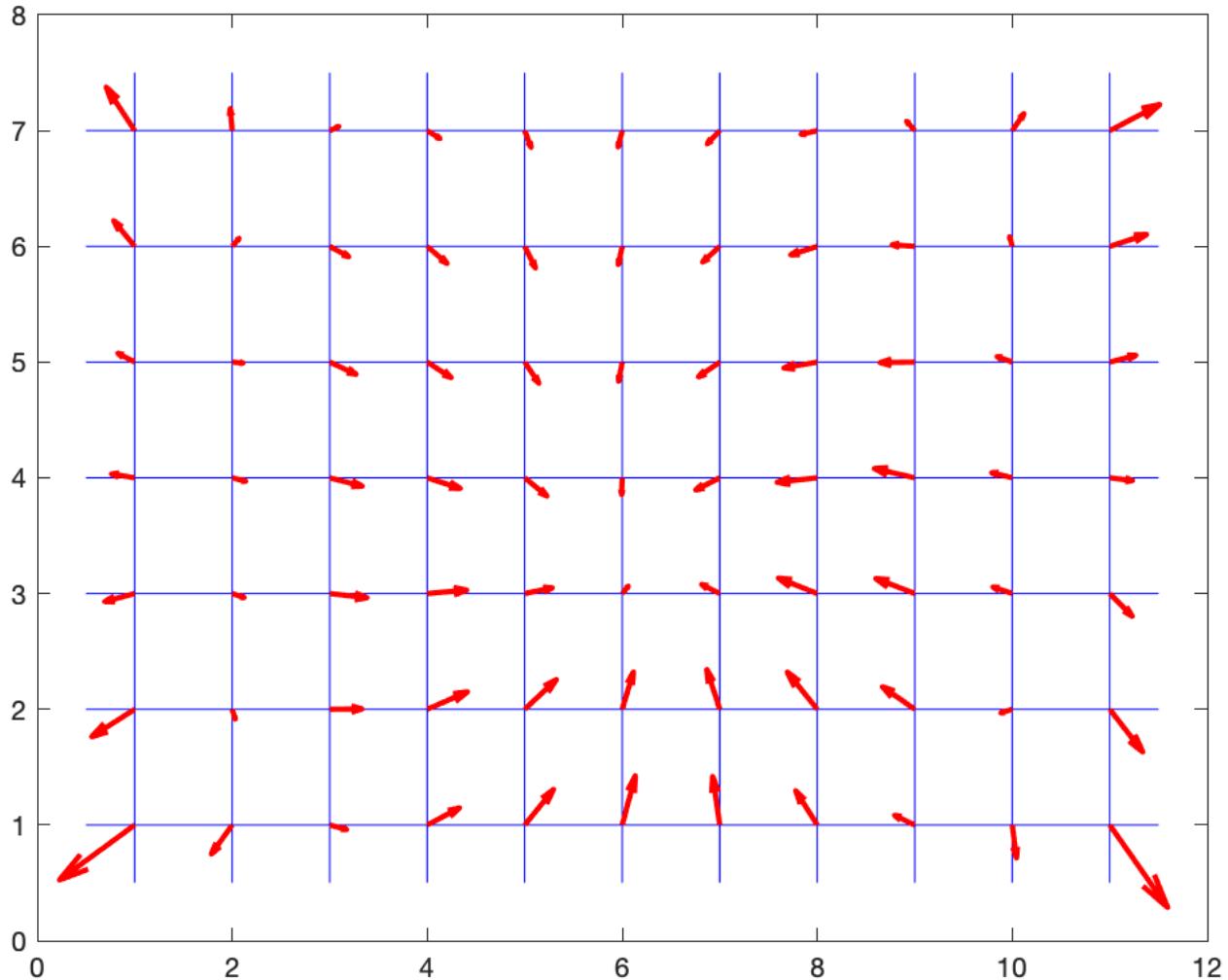
En los puntos que sirvieron para crear "H" el error es cero. Hay un mayor error en los puntos inferiores más centrados en el eje x

Volcad la nueva matriz H usando los 77 puntos. Guardarla con save H77 H.

H = 14.493 8.649 2448.80  
2.663 -10.314 1634.36  
-0.000 0.002 1.00

¿Cuál es ahora la media de las distancias entre coordenadas predichas y reales?  
Adjuntad la gráfica con los errores representados como flechas en este caso (usad la misma escala S=2 que en la anterior gráfica). ¿Por qué ahora el error no es nulo en ningún punto de la malla?

5.882



Porque ahora se usa una mejor estimación "general" (que se acerca más a todos los puntos) pero no se ajusta perfectamente a ningún punto.

## 2) Estimación de la focal f y pose (posición/giro) de la cámara (20%)

Estimar la focal f usando la fórmula anterior.

$$f = 3644.4830$$

¿Cuántos píxeles por mm hay en este sensor? ¿Cuál es la focal de la lente en mm?

Píxeles por mm = 207.9325;

Focal em mm = 17.5272

¿Qué focal registró la cámara al tomar la foto? Adjuntad una captura de pantalla con los datos mostrados.

18.0mm

The screenshot shows a web-based EXIF viewer. At the top, it says "DATOS EXIF DE LA IMAGEN". Below that is a table of camera settings:

Fabricante de la cámara :	PENTAX
Modelo de la cámara :	PENTAX K-50
Fecha y hora :	09/02/2019 12:49:42
Resolución :	4928 x 3264
Usó flash :	No
Distancia Focal :	18.0mm (35mm equivalent 27mm)
Tiempo de exposición :	0.250 s (1/4)
Apertura :	f/16.0
ISO equiv. :	100
Exposure bias :	1.00
Balance de blancos :	Auto
Modo de medida :	pattern
Exposición :	aperture priority (semi-auto)
Exposure Mode :	Manual
Focus range :	macro

On the right side of the table, there is a small thumbnail image of a grid pattern, a "Quitar Exif" button, and an "Otra foto" button.

Volcar la matriz Q obtenida.

$$\begin{matrix} Q = & 0.00426 & 0.000993 & -0.004172 \\ & 0.0009185 & -0.003744 & 0.0006462 \\ & -0.0004194 & 0.0020412 & 1 \end{matrix}$$

Dar el valor de  $\alpha$  y los vectores corregidos  $r_1$ ,  $r_2$  y  $t$ .

$$\alpha = 0.0044;$$

$$r_1 = 0.973$$

$$0.2098$$

$$-0.0958$$

$$r_2 = 0.2268$$

$$-0.8551$$

0.4662

t = -0.9529

0.1476

228.3960

¿Valor del ángulo entre r1 y r2? (debería ser aproximadamente 90º).  
90.1932

Adjuntad matriz R corregida (comprobad que ahora  $R^T \cdot R = I$ )

R = 0.9734 0.2284 0.0159  
0.2084 -0.8548 -0.4754  
-0.0950 0.4661 -0.8796

Adjuntad código de función.

```
function [R,t]=pose_from_HK(H,K)
```

```
Q = inv(K) * H;  
  
r1 = Q(:, 1);  
r2 = Q(:, 2);  
t = Q(:, 3);  
n1 = norm(r1);  
n2 = norm(r2);  
alpha = sqrt(n1*n2);  
r1 = r1/n1; r2 = r2/n2;  
t = t/alpha;  
  
r3 = cross(r1, r2);  
r3=r3/norm(r3);  
  
R = [r1 r2 r3];  
  
[U,S,V]=svd(R);  
R = U * eye(3) * V';  
  
end
```

Adjuntad el resultado para X0. ¿Qué distancia había entre el “centro óptico” de la cámara y el punto central de la malla en el papel (origen de coordenadas)?

X0 = 22.5964  
-106.1007  
200.9918

Dist = 228.3980

### 3) Mejora de la estimación de R, t y f usando optimización (35%)

Adjuntad código de vuestra función R2w().

```
function out=R2w(in)

if numel(in)==9 % in = matriz Rotacion 3x3 --> out=w
    R = in;
    w=zeros(3,1); % Inicializo vector w
    % Calcula vector de giro w equivalente a matriz R
    xyz = [R(3,2); R(1,3); R(2,1)] - [R(2,3);R(3,1);R(1,2)];
    r = norm(xyz);
    t = R(1,1) + R(2,2) + R(3,3);
    w = atan2d(r, t-1);

    w = w*[xyz(1)/r; xyz(2)/r; xyz(3)/r];

    out=w;
else % in=w --> out = R (matriz rotacion)
    w=in;
    R=zeros(3); % Inicializo matriz de rotación
    % Calcula matriz de rotacion R equivalente a vector w
    n = w/norm(w);
    w = norm(w);
    M1 = [0, -n(3), n(2); n(3), 0, -n(1); -n(2), n(1), 0];
    M2 = n*n';
    R = cosd(w)*eye(3) + sind(w) * M1 + (1-cosd(w)) * M2;
    out = R;
end

end
```

Adjuntad la matriz de rotación correspondiente a  $\omega=[40; 0; -10]$  y el vector  $\omega$  que equivale a la matriz  $R = \begin{bmatrix} 0.3481 & 0.9332 & 0.0893 \\ 0.6313 & -0.3038 & 0.7135 \\ 0.6930 & -0.1920 & -0.6949 \end{bmatrix}$

$$R = \begin{bmatrix} 0.9854 & 0.1599 & -0.0583 \\ -0.1599 & 0.7521 & -0.6394 \\ -0.0583 & 0.6394 & 0.7666 \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} -116.7511 \\ -77.8384 \\ -38.9256 \end{bmatrix}$$

¿A cuántos grados corresponde la rotación dada por la matriz R?

Considerando:

$$R = \begin{bmatrix} 0.3481 & 0.9332 & 0.0893 \\ 0.6313 & -0.3038 & 0.7135 \\ 0.6930 & -0.1920 & -0.6949 \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} -116.7511 \\ -77.8384 \\ -38.9256 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rotación} = \text{norm}(w) = 145.6188^\circ$$

Adjuntad código de error\_uv()

```
function error=error_uv(P,X,Y,u,v)
    global aux;
    uu = zeros(1, 77); vv = zeros(1, 77);
    t=P(1:3); w=P(4:6); f=P(7);
    R = R2w(w);
    r1 = R(:, 1); r2 = R(:,2);
    Q = [r1 r2 t];

    dims = size(aux);
    u0 = 1/2*dims(2); v0 = 1/2*dims(1);

    cam = Q * [X; Y; ones(1, 77)];
    x = cam(1, :)/cam(3, :);
    y = cam(2, :)/cam(3, :);

    uu=u0+f*x; vv=v0+f*y;

    error = [(uu-u) (vv-v)]';
end
```

¿Cuál es la norma del vector de errores resultante?

norm(error) = 60.7845

Dad la focal  $f$  (en pixels y mm) obtenida en la optimización, así como los vectores  $t$  y  $\omega$  (con 2 decimales).

$t = -0.89$	$\omega = 150.79$	$f = 3620.65$ pixels = 17,41 mm
0.16	17.79	
227.00	-3.00	

Calcular la norma del vector de errores (ahora debería ser menor).

59.2174

Dar los resultados de la estimación de la focal  $f$  (en mm), vector de giro  $\omega$  y vector  $t$  obtenidos con la nueva matriz  $H2$ . Aplicad la función `error_uv()` a esos parámetros y dad la norma del vector de errores obtenido.

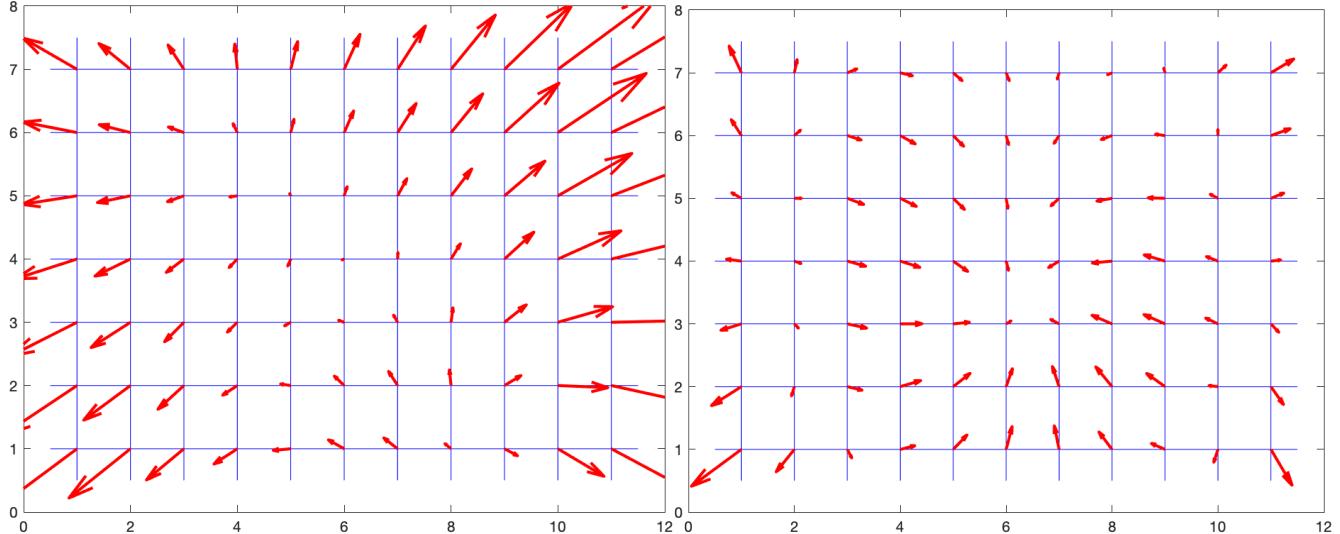
$f = 18.5046$ mm;	$\omega = 150.1454$	$t = -0.9796$
	17.5401	-0.0192
	-4.6608	236.9723

norm(error) = 189.6357

Indicad la norma de los errores resultantes.

59.2174

Adjuntad ambas gráficas (usando la misma escala S=2 en ambas).



### Introducir parámetros adicionales en la optimización

Adjuntad código añadido a la función error\_uv.

(después de normalizar x e y)

```
k1 = P(8);
r2 = x.^2 + y.^2;
x = x.*((1+k1*r2));
y = y.*((1+k1*r2));
```

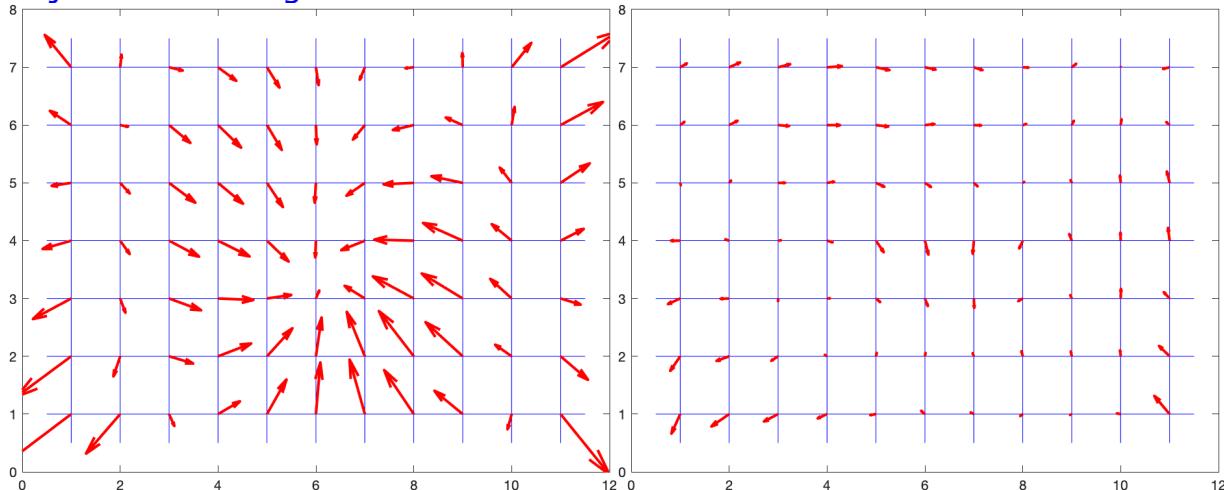
¿Valores obtenidos para f y k1?

$f = 3590.8032$  pixels = 17.2691 mm;  $k1 = -0.0760$

Rellenar la siguiente tabla con los valores de la norma del vector de errores:

	R, t y f deducidos de H	Optimización	Optimización con k1
$\ e\  = \text{norm}(e)$	60.7845	59.2174	16.0321

Adjuntad ambas gráficas.



¿Norma del error final?

8.6007

Dad los valores finales obtenidos para t, w, f , k1, u0 y v0.

$$\begin{array}{lll} t = & 1.2249 & w = 150.8229 \\ & -1.4783 & 17.9546 \\ & 220.2096 & -3.3308 \end{array} \quad \begin{array}{l} f = 3558.3657 \text{ pixeles} = 17.1131 \text{ mm} \\ k_1 = -0.0759 \end{array}$$

$$u_0 = 2428.9479; v_0 = 1657.5010$$

¿Cuánto se desplaza el eje óptico respecto a su posición ideal (en pixeles y en mm)?

$$u_0_p = \frac{1}{2} * \text{ancho del sensor};$$

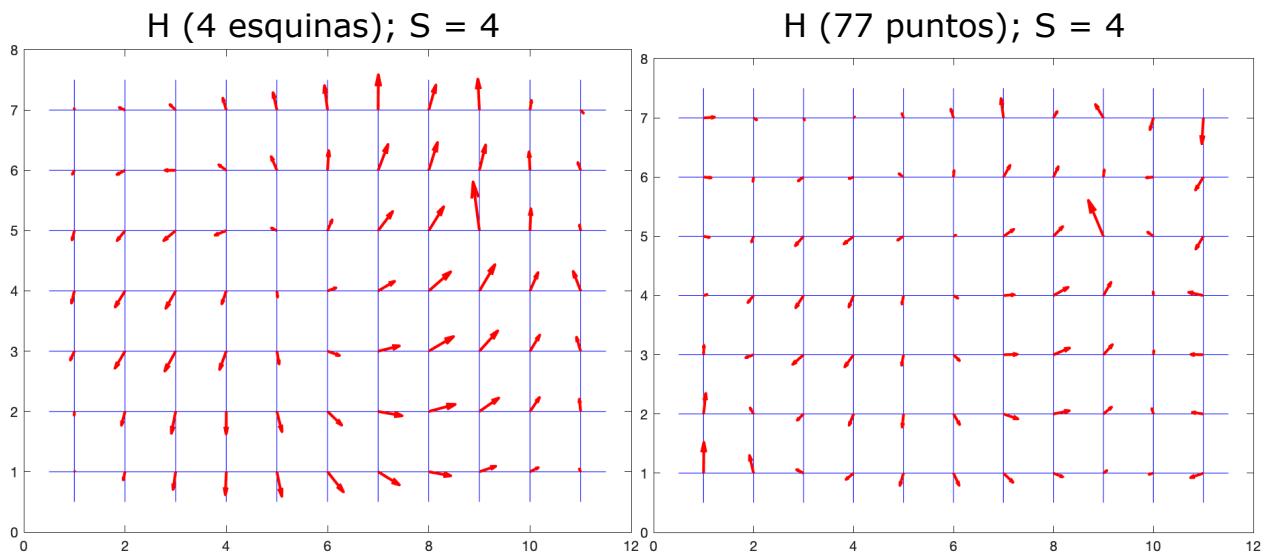
$$v_0_p = \frac{1}{2} * \text{alto del sensor}$$

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento} &= \sqrt{(u_0 - u_0_p)^2 + (v_0 - v_0_p)^2} \\ &= 43.3388 \text{ pixeles} = 0.2084 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4) Estimación de los parámetros de la cámara de vuestro teléfono (15%)

- Marca y modelo de vuestro teléfono  
Apple – Iphone 11
- Tamaño de los cuadros en vuestra malla de calibración (DX,DY).  
(20,20)
- Tamaño del sensor en pixeles.  
3024 x 4032
- Focal de la lente (mm) obtenida a través de la información EXIF de las fotos.  
4.2 mm
- Matriz H estimada para las 4 esquinas y para todos los 77 puntos de la malla.  
 $H$  (4 esquinas) = 2.724 -1.637 1953.76  
-7.758 -3.835 1444.24  
-0.001 0.001 1.00  
 $H$  (77 puntos) = 2.710 -1.623 1954.25  
-7.732 -3.799 1444.83  
-0.001 0.001 1.00

- Gráfica de flechitas mostrando los errores de predicción usando la matriz H de las 4 esquinas y los errores usando la matriz H estimada con los 77 puntos.



- Valor de la focal  $f$  obtenida inicialmente (en píxeles) a partir de la matriz H estimada para los 77 puntos de la malla.  
2833.5174
- Estimación del tamaño físico del sensor (ancho y alto en mm).  
5.6x4.2
- Valores de  $f$  y  $k_1$  tras usar la optimización.  
(Sin la optimización con  $u_0$  y  $v_0$ )  
 $f = 3002.793059$  pixeles  
 $k_1 = 0.0979$
- Valor de la norma del vector de errores tras la optimización con solo la focal  $f$  y tras la optimización usando la focal y el coeficiente  $k_1$  de distorsión.  
Sin  $k_1$  (sin la optimización con  $u_0$  y  $v_0$ ): 20.4494  
Com  $k_1$  (sin la optimización con  $u_0$  y  $v_0$ ): 15.3096
- Dad la posición de la cámara en el momento de tomar la foto referida a los ejes del papel posicionados en el centro de la malla.

$$\begin{aligned} X_0 &= 125.07485 \\ &-170.11174 \\ &262.17789 \end{aligned}$$