



IAC INSTRUMENTACIÓN

DE/PR-TTN/015v.1

DEPRTTN_15v1.DOC

10 de septiembre de 2004

PROYECTO / DESTINO:

MEJORA DE TELESCOPIOS NOCTURNOS

TÍTULO:

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80

INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS

38200 La Laguna (Tenerife) - ESPAÑA - Teléfono (922)605200 - Fax (922)605210

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 2 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

CUADRO DE AUTORES

Nombre	Función
Marta Prieto	Becaria de verano

CUADRO DE CONTROL

Control	Nombre	Función
Revisado por:	Enrique Joven Alex Oscoz	Ingeniero Dep. Electrónica Jefe de Operaciones Telescópicas
Aprobado por:		
Autorizado por:		

HISTORIA DEL DOCUMENTO

Versión	Fecha	Resumen Modificación
1	10/09/04	Primera Versión

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 3 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

RESUMEN

En este documento están reflejadas las pruebas y resultados obtenidos en la caracterización de la cámara CCD para el telescopio IAC-80, con el fin de verificar las especificaciones del fabricante (Spectral Instruments). Además se incluyen otros datos relativos al funcionamiento del detector y sus componentes (temperatura y presión), así como relacionados con el manejo del software que acompaña a la cámara CCD.

En otro documento complementario se resumen los procedimientos de manejo de la cámara a partir de su interfaz gráfica, instalación del software, etc.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 4 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

TABLA DE CONTENIDO

CUADRO DE AUTORES	2
CUADRO DE CONTROL.....	2
HISTORIA DEL DOCUMENTO.....	2
RESUMEN.....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE ABREVIATURAS	6
1. PUESTA EN MARCHA	7
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	7
1.2 PROCEDIMIENTO DE ENFRIADO: PRECAUCIONES	7
1.3 INTERFAZ GRÁFICA: FUNCIONES PRINCIPALES.....	8
2. OPCIONES DE TRABAJO	8
2.1 CANALES: A, B, A+B.....	8
2.2 BINNING	10
2.3 PRESCAN.....	11
2.4 OVERSCAN.....	12
2.5 ADQUISICIÓN DE VENTANAS	13
3. FIGURAS DE MÉRITO.....	14
3.1 DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN	14
3.1.1 <i>Enfriamiento</i>	14
3.1.2 <i>Estabilidad</i>	16
3.1.3 <i>Calentamiento</i>	18
3.2 CORRIENTE DE OSCURIDAD.....	19
3.2.1 <i>Según el método del fabricante SI</i>	19
3.2.2 <i>Tomando imágenes con tiempos cortos de exposición</i>	19
3.2.3 <i>Tomando imágenes con tiempos de exposición significativamente largos</i>	20
3.3 CALIBRACIÓN ELECTRONES/ADUS	21
3.4 TIEMPO DE LECTURA SEGÚN LA VELOCIDAD Y MODO DE LECTURA	23
3.5 RUIDO DE LECTURA	23
3.5.1 <i>Método 1</i>	23
3.5.2 <i>Método 2</i>	24
3.5.3 <i>Zona prescan</i>	25
3.5.3.1 <i>Método 1</i>	25
3.5.3.2 <i>Método 2</i>	26
3.6 RESULTADOS FINALES PARA LA CALIBRACIÓN	26
3.7 LINEALIDAD Y POZO DE CARGA	27
3.8 DEFECTOS.....	30
3.9 PÍXELES CALIENTES.....	30
4. CONCLUSIONES GLOBALES	30

<p align="center">CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80</p>	<p>Página: 5 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004</p>
<p align="center">Código: DE/PR-TTN/015v.1</p>	<p>Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC</p>

ANEXOS32

A. ANEXO: GRÁFICA DE LAS GANANCIAS32

B. ANEXO: HISTOGRAMAS DEL RUIDO DE LECTURA (MÉTODO 2).....34

**C. ANEXO: HISTOGRAMAS DEL RUIDO DE LECTURA EN LA ZONA
PRESCAN37**

D. LISTA DE DOCUMENTOS DE REFERENCIA41

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 6 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

LISTA DE ABREVIATURAS

CCD	Charge-Couple Device
SI	Spectral Instruments

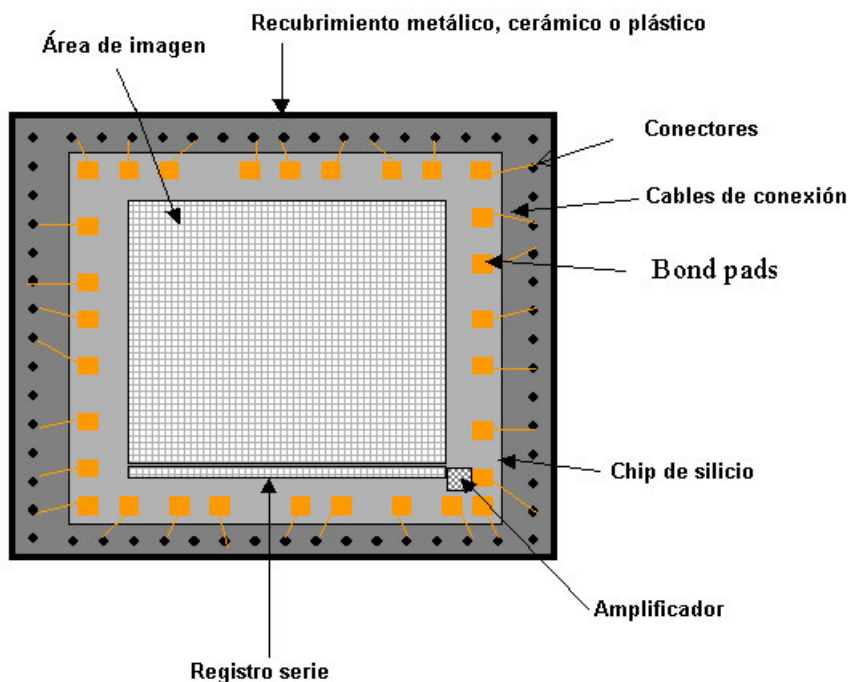
CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 7 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

1. PUESTA EN MARCHA

1.1 Descripción general

En este documento se exponen los resultados obtenidos tras caracterizar la cámara CCD fabricada por SI. Esta cámara posee 2048 x 2048 píxeles, de tamaño equivalente a 13.5 x 13.5 μm /pixel. Además, posee un zona de prescan formada por 50 píxeles. El detector posee dos canales de lectura, permitiendo así la lectura por uno o dos canales. Dicha lectura se puede realizar a distintas frecuencias: 100,200,500 ó 900. A su vez estas frecuencias se pueden combinar con distintas ganancias, a través de la atenuación. Debido a esto, en este documento se dan resultados para cada combinación de frecuencia y atenuación, salvo en los casos en los que los datos no dependan de estos dos parámetros.

A continuación se muestra un esquema de un detector.



Se ha realizado un documento complementario en el cual se detalla la instalación y funcionamiento del software que acompaña a la cámara, así como la interfaz complementaria desarrollada para modificar la cabecera y formato de las imágenes.

1.2 Procedimiento de enfriado: precauciones

El sistema de refrigeración se activa mediante el software que acompaña a la cámara, proporcionado por el fabricante Spectral Instruments.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 8 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

i Este sistema exige que el software esté activo, ya que en caso contrario se desactivaría el sistema de refrigeración.

(Véase manual de operación y mantenimiento.)

1.3 Interfaz gráfica: funciones principales

La interfaz gráfica proporcionada por el fabricante permite una variada adquisición de imágenes. Además, cuenta con una conjunto de funciones que permiten operar con las imágenes obtenidas, y con un panel que permite llevar a cabo una estadística básica de la imagen.

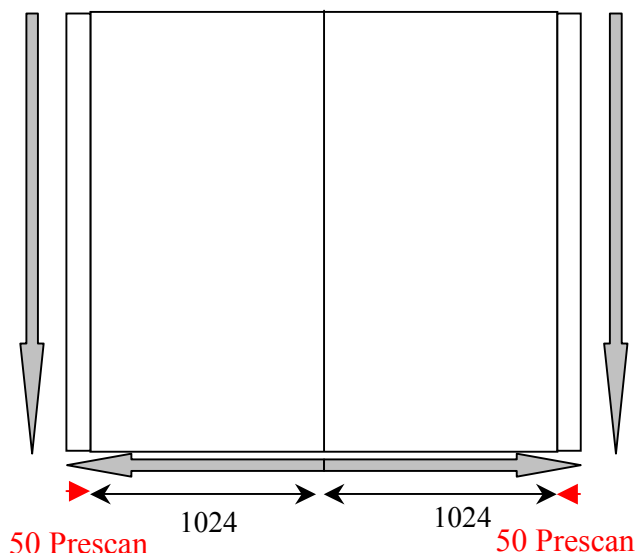
Todas las funciones que realiza la cámara se controlan desde el software, siendo imprescindible efectuarlo de esta manera.

(Véase manual de usuario.)

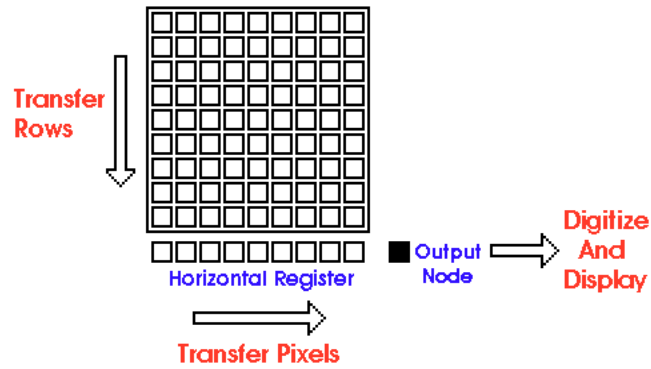
2. OPCIONES DE TRABAJO

2.1 Canales: A, B, A+B

La cámara CCD permite la lectura por 2 canales o sólo por un canal, configurándose esto desde el software. La lectura por un canal sólo se puede llevar a cabo por uno de ellos, en caso de ser necesario leer por el otro canal deberán intercambiarse los conectores de la cámara.



<p align="center">CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80</p>	<p>Página: 9 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004</p>
<p>Código: DE/PR-TTN/015v.1</p>	<p>Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC</p>



Este esquema representa el modo de lectura del detector por cada canal, es decir, cómo se va transfiriendo la carga de cada píxel hasta el amplificador de salida.

Imagen tomada por 2 canales:

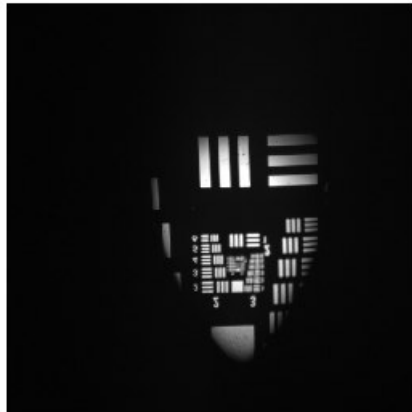
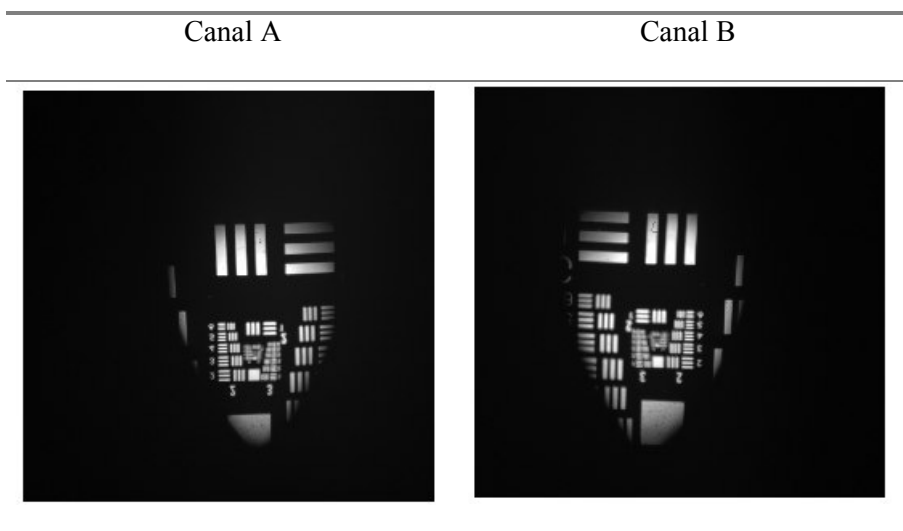


Imagen tomada por cada uno de los canales:



CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 10 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

Se observa que las imágenes obtenidas por cada uno de los canales son especulares entre sí, debido a que el comienzo de la lectura de la imagen se realiza por extremos opuestos del detector.

2.2 Binning

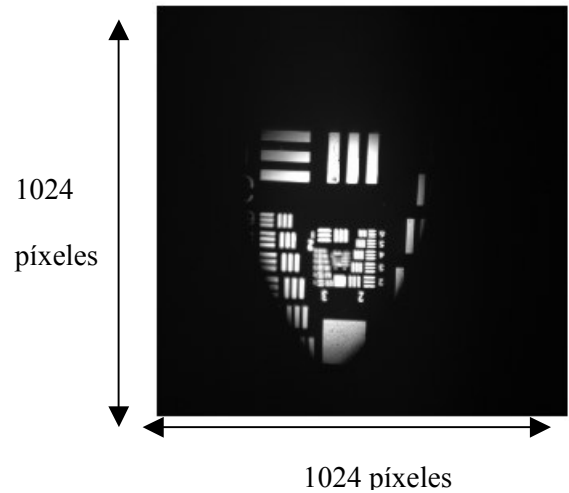
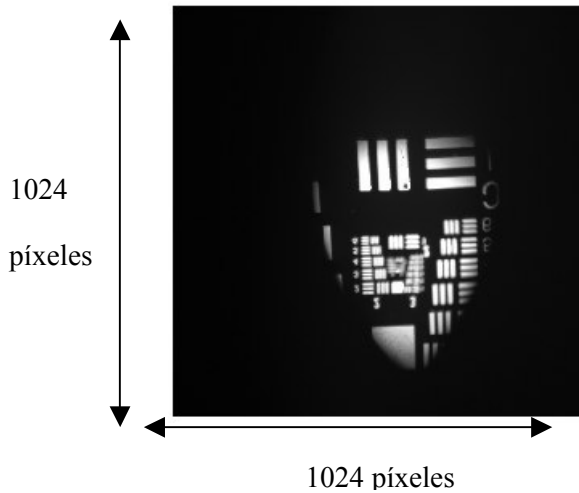
Se pueden tomar imágenes con *binning 2x2*, *1x2* y *2x1*, o superiores mientras no se llene el 'summing well'. A continuación se muestran varias imágenes que reflejan los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

NOTA. Sólo se puede hacer *binning* en el modo de lectura por un canal.

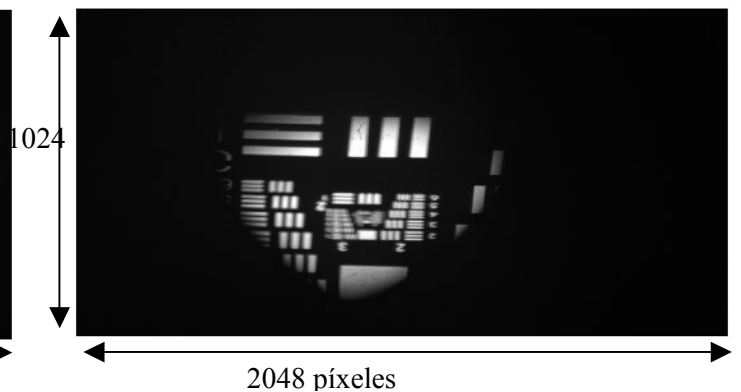
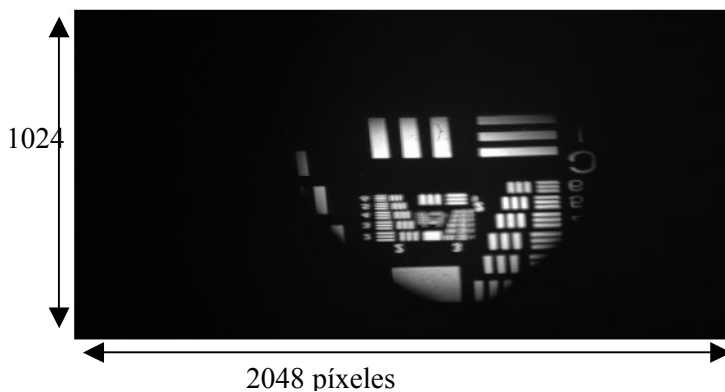
Canal A

Canal B

Binning 2 x 2



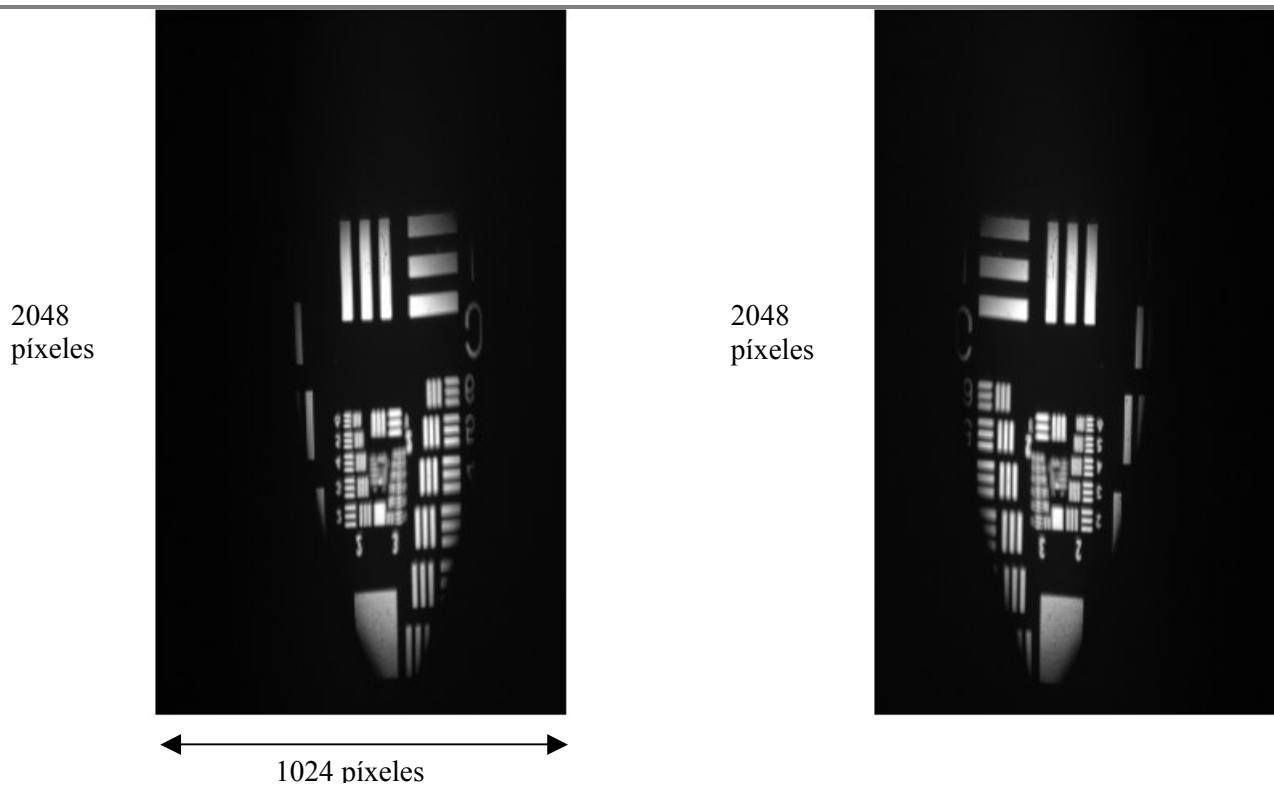
Binning 1 x 2



Binning 2 x 1



<p align="center">CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80</p>	<p>Página: 11 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004</p>
<p align="center">Código: DE/PR-TTN/015v.1</p>	<p>Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC</p>



2.3 Prescan

El detector CCD que se está caracterizando, posee 50 píxeles físicos de *prescan* para cada canal. Estos píxeles no son sensibles a la radiación incidente, pero se leen de la misma manera que el resto de los píxeles.

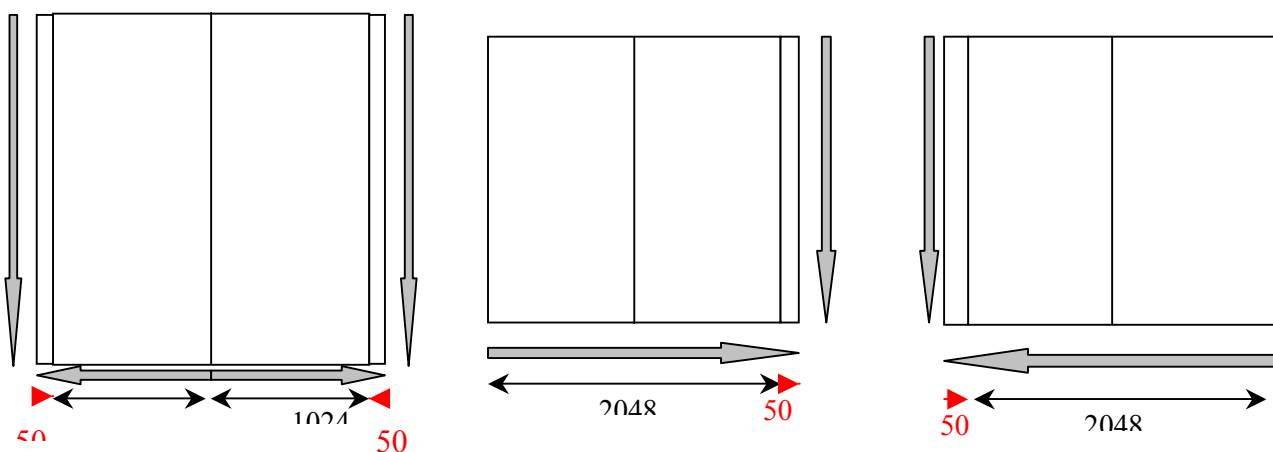
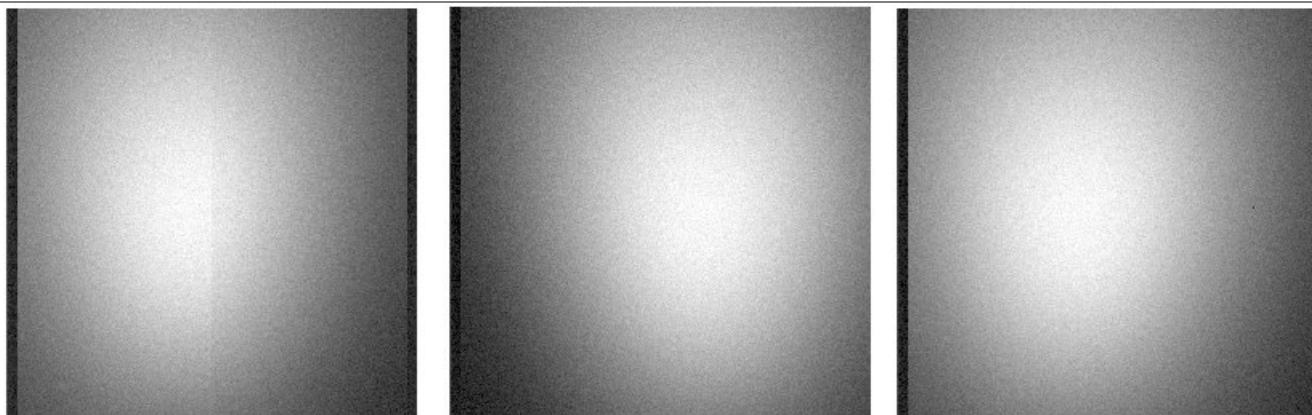
A continuación se muestran varias imágenes de *flatfield* en las que se observa dicha zona. Cada imagen hace referencia a un modo de lectura (por 2 canales o por un canal).

2 canales

Canal A

Canal B

<p align="center">CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80</p>	<p>Página: 12 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004</p>
<p>Código: DE/PR-TTN/015v.1</p>	<p>Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC</p>



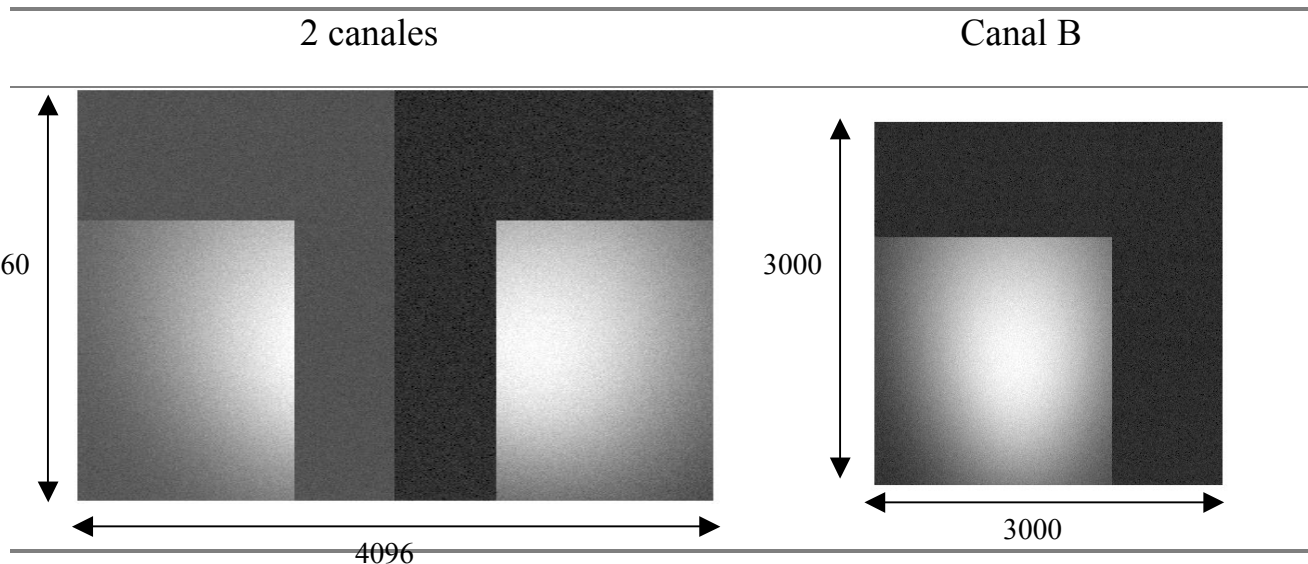
En la imagen tomada por dos canales se observa la zona de *prescan* a ambos lados de la imagen, mientras que en la lectura por un canal se aprecia sólo la zona de *prescan* correspondiente a dicho canal. El hecho de que la zona de *prescan* aparezca a la izquierda en las dos imágenes tomadas por un canal, se debe a que en ambos casos los primeros píxeles que se leen son los de la zona de *prescan* y al ser representada la imagen de izquierda a derecha, los primeros píxeles leídos quedarán siempre en la izquierda de la representación, y las imágenes serán especulares.

2.4 Overscan

Con el software que maneja la cámara CCD, se pueden adquirir imágenes que contengan una zona de *overscan*. Esta zona se crea cuando se indica en el software que se lean más píxeles de los físicos que tiene la cámara. Por lo tanto, estos píxeles ficticios que se forman en la imagen no contienen información de señal exterior, tan sólo información de la electrónica externa de la cámara, a diferencia de la zona de *prescan*, que es sensible a la señal de la electrónica del CCD.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 13 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

A continuación se muestran imágenes con zona de *overscan* tomadas en cada uno de los modos de lectura.



En la imagen obtenida por dos canales, se han leído 2048 x 3060 píxeles por canal (de los cuales tan sólo los 1024 x 2048 primeros de cada canal son reales).

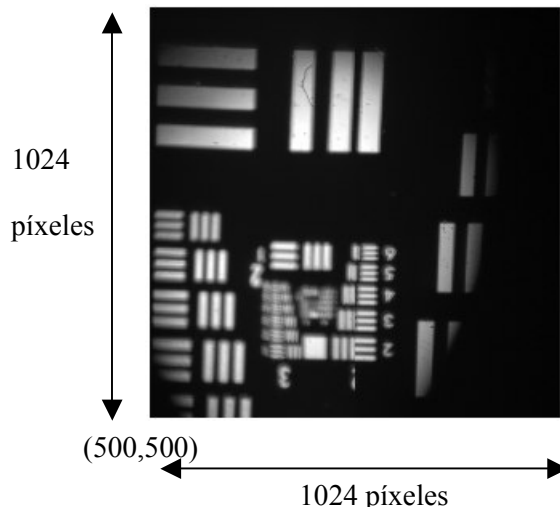
En el caso de la imagen leída por un solo canal, se ha tomado una imagen de 3000 x 3000, de los cuales sólo 2048 x 2048 son reales, el resto es la llamada zona de *overscan*.

2.5 Adquisición de ventanas

Es posible configurar la adquisición de la imagen para que se obtenga tan sólo una parte de la imagen total, es decir, leer simplemente un conjunto de píxeles determinados del detector, indicando en el software el origen de la ventana y su tamaño. Además, sólo es posible obtener una ventana por cada adquisición, guardándose en un fichero independiente como si de una imagen completa se tratara.

La siguiente imagen está tomada por un canales, con origen en el píxel (500,500) y tamaño 1024 x 1024.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 14 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC



OBSERVACIÓN: Para obtener dicha ventana, es necesario tomar como origen (550,500) ya que se ha de tener en cuenta la zona de *prescan*.

3. FIGURAS DE MÉRITO

3.1 Dependencia de la temperatura y la presión

3.1.1 Enfriamiento

El sistema de refrigeración se activa y desactiva desde el software que acompaña a la cámara. Una vez alcanzada la temperatura especificada (-104,5 °C) ésta se mantiene constante con pequeñas variaciones de 0,1 °C por encima de esta temperatura de referencia.

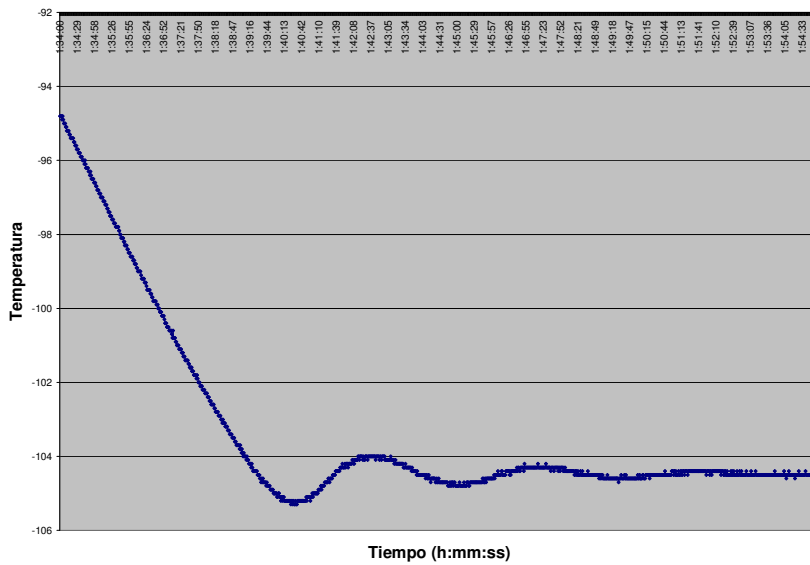
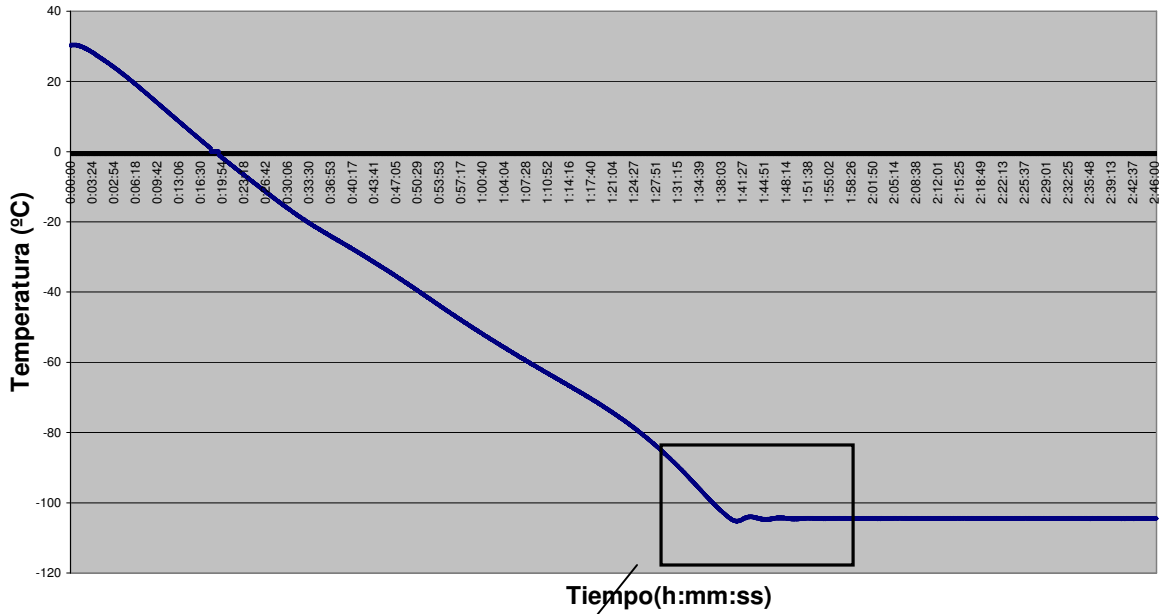
La temperatura y la presión descienden de forma lineal sin muchas variaciones salvo en el caso de la temperatura, en la que se observa una pequeña oscilación alrededor de la temperatura de trabajo antes de la estabilización (en la presión no se observa este fenómeno). Se adjunta una gráfica en la cual se muestra ampliada dicha oscilación.

Para sacar estas conclusiones se ha activado el sistema de refrigeración una vez, y se ha mantenido activado durante 3 semanas, observando periódicamente la temperatura y presión de la cámara. Finalizado este tiempo, se ha desactivado obteniendo los resultados de calentamiento.

Durante estas pruebas la cámara se encontraba en una sala apantallada a una temperatura ambiente de aproximadamente 22°C, (29°C según el sensor interior a la cámara) y una presión atmosférica al nivel del mar (760 mm Hg).

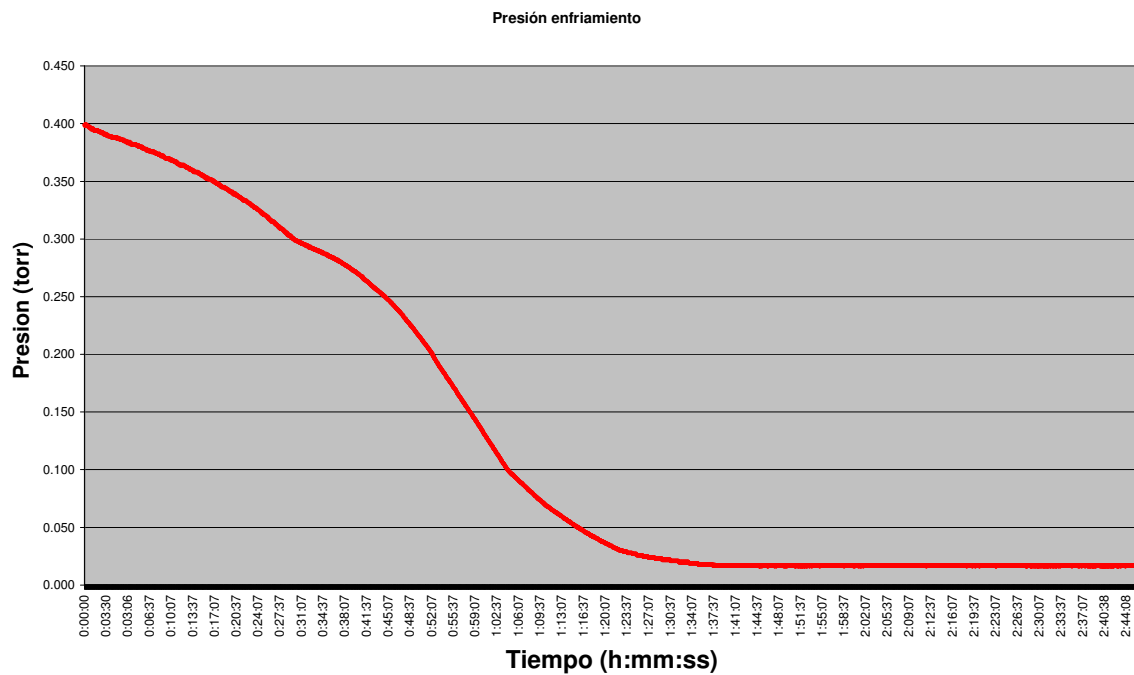
CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 15 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

Temperatura enfriamiento



Ampliación del cuadro dibujado en el gráfico anterior.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 16 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

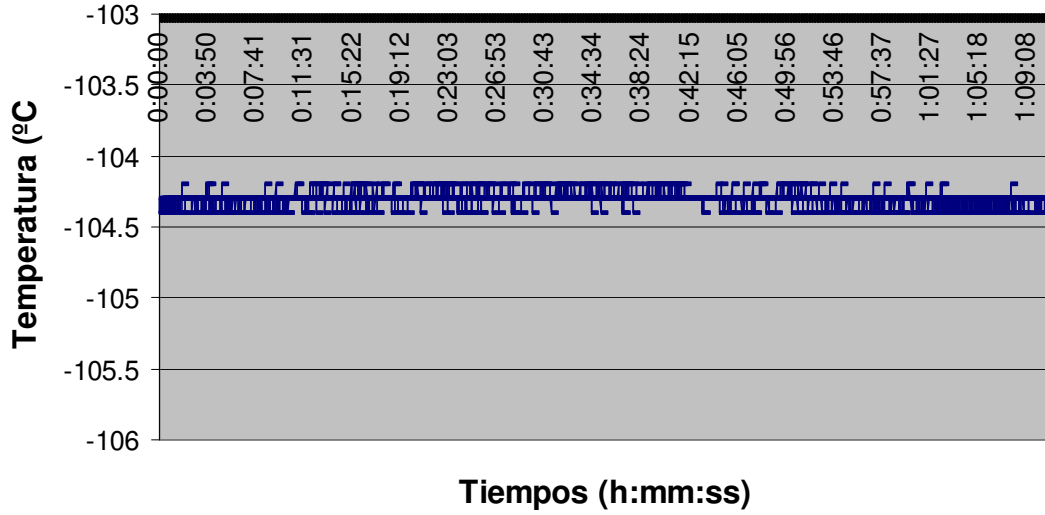


3.1.2 Estabilidad

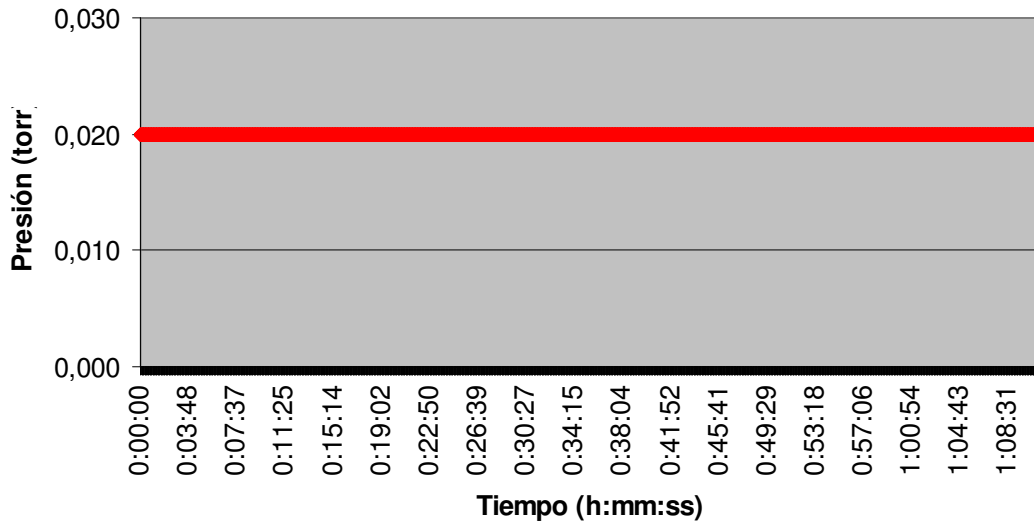
La temperatura de la cámara no ha sufrido variaciones superiores a 0,1 °C, como se observa en la siguiente gráfica. Lo mismo ha ocurrido con la presión.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 17 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

Control de estabilidad



Control presión

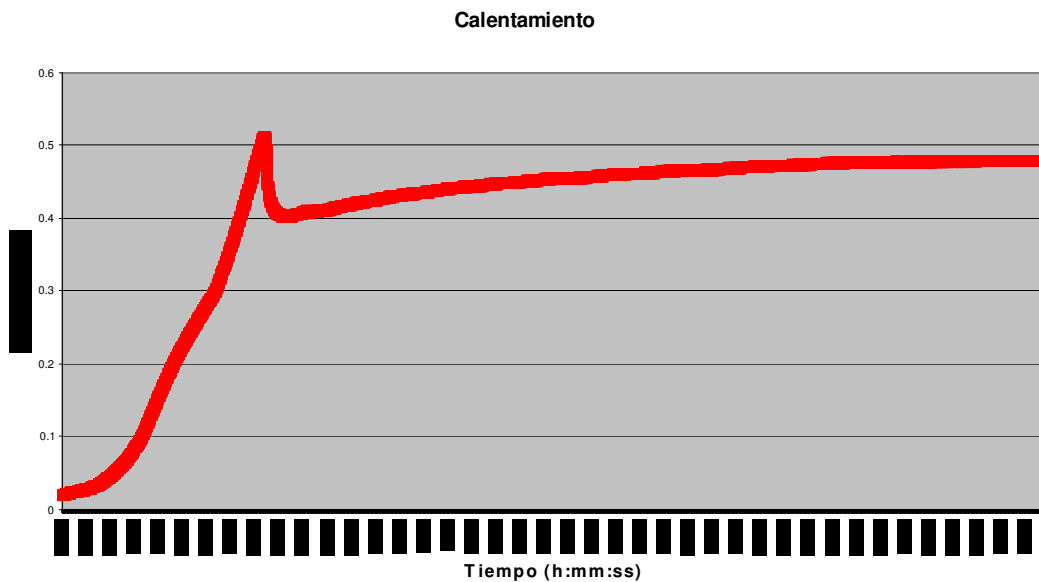
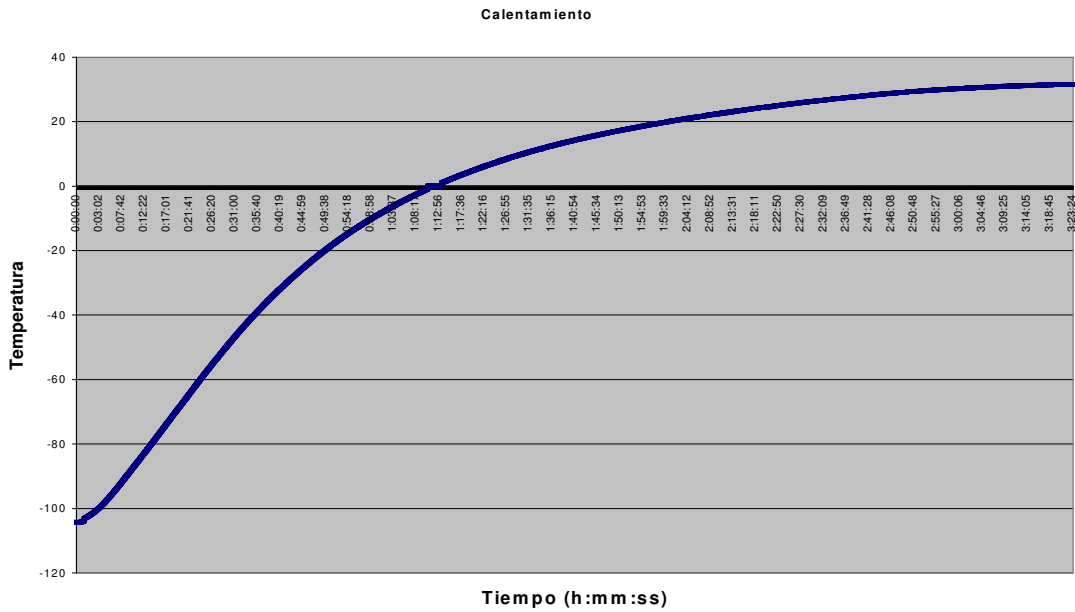


Temperatura estable de trabajo: -104,5 +/- 0.1 °C

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 18 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

3.1.3 Calentamiento

Se han representado las gráficas correspondientes al calentamiento de la cámara CCD. Este calentamiento se produjo de manera lineal hasta llegar a una temperatura ambiente en la cual se estabilizó. En la gráfica de la presión se observa una variación significativa en torno a -20°C .



CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 19 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

A continuación se muestra una tabla con los tiempos de observación para las pruebas de enfriamiento, calentamiento y estabilidad.

Proceso	Tiempo transcurrido
Enfriamiento	2 horas
Estabilidad	1 hora y 10 minutos
Calentamiento	3 horas

OBSERVACIÓN: Todas las pruebas realizadas a continuación se efectuaron en frío (≈ -104 °C).

3.2 Corriente de oscuridad

Para calcular la corriente de oscuridad se han realizado tres pruebas diferentes.

3.2.1 Según el método del fabricante SI

En esta prueba se tomó una imagen *dark* con tiempo de exposición 5 minutos y una imagen de *bias*, calculando las medias de ambas imágenes, y su diferencia. Finalmente, se empleó el factor de conversión e^-/adu , y se dividió entre 300 para obtener el valor en electrones por segundo.

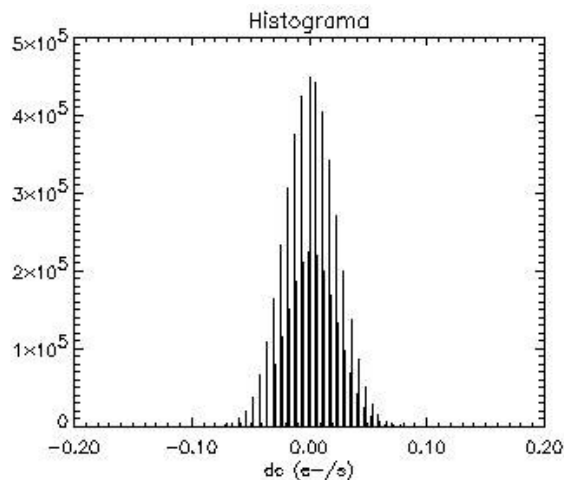
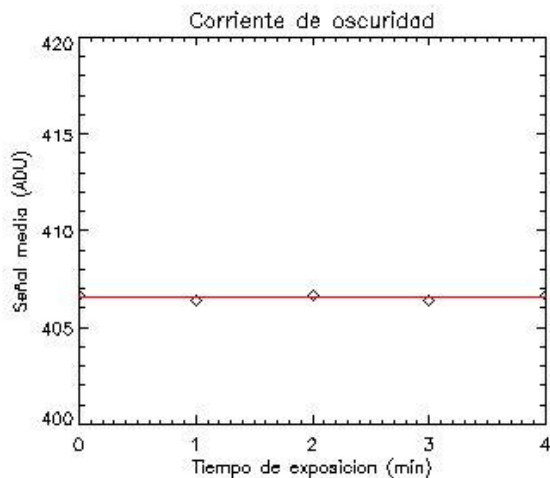
$$\frac{(dark - bias) \cdot gain}{300}$$

Utilizando este método se obtiene un valor para la corriente de oscuridad de $0.000356674 e^-/s$

3.2.2 Tomando imágenes con tiempos cortos de exposición

En esta prueba se obtuvieron imágenes con tiempos de exposición sucesivamente mayores, entre 0 y 4 minutos, tomando de cada imagen el promedio de los píxeles. Se ha representado gráficamente los puntos obtenidos, y se considera como corriente de oscuridad la pendiente obtenida al hacer el ajuste lineal por mínimos cuadrados con los puntos anteriores. La gráfica resultante, junto con el histograma de valores, es la siguiente:

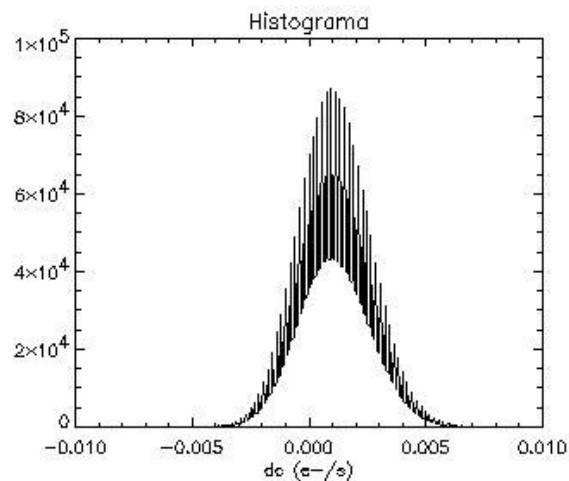
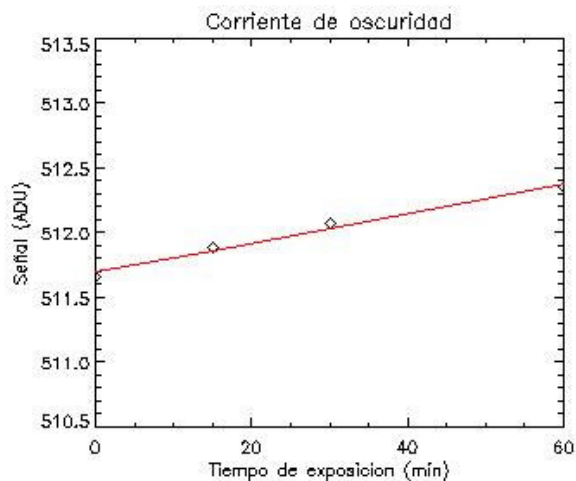
CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 20 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC



Según este procedimiento, el valor promedio de la corriente de oscuridad es el siguiente: $0.000370422 e^-/s$.

3.2.3 Tomando imágenes con tiempos de exposición significativamente largos

Se siguió el mismo procedimiento que en el punto anterior, pero con imágenes de tiempos de exposición de 0, 15, 30 y 60 minutos. De esta forma, se obtiene la siguiente representación e histograma de valores:



resultando un valor para la corriente de oscuridad de $0.000237385 e^-/s$.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 21 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

3.3 Calibración electrones/adus

El valor de la ganancia para cada combinación de velocidad de lectura, atenuación y canal se calculó siguiendo el método de media-varianza.

La atenuación es un parámetro que nos indica el cambio de voltaje de la señal, es decir, combina la amplificación y la integración de la señal.

El método de media-varianza, también conocido como método de curvas de transferencia de fotones, está basado en el efecto de cuantización de la varianza en la medida de cuentas (adus) en una zona uniformemente iluminada del detector. Si 'd' el número de cuentas correspondiente a un píxel, y 'n' su número de electrones, se verifica la relación

$$d = n / g.$$

Al asumir que el número de electrones sigue una distribución de Poisson, se cumple que:

$$\text{Var}(n) = n$$

Por lo tanto,

$$\text{Var}(d) = \text{Var}\left(\frac{n}{g}\right) = \frac{\text{Var}(n)}{g^2} = \frac{d}{g}$$

Entonces, para calcular la ganancia se siguió el siguiente procedimiento:

En primer lugar, se obtuvieron imágenes de *flatfield* con distintos tiempos de exposición, sucesivamente mayores, hasta llegar a la saturación. Para cada tiempo de exposición se obtuvieron 6 imágenes, de las cuales se extrajo la media y la varianza de cada píxel. Para obtener una media y una varianza única para cada tiempo de exposición, se promediaron las medias y las varianzas de todos los píxeles. Finalmente, se representó la media frente a la varianza. Con esta representación se ajusta una recta por mínimos cuadrados: $y = A + B x$, donde la estimación de los parámetros A y B viene dada mediante las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\sum xi^2 \cdot \sum yi - \sum xi \cdot \sum xi \cdot yi}{\Delta}$$

$$B = \frac{N \cdot \sum xi \cdot yi - \sum xi \cdot \sum yi}{\Delta}$$

donde $\Delta = N \cdot \sum xi^2 - \sum xi^2$

obtenidas al minimizar el error de ajuste de cada punto a la recta. (Los puntos xi son los correspondientes a las medias, mientras que yi hace referencia a las varianzas)

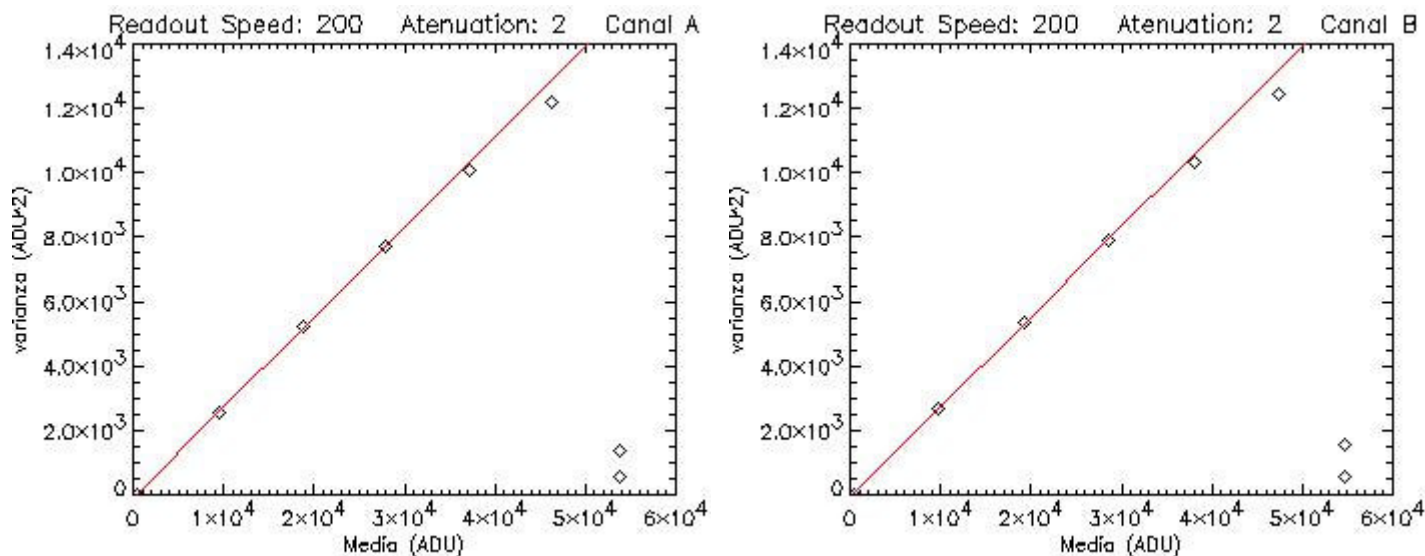
Una vez calculada dicha recta, la figura de mérito requerida es la inversa de su pendiente.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 22 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos junto con los datos enviados por el fabricante (esquina inferior derecha) en e⁻/adu:

ATENUACIÓN⇒	0		2		3	
Velocidad de lectura (kHz)	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B
100	0.56 <i>0.56</i>	0.56 <i>0.56</i>	1.66 <i>1.61</i>	1.66 <i>1.62</i>	3.80 <i>3.75</i>	3.80 <i>3.78</i>
200	1.25 <i>1.21</i>	1.24 <i>1.22</i>	3.57 <i>3.49</i>	3.56 <i>3.52</i>	8.33 <i>8.03</i>	8.28 <i>8.18</i>
500	4.31 <i>4.09</i>	4.31 <i>4.09</i>	12.18 <i>11.66</i>	12.15 <i>11.66</i>	27.50 <i>26.84</i>	27.57 <i>26.94</i>
900	14.61 <i>13.47</i>	14.73 <i>13.97</i>				

A continuación se representan algunas de las gráficas correspondientes a los datos anteriores. El resto de gráficas relativas a los datos de las tablas se encuentran en el Anexo A.



Como se observa en los gráficos, el ajuste se ha hecho en la parte lineal de la gráfica, ya que una vez que se alcanza el pozo de carga, la media y la varianza no siguen esta linealidad.

OBSERVACIÓN: Los resultados reflejados en el resto del documento se han expresado en electrones usando estos factores de conversión de electrones/adu.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 23 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

3.4 Tiempo de lectura según la velocidad y modo de lectura

En este apartado se muestra el tiempo necesario para leer el detector completo (2048 x 2048 píxeles) dependiendo de modo de lectura (uno o dos canales) y la velocidad escogidas.

Velocidad(kHz)	100	200	500	900
1 canal	41.94	20.97	8.39	4.66
2 canales	20.97	10.48	4.19	2.33

Los resultados están expresados en segundos.

3.5 Ruido de lectura

El ruido de lectura se ha calculado por diversos métodos, para cada frecuencia, atenuación y canal utilizados.

3.5.1 Método 1

El cálculo del ruido de lectura se ha realizado tomando dos imágenes de *dark*, con tiempo de exposición nulo (imagen *bias*), deduciendo el ruido de lectura a partir de la fórmula:

$$\frac{(dark1 - dark2) \cdot ganancia}{\sqrt{2}}$$

Restando dos imágenes de *dark* y dividiendo entre raíz de 2 se obtiene la desviación entre las dos imágenes, y finalmente multiplicando por la ganancia obtenemos el ruido en electrones.

Los resultados finales, para cada frecuencia, atenuación y canal (en electrones), junto con los datos proporcionados por el fabricante SI, se muestran en la siguiente tabla:

ATENUACIÓN=>	0		2		3	
kHz	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B
100	2.57 2.68	2.63 2.65	2.85 2.94	2.90 2.82	3.90 3.77	4.16 3.88
200	3.52 3.59	3.49 3.48	4.25 4.24	4.26 4.18	7.11 6.77	7.27 6.74
500	5.93 5.60	5.80 5.75	10.25 9.97	10.03 9.65	20.84 20.29	20.54 19.95
900	14.00 12.85	14.05 13.32				

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 24 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

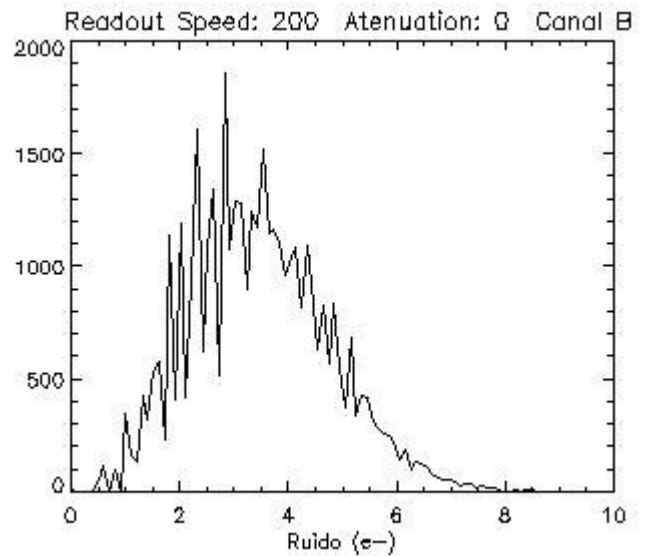
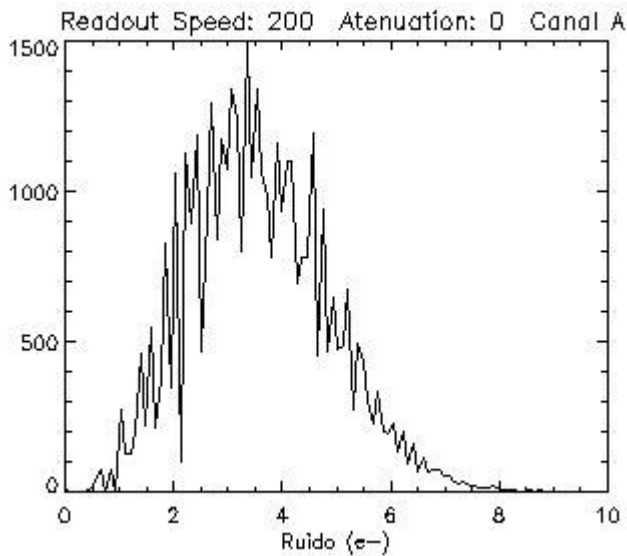
3.5.2 Método 2

Para cada medida, tomaron 6 imágenes de *dark* con tiempo de exposición 0, y se calculó la desviación estándar r.m.s. Esto da el valor del ruido de lectura en ADUs, el cual se pasa a electrones mediante la ganancia, como se ha mencionado antes. En cada caso se muestra un histograma de píxeles:

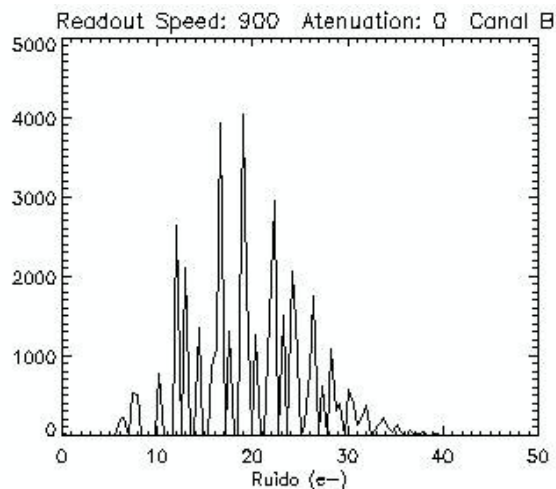
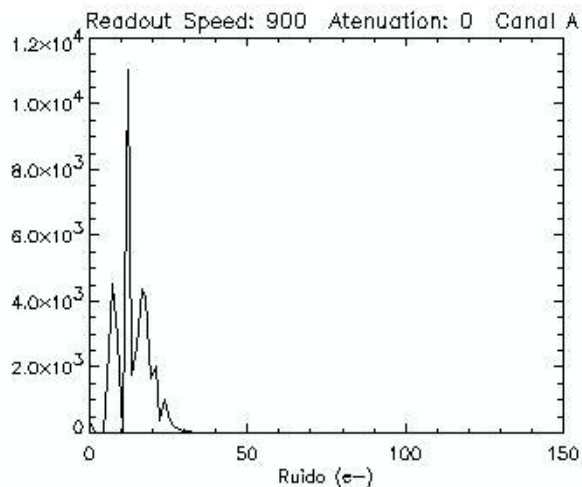
ATENUACIÓN=>	0		2		3	
kHz	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B
100	2.43 2.68	2.49 2.65	2.68 2.94	2.73 2.82	3.71 3.77	3.95 3.88
200	3.62 3.59	3.52 3.48	4.04 4.24	4.05 4.18	6.69 6.77	6.82 6.74
500	5.59 5.60	5.49 5.75	9.66 9.97	9.52 9.65	19.63 20.29	19.49 19.95
900	14.33 12.85	20.18 13.32				

En caso de escoger frecuencia 900 y atenuación 0, el ruido obtenido en las pruebas experimentales varía significativamente de una canal a otro.

A continuación se muestran los histogramas correspondientes al cálculo realizado por píxel. Se representan los histogramas más significativos, y el resto se encuentra en el Anexo B. Estos gráficos se han calculado a partir de ventanas de 200 x 200 píxeles, es decir, los histogramas se calcularon tomando 40000 píxeles.



CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 25 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC



En el primer caso, atenuación 0 y frecuencia 200, se ve cómo el ruido de lectura sigue una distribución normal. En el caso de atenuación 0 y frecuencia 900, la gráfica aparece sesgada hacia la derecha, debido a que el ruido de lectura calculado para algún píxel (o varios) es significativamente superior al de los demás.

Se ha de tener en cuenta que las representaciones anteriores no poseen la misma escala ni en el eje de ordenadas ni en el de abscisas. Este hecho conviene tenerlo en cuenta a la hora de hacer una idea gráfica de cómo varía el ruido de lectura en los distintos píxeles de la imagen.

3.5.3 Zona prescan

Se llevaron a cabo las mismas pruebas que en los puntos anteriores, pero utilizando únicamente la zona de *prescan* de cada canal. Esta zona tiene un tamaño de 50x2048 píxeles, que no reciben luz, es decir, no hay ruido fotónico, pero presentan ruido de lectura.

3.5.3.1 Método 1

Se obtuvieron los siguientes resultados:

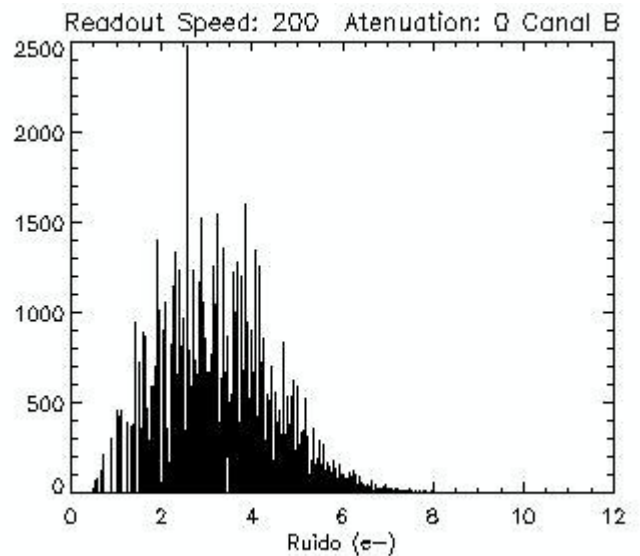
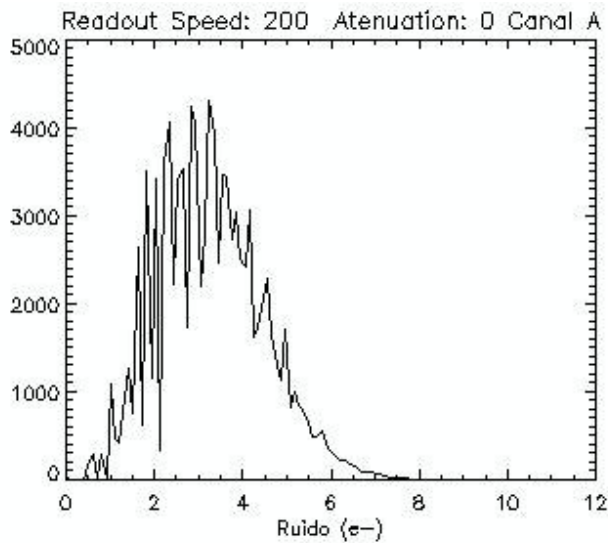
ATENUACIÓN=>	0		2		3	
kHz	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B
100	2.58 2.68	2.63 2.65	2.83 2.94	2.90 2.82	3.92 3.77	3.84 3.88
200	3.55 3.59	3.63 3.48	4.26 4.24	4.36 4.18	6.80 6.77	7.35 6.74
500	5.91 5.60	5.83 5.75	10.70 9.97	10.02 9.65	20.80 20.29	20.83 19.95
900	13.89 12.87	13.73 13.32				

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 26 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

3.5.3.2 Método 2

ATENUACIÓN=>	0		2		3	
kHz	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B	Canal A	Canal B
100	2.43 2.68	2.48 2.65	2.66 2.94	2.72 2.82	3.70 3.77	3.79 3.88
200	3.34 3.59	3.40 3.48	4.02 4.24	4.10 4.18	6.37 6.77	6.93 6.74
500	5.57 5.60	5.48 5.75	10.07 9.97	9.46 9.65	19.54 20.29	19.31 19.95
400	13.09 12.85	12.85 13.32				

En los siguientes histogramas se muestra cómo se distribuye el ruido de lectura en los píxeles de la imagen. Se han tomado 40000 píxeles para hacer los histogramas (corresponden a una ventana de la imagen de 200 x 200 píxeles):



Los histogramas correspondientes al resto de combinaciones de frecuencia, atenuación y canales, se encuentran en el Anexo C.

3.6 Resultados finales para la calibración

Como resumen a los resultados de las distintas pruebas comentadas en este apartado, esta tabla muestra los datos sobre ganancia y ruido que se usarán en la calibración de imágenes, y que irán incorporados en la cabecera, para cada combinación de frecuencia y atenuación.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 27 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

Para determinar el ruido final se tomó el obtenido para la zona de prescan, promediando los datos de ambos canales. En el caso de la ganancia también se calculó promediando los valores de cada canal.

Frecuencia (kHz)	Atenuación	Ganancia (e⁻/adu)	Ruido de lectura (e⁻)
100	0	0.56	2.45
	2	1.66	2.69
	3	3.80	3.74
200	0	1.25	3.37
	2	3.56	4.05
	3	8.30	6.65
500	0	4.31	5.52
	2	12.16	9.76
	3	27.54	19.42
900	0	14.67	12.97

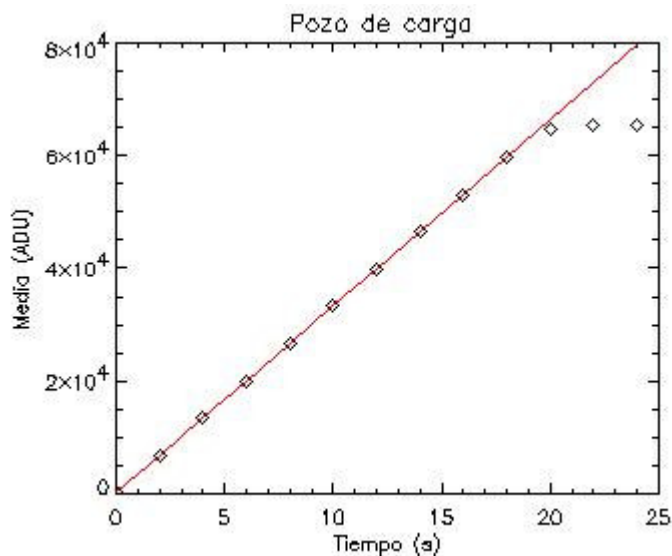
3.7 Linealidad y pozo de carga

Esta figura de mérito se calculó tomando imágenes de *flatfield*, con tiempos de exposición sucesivamente mayores hasta llegar a la saturación. Se pretende medir el error en la linealidad, es decir, error cometido en las observaciones con respecto a una recta ajustada mediante el método de mínimos cuadrados. Como estos conceptos son independientes de la frecuencia y de la atenuación, se muestran los resultados para varios casos concretos.

La recta teórica tiene la siguiente forma: $y = A + Bx$, donde 'y' hace referencia a la media obtenida para cada conjunto de imágenes con cada tiempo de exposición, y 'x' es la variable que representa los distintos tiempos de exposición.

Esta recta se consigue mediante un ajuste de mínimos cuadrados con los puntos obtenidos. La representación para imágenes tomadas con frecuencia 100 y atenuación 2 es la siguiente:

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 28 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC



Las ecuaciones que determinan la recta vienen dadas por los parámetros A y B que minimicen las distancias de los puntos representados a la recta teórica buscada.

$$A = \frac{\sum xi^2 \cdot \sum yi - \sum xi \cdot \sum xi \cdot yi}{\Delta}$$

$$B = \frac{N \cdot \sum xi \cdot yi - \sum xi \cdot \sum yi}{\Delta}$$

donde $\Delta = N \cdot \sum xi^2 - \sum xi^2$

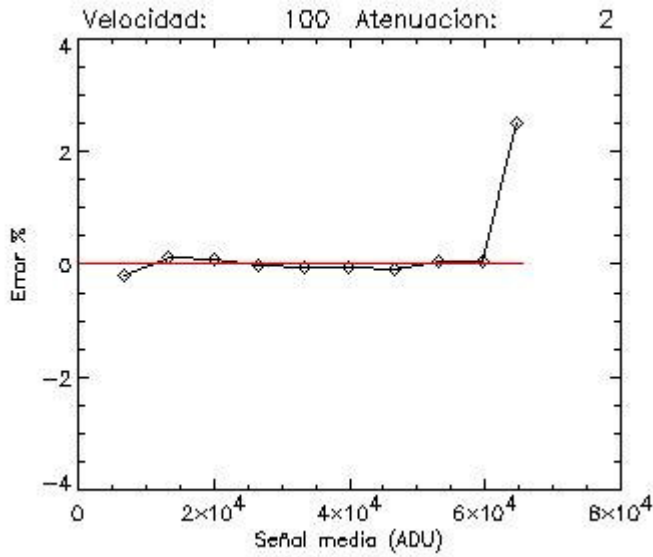
Entonces el error cometido en cada punto es la distancia entre el valor observado y el valor teórico de la recta para ese tiempo de exposición,

$$Error (yi) = yi - (A + B \cdot xi)$$

Se toman los errores relativos de la siguiente manera: $\frac{error(yi) \cdot 100}{A + Bxi}$, es decir, el error obtenido dividido entre el valor teórico de la recta en ese punto.

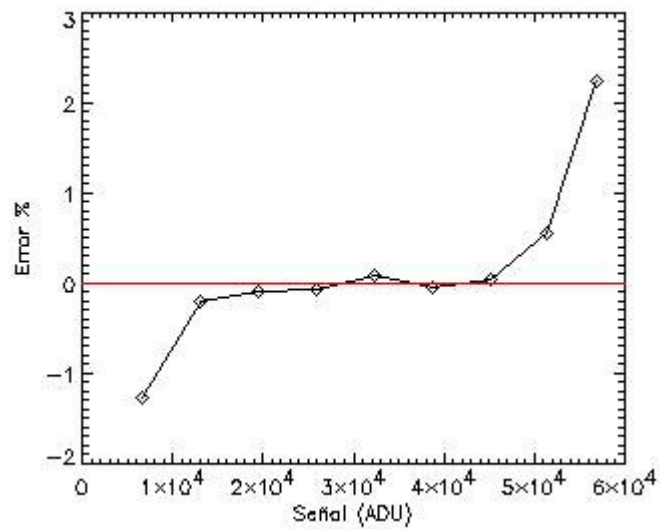
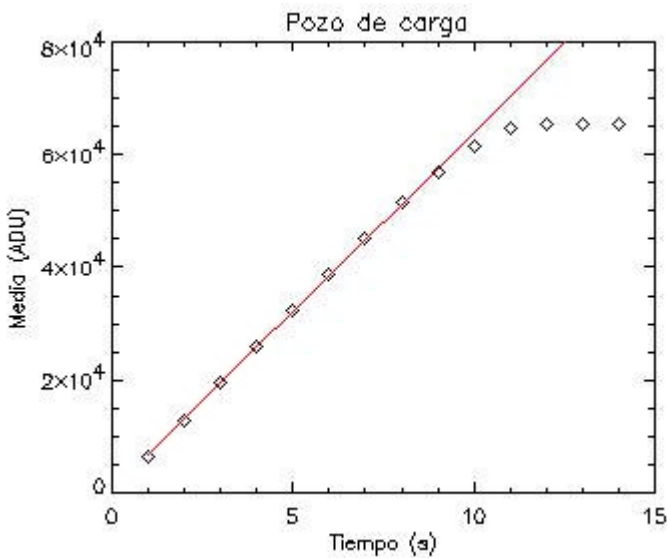
En el siguiente gráfico están representados estos errores frente a la media para cada tiempo de exposición.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 29 de 41
	Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC



Finalmente, se ha considerado como pozo de carga, el valor a partir del cual el error en la linealidad es mayor a un 1%. En tal caso, se obtiene un valor aproximado de 200000 electrones.

Por último, se realizó el mismo proceso pero tomando imágenes con *binning* 2x2. El valor del pozo de carga equivale a 222000 electrones.



Una vez alcanzado el pozo de carga, tanto en el primer caso como en el caso de tomar imágenes con *binning*, el error en la linealidad se va incrementando, como se observa en los gráficos.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 30 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

3.8 Defectos

En las especificaciones del fabricante se menciona la existencia de un único cúmulo de 8 píxeles defectuosos.

Columna: 768, Fila: 466, Longitud: 8 => 23000 e-/p/s

Este defecto no se ha observado posteriormente en la realización de estas pruebas.

3.9 Píxeles calientes

Mediante una imagen de *dark* de 40 minutos de exposición, se analizan los píxeles cuyo correspondiente número de cuentas correspondiente se desvía significativamente del promedio de la imagen.

Para ello, se contó el número de píxeles cuyo valor se desvía de la media cierta constante multiplicada por la desviación estándar de la imagen. En la tabla siguiente se reflejan, para distintos valores de dicha constante, el número y el porcentaje de píxeles calientes obtenidos según este criterio.

Número de cuentas del píxel $> \text{media} + c * (\text{desviación estándar}) \Rightarrow$ píxel caliente

El porcentaje se obtuvo mediante el número total de píxeles en la imagen: 2048 x 2048

CONSTANTE C	CANTIDAD	PORCENTAJE
2	1739	0.0414610 %
3	1409	0.0335932 %
4	1190	0.0283718 %
5	1001	0.0238657 %
6	826	0.0196934 %

4. CONCLUSIONES GLOBALES

Durante las tres semanas en las que se realizaron las pruebas, no se observó ningún comportamiento anómalo ni de la cámara CCD ni del sistema de refrigeración ni del software de adquisición de imágenes. No obstante, debido a que se deseaba almacenar las imágenes con una cabecera similar a la usada actualmente en el IAC80, y con un formato de datos diferente, se realizó un programa en Labview complementario al proporcionado por SI que realizara dichas modificaciones en las imágenes guardadas.

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 31 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

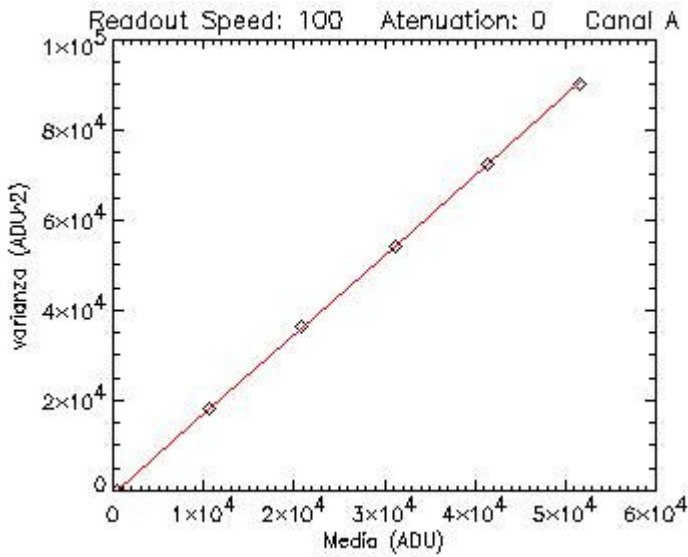
No es necesario decir, que la incorporación de esta cámara CCD al telescopio IAC80 proporcionará una mejora considerable en la calidad y precisión de las imágenes.

Los resultados de ganancia y ruido que se obtuvieron en la caracterización de la cámara CCD son semejantes a los especificados por el fabricante SI. Finalmente será el usuario el que decida con que resultados desea trabajar.

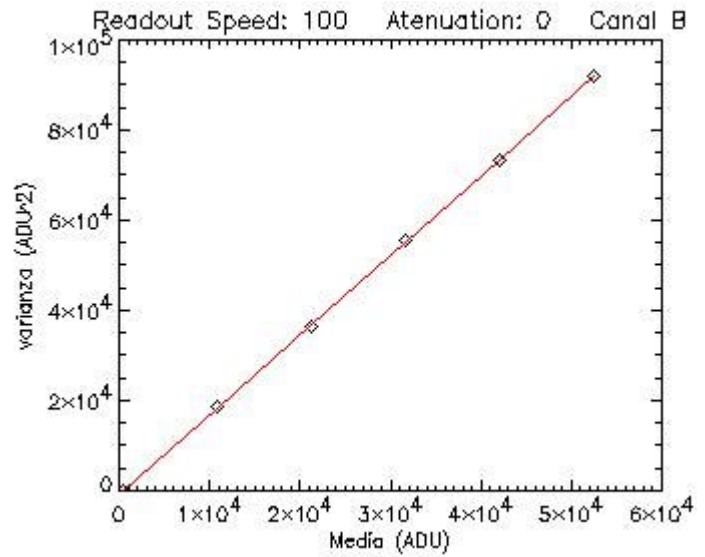
CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 32 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

ANEXOS

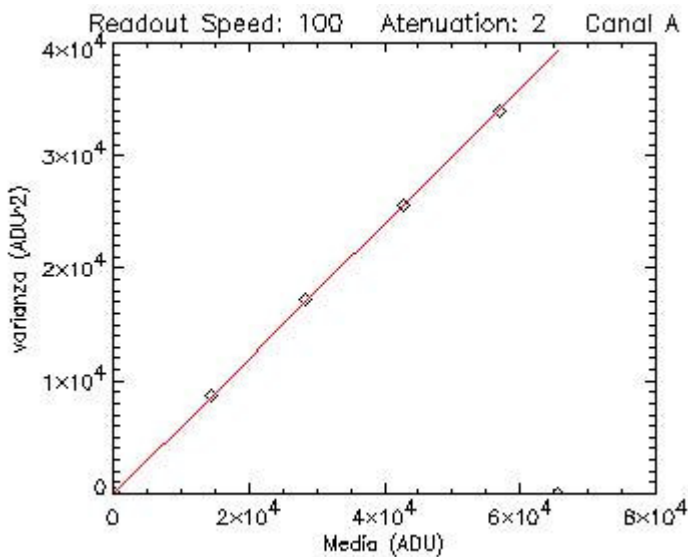
A. ANEXO: GRÁFICA DE LAS GANANCIAS



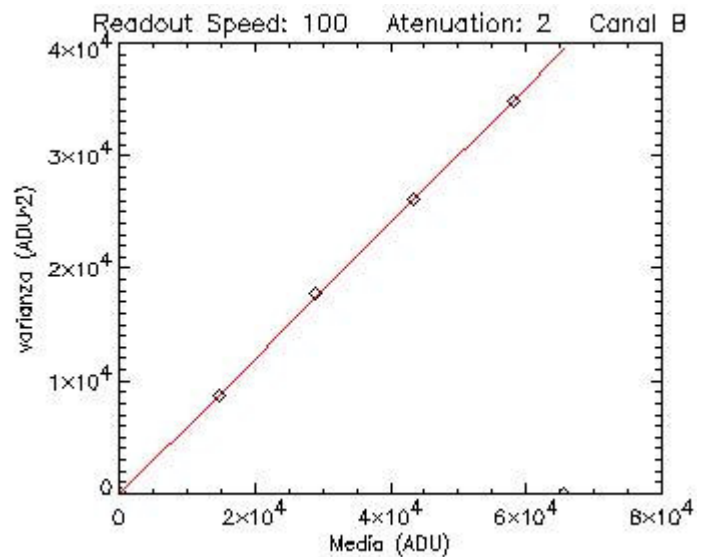
Ganancia: 0.56



Ganancia: 0.56

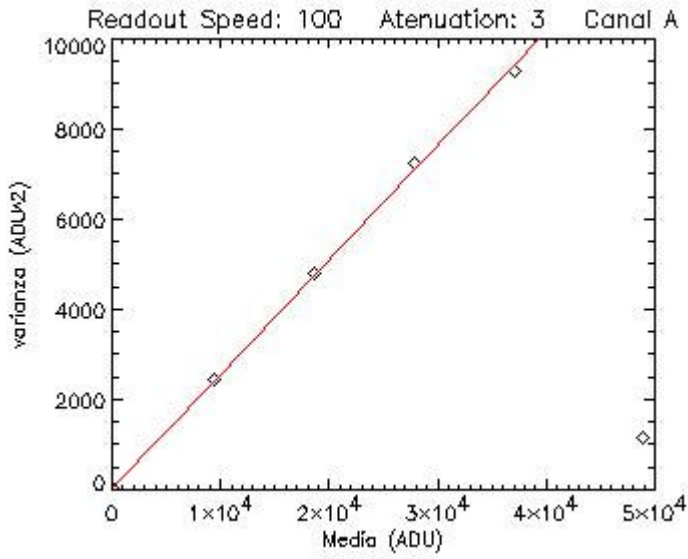


Ganancia: 1.66

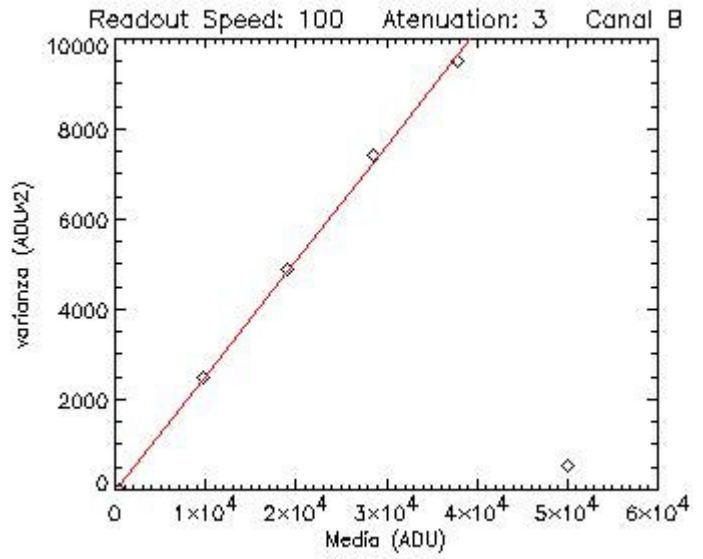


Ganancia: 1.66

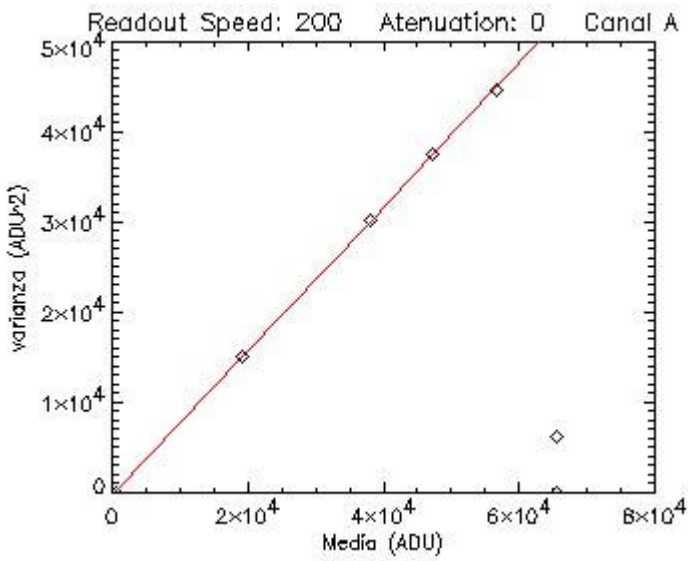
CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 33 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC



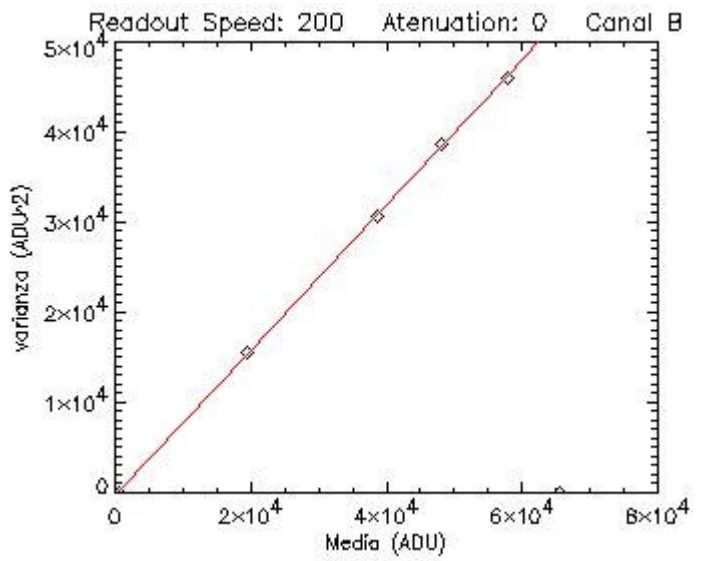
Ganancia: 3.94



Ganancia: 3.92

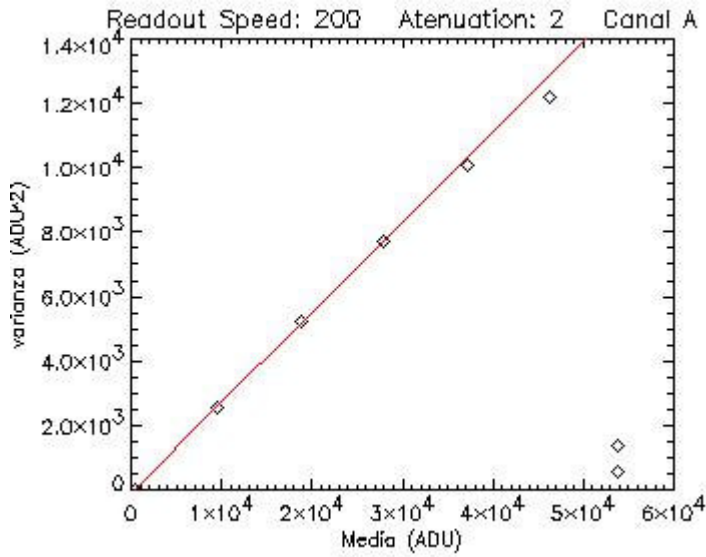


Ganancia: 1.25

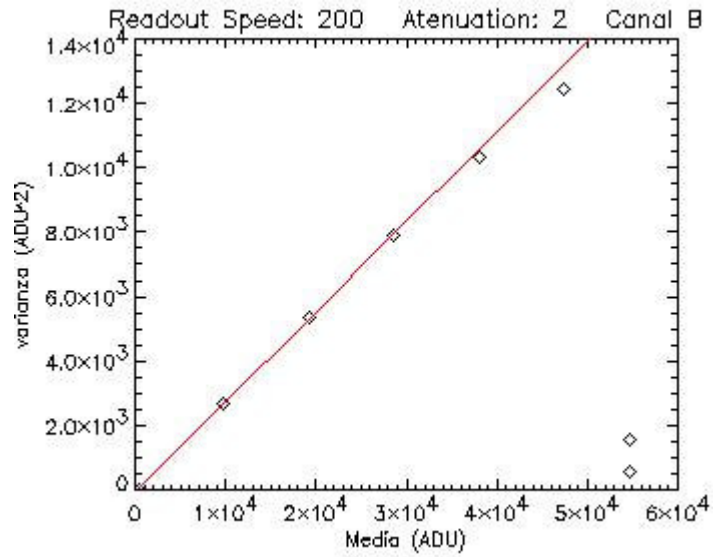


Ganancia: 1.24

CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80	Página: 34 de 41
	Fecha: 10 de septiembre de 2004
Código: DE/PR-TTN/015v.1	Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC

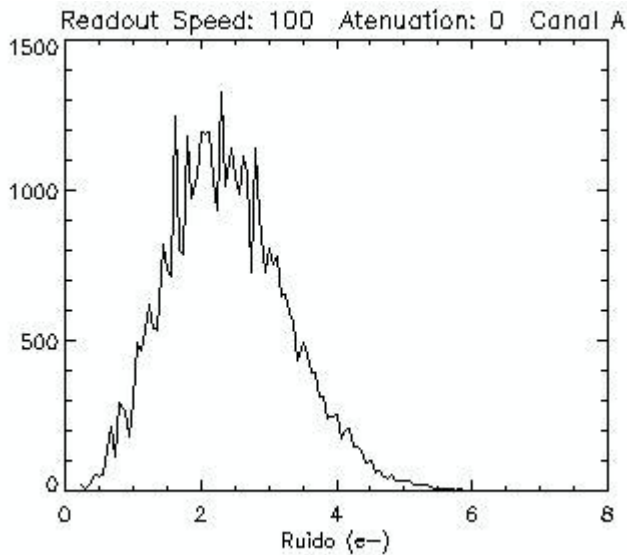


Ganancia: 3.57

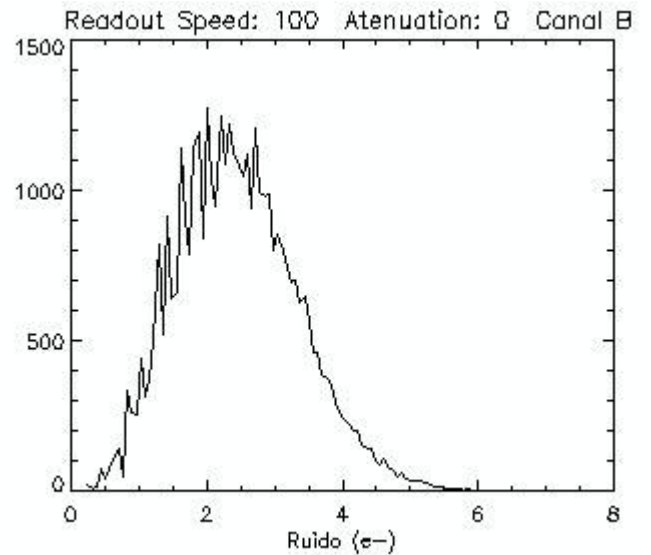


Ganancia: 3.56

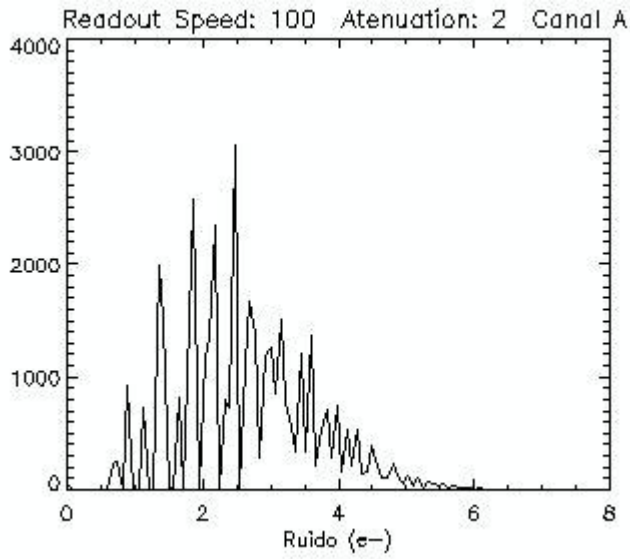
B. ANEXO: HISTOGRAMAS DEL RUIDO DE LECTURA (MÉTODO 2)



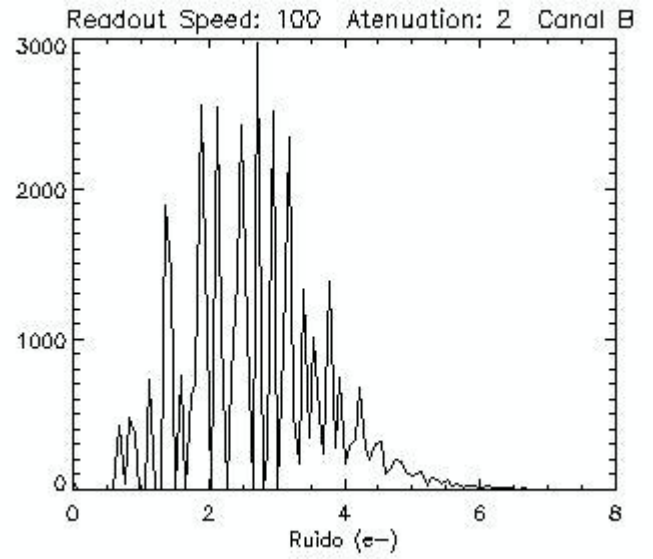
Ruido: 2.43



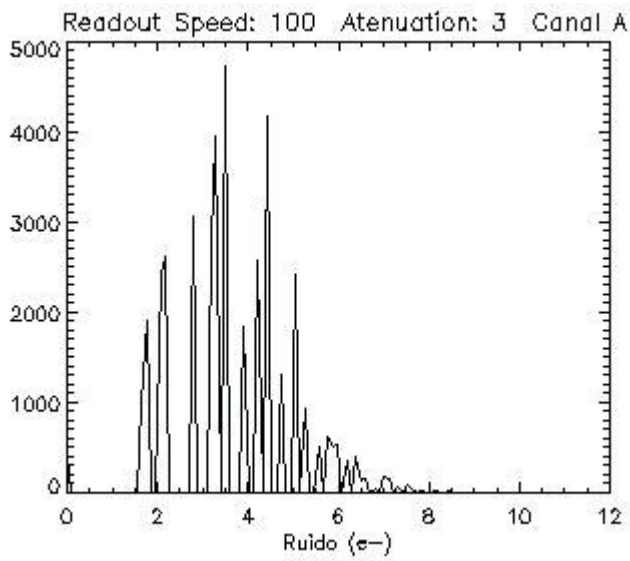
Ruido: 2.49



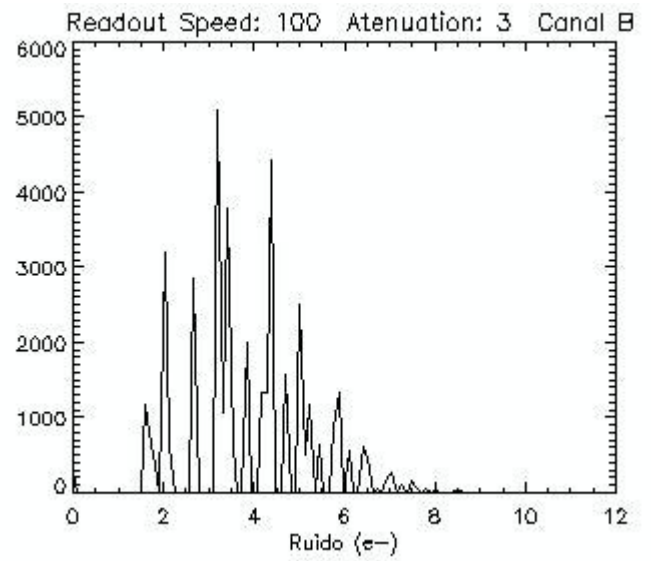
Ruido: 2.68



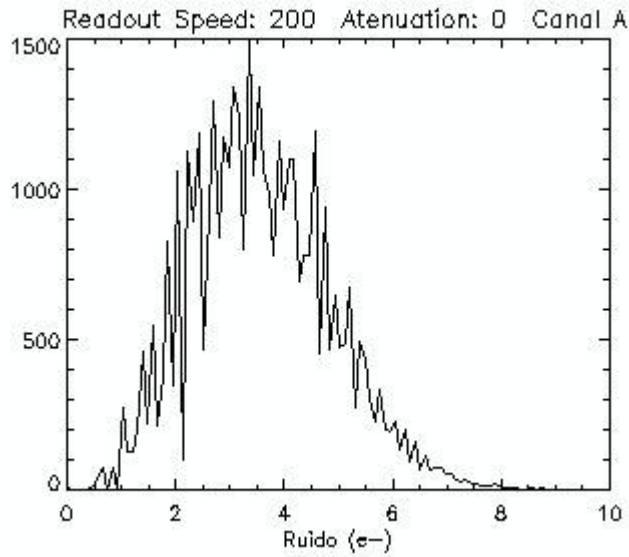
Ruido: 2.73



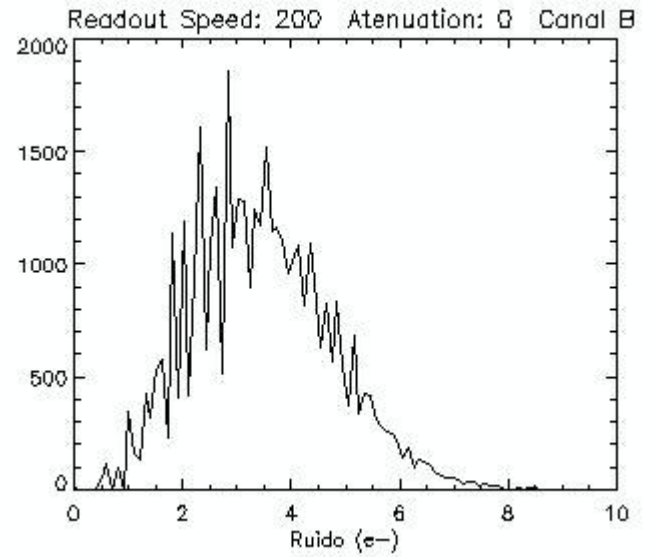
Ruido: 3.71



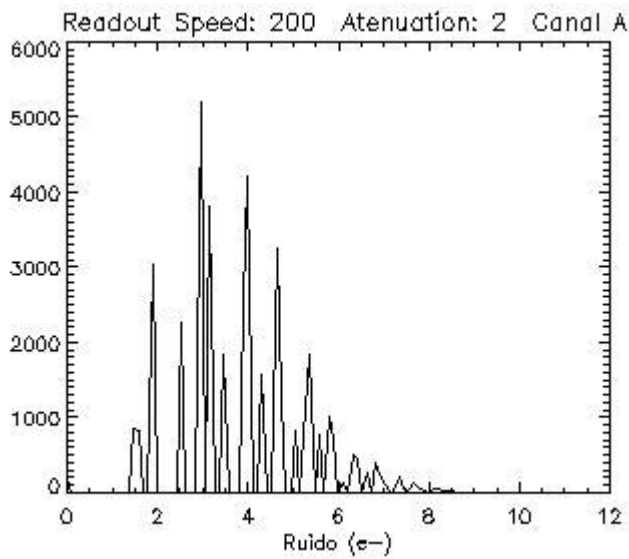
Ruido: 3.94



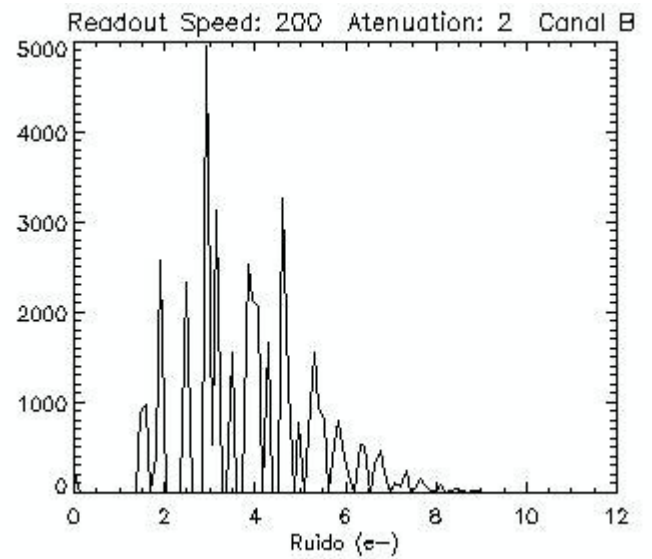
Ruido: 3.62



Ruido: 3.52



Ruido: 4.04

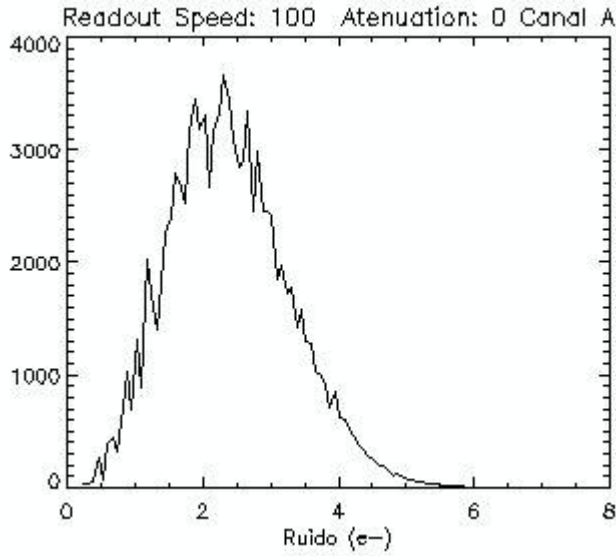


Ruido: 4.05

<p align="center">CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80</p>	<p>Página: 37 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004</p>
<p>Código: DE/PR-TTN/015v.1</p>	<p>Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC</p>

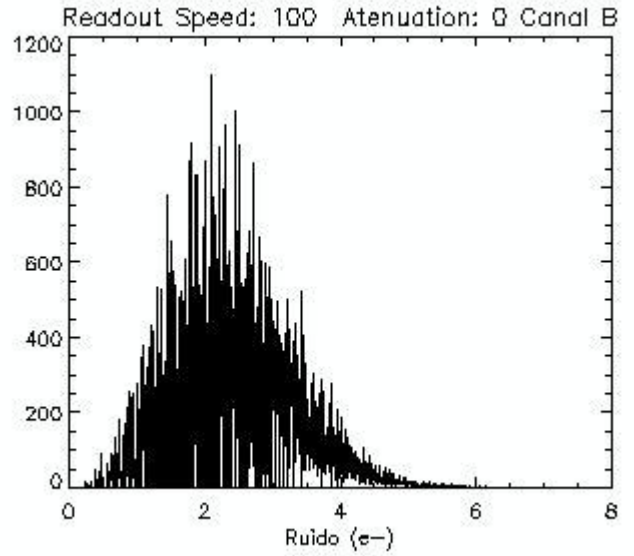
**C. ANEXO: HISTOGRAMAS DEL RUIDO DE LECTURA EN LA ZONA
PRESCAN**

Canal A

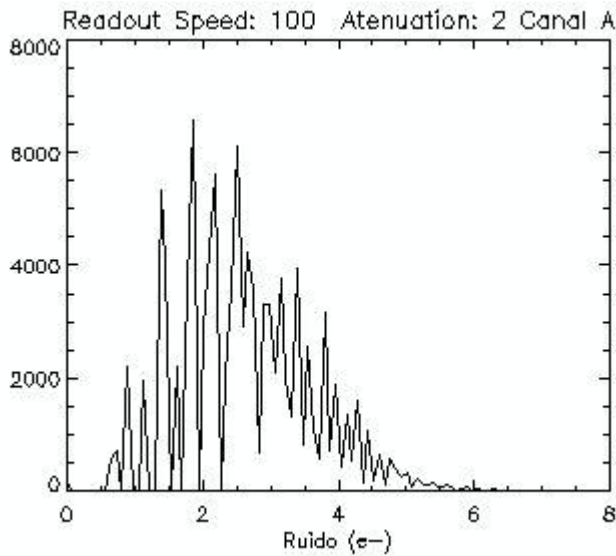


Ruido: 2.43

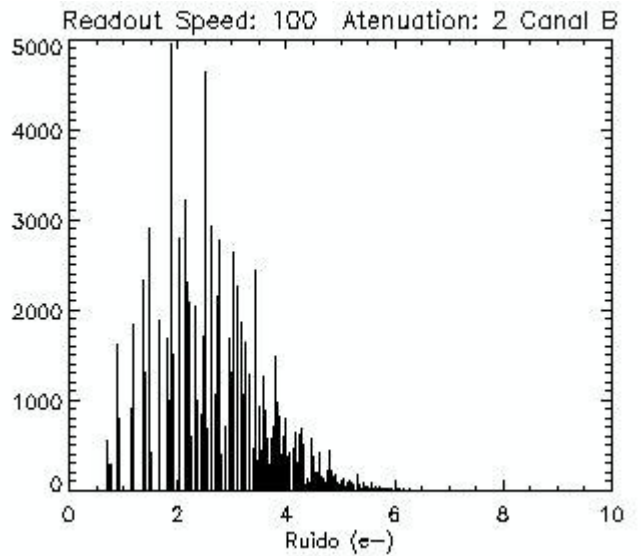
Canal B



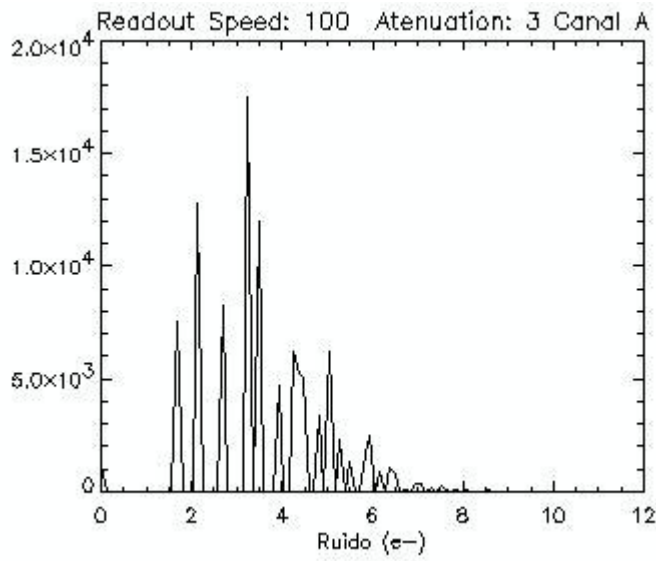
Ruido: 2.48



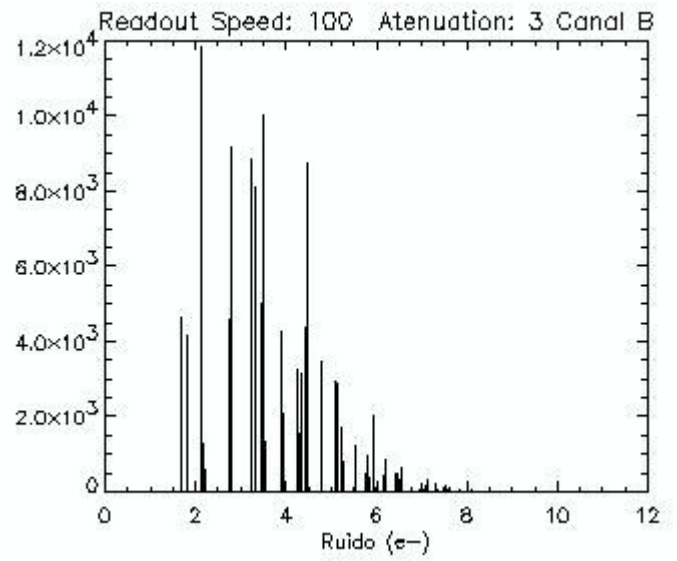
Ruido: 2.66



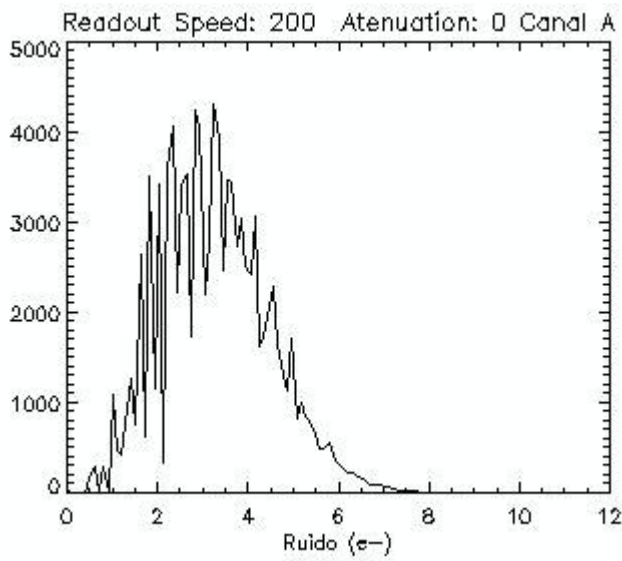
Ruido: 2.71



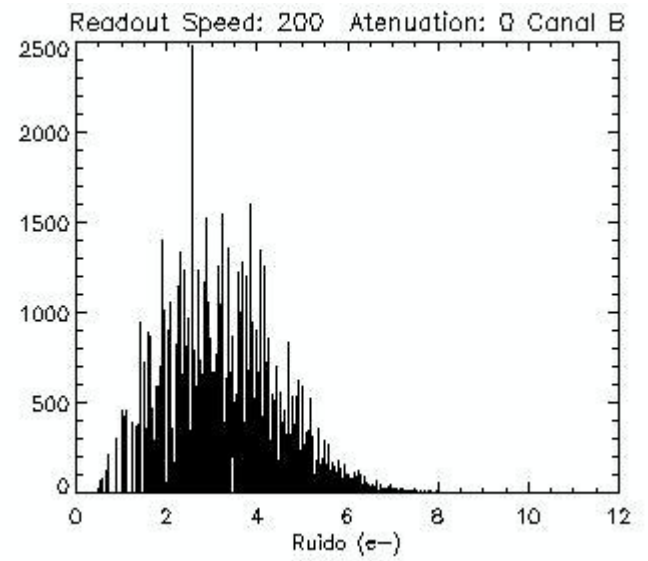
Ruido: 3.70



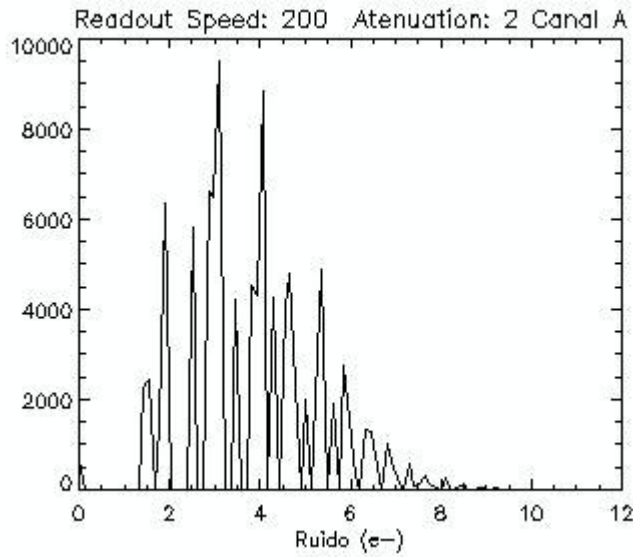
Ruido: 3.79



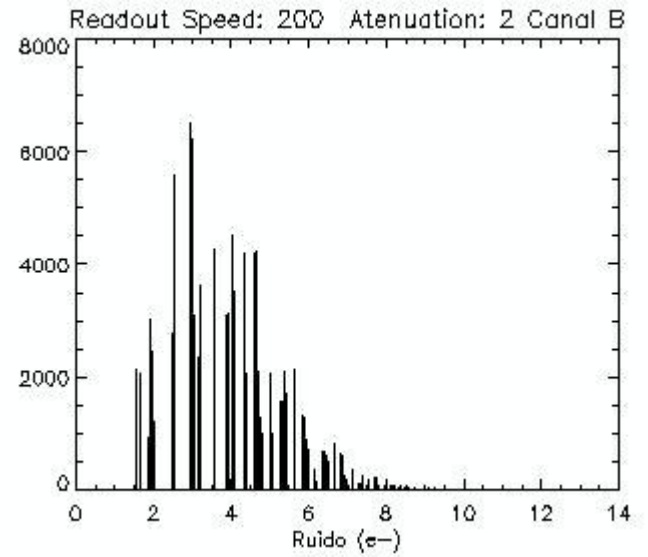
Ruido: 3.35



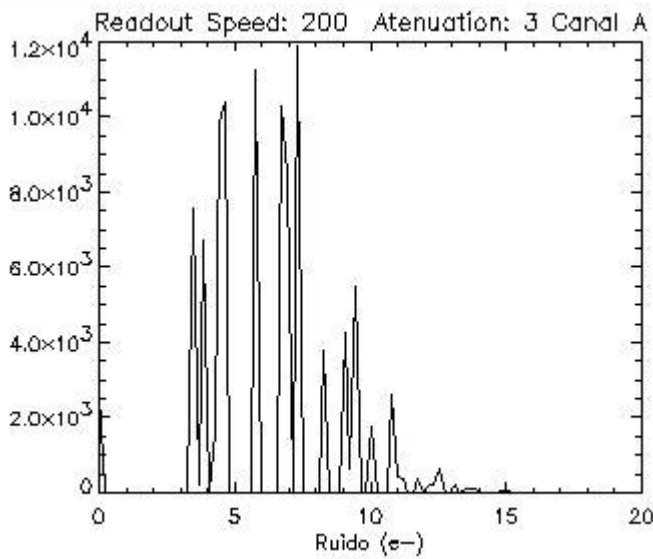
Ruido: 3.40



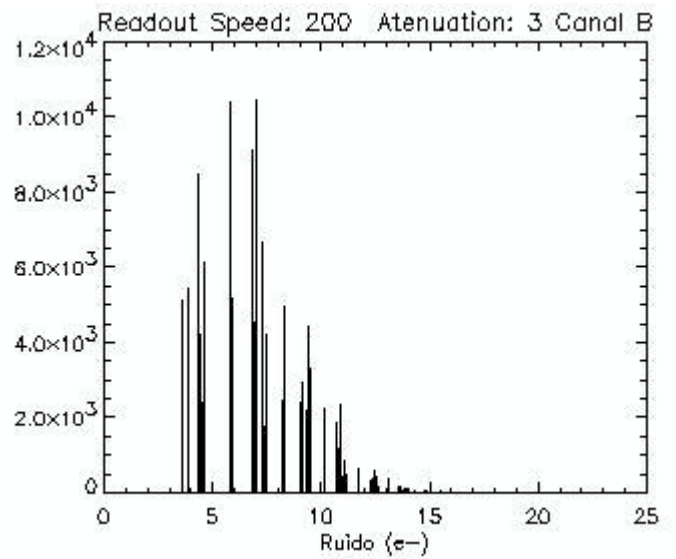
Ruido: 4.02



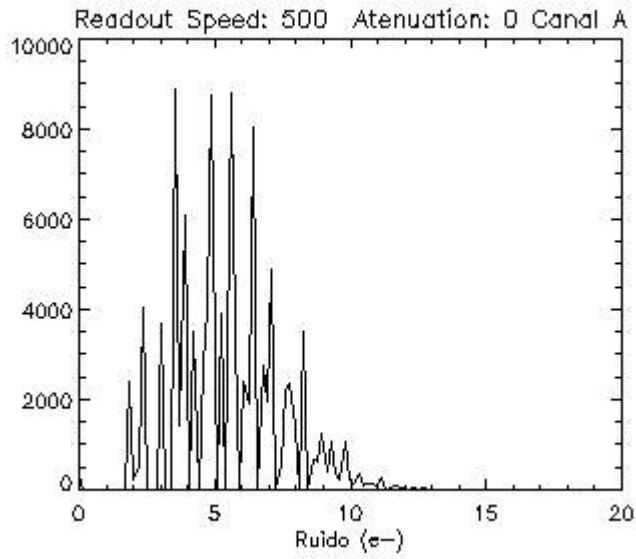
Ruido: 4.09



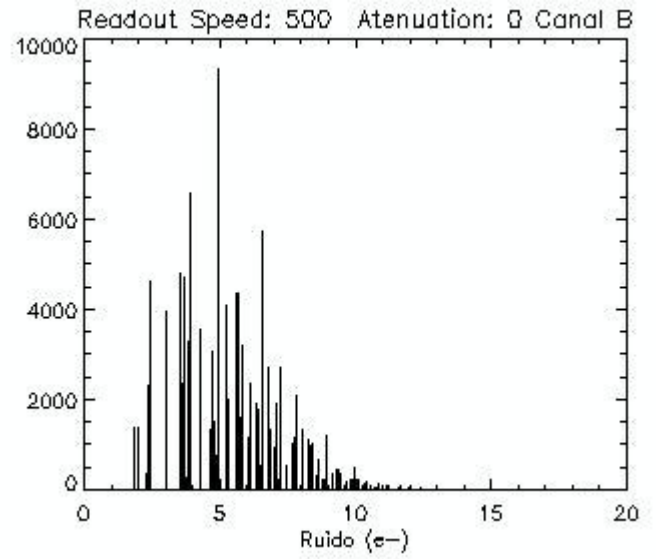
Ruido: 6.37



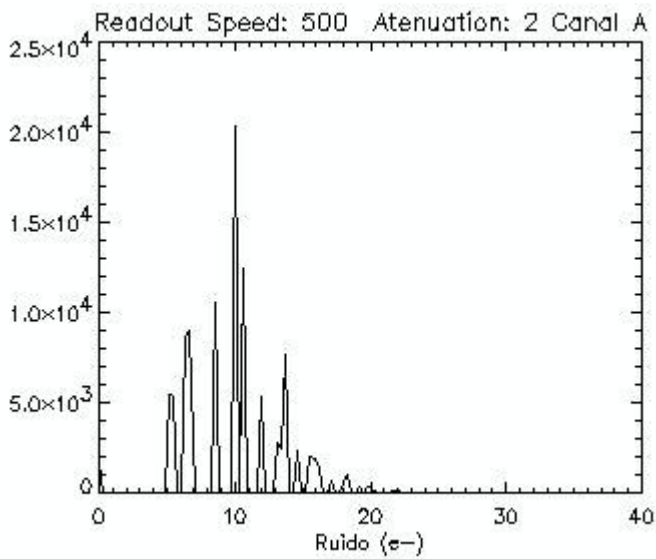
Ruido: 6.93



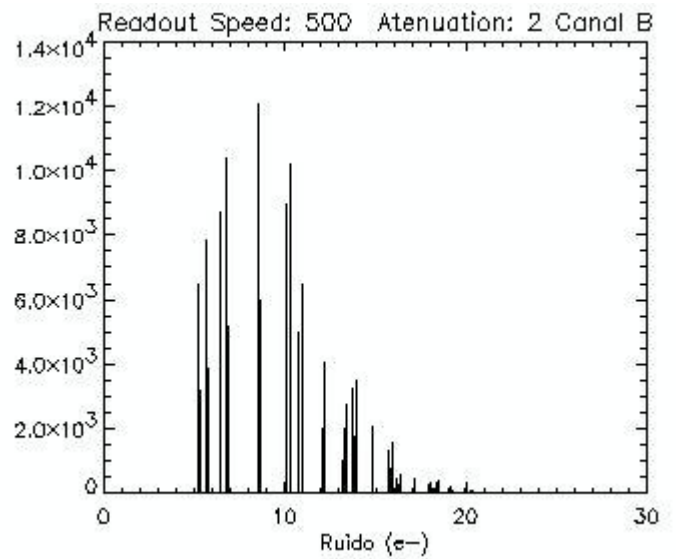
Ruido: 5.57



Ruido: 5.48

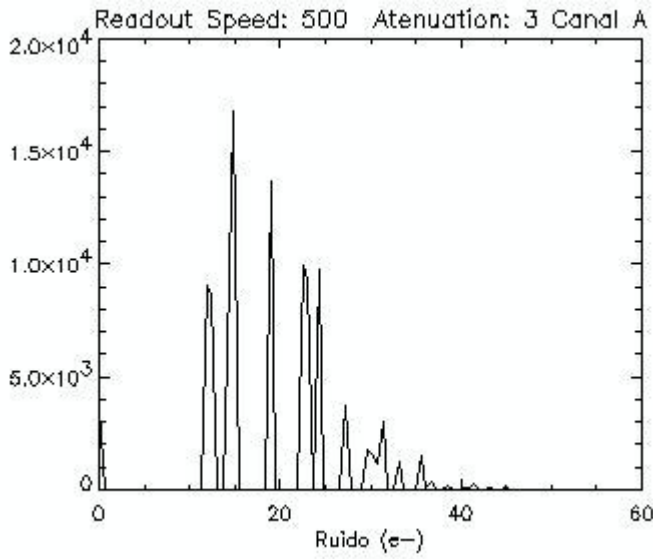


Ruido: 10.07

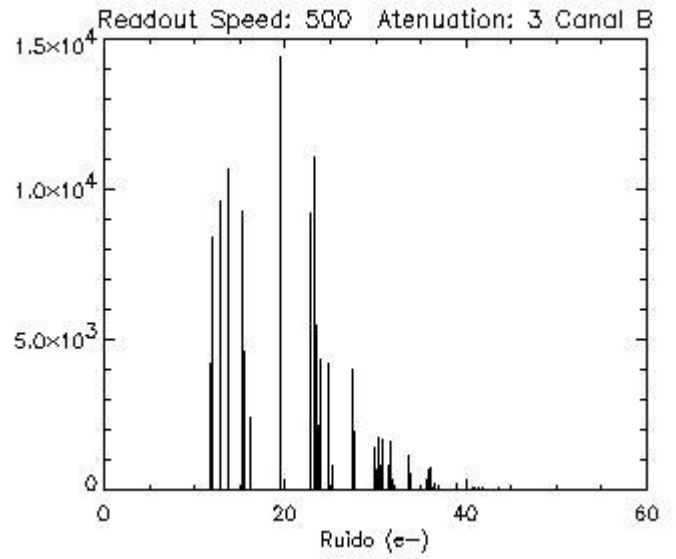


Ruido: 9.46

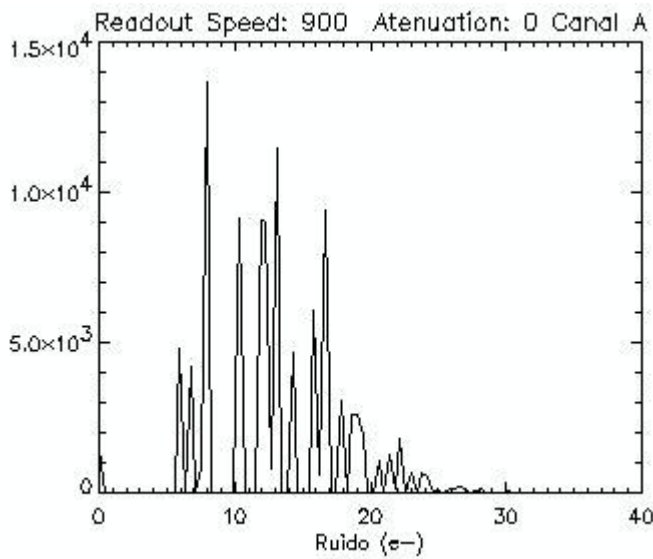
<p align="center">CARACTERIZACIÓN NUEVA CÁMARA CCD IAC80</p>	<p>Página: 41 de 41 Fecha: 10 de septiembre de 2004</p>
<p align="center">Código: DE/PR-TTN/015v.1</p>	<p>Fichero: DEPRTTN_15v1.DOC</p>



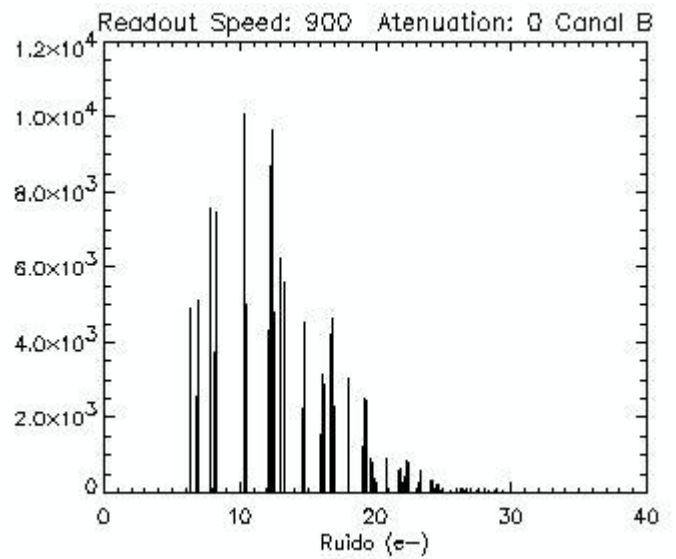
Ruido: 19.54



Ruido: 19.31



Ruido: 13.09



Ruido: 12.85

D. LISTA DE DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NO APLICABLE.