

PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

ALUMNO: POSE, FERNANDO EZEQUIEL

LEGAJO: 143.791-4

CICLO LECTIVO: 2° CUATRIMESTRE 2015

PROFESOR: DR. ING. MARIANO LLAMEDO SORIA

Enunciado – Ejercicio 1

Compruebe experimentalmente que el periodograma:

1. Es un estimador de la densidad de potencia espectral no sesgado asintóticamente a medida que aumenta la ventana de registro N .
2. Tiene varianza constante y no depende de N .

Se sugiere utilizar ruido normalmente distribuido de varianza σ^2

Para realizar el estudio se eligió un desvío estándar de 2 motivo por el cual se tiene:

Desvío estándar (σ)	2
Varianza (σ^2)	4

Para el estudio se utilizó ruido normalmente distribuido de varianza: $\sigma^2 = 4$

A continuación se exponen los experimentos realizados, con sus respectivas características. Luego se exponen las conclusiones obtenidas.

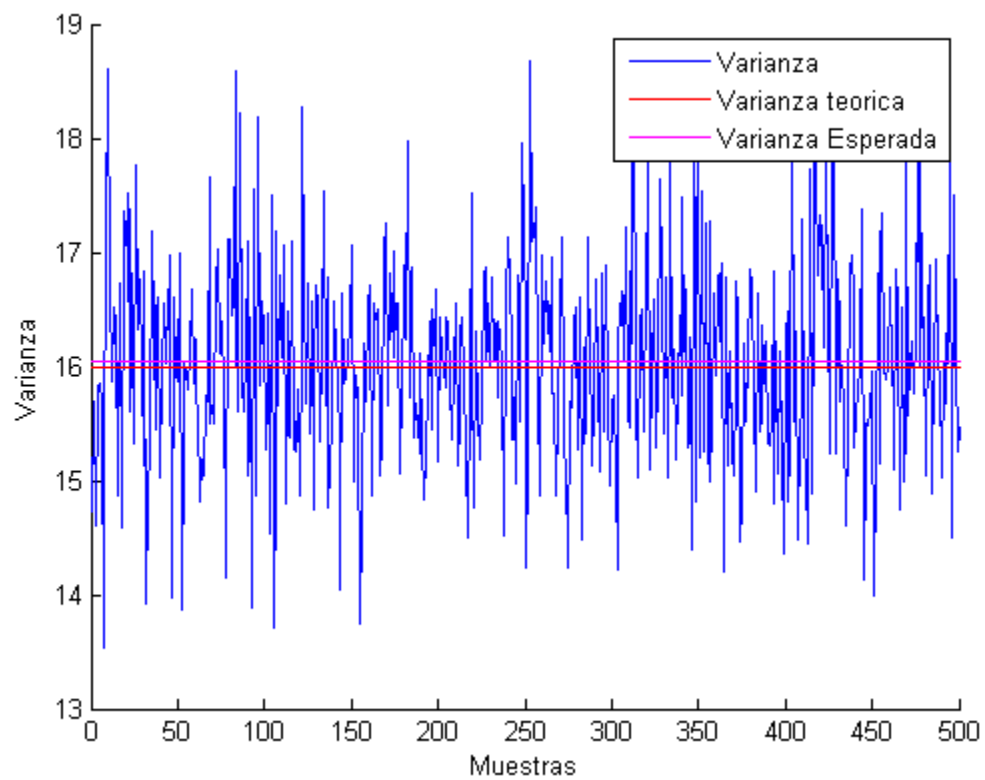
Nota: Se expone a continuación la forma de calcular el periodograma:

$$\widehat{S_{PER}}(\omega) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\omega n} \right|^2$$

Experimentos	Muestras
500	5000

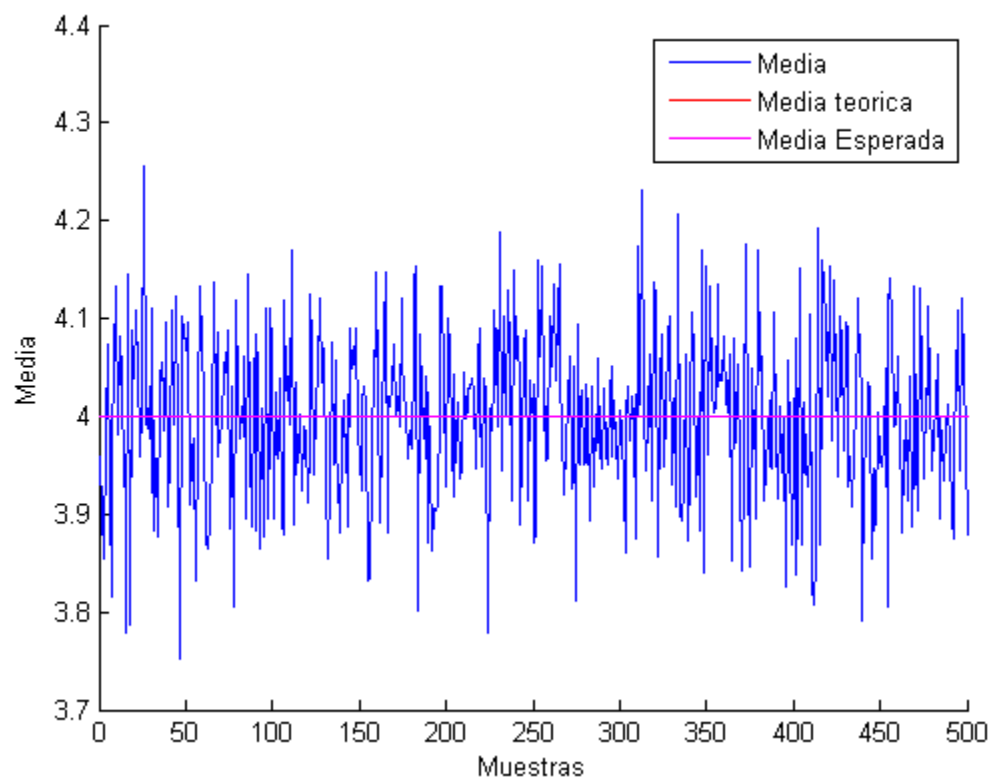
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener σ^4
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En rojo la media teórica σ^2
- En magenta la media esperada (obtenida)

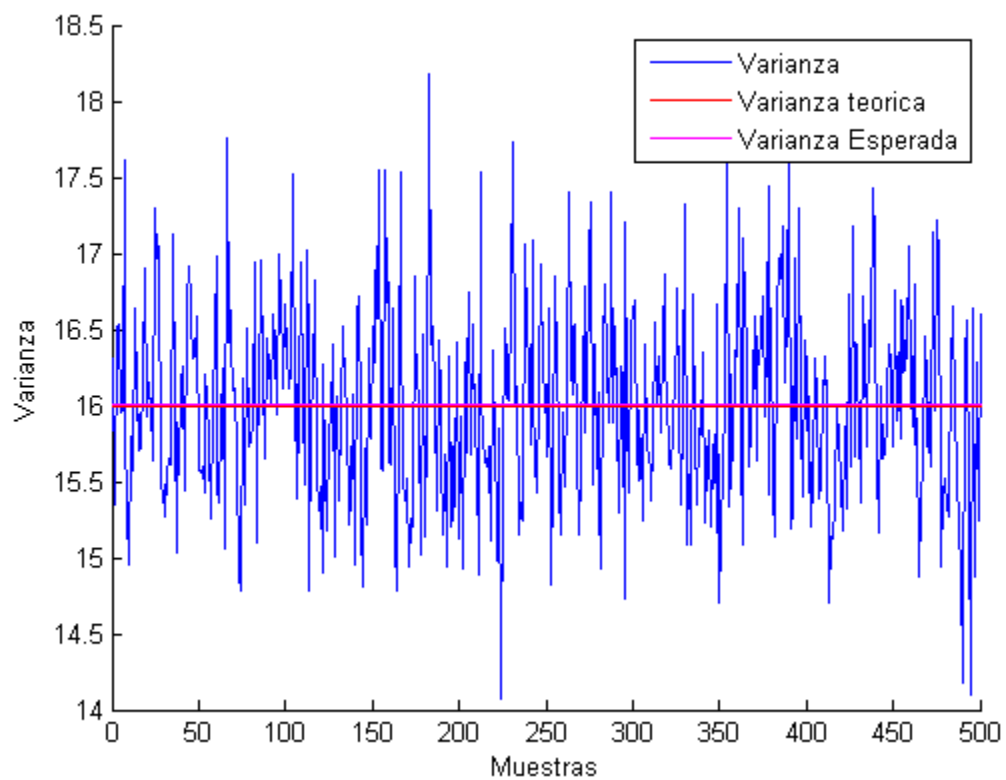


Varianza teórica	16
Varianza esperada	16.0426
Media teórica	4
Media esperada	3.9999

Experimentos	Muestras
500	10000

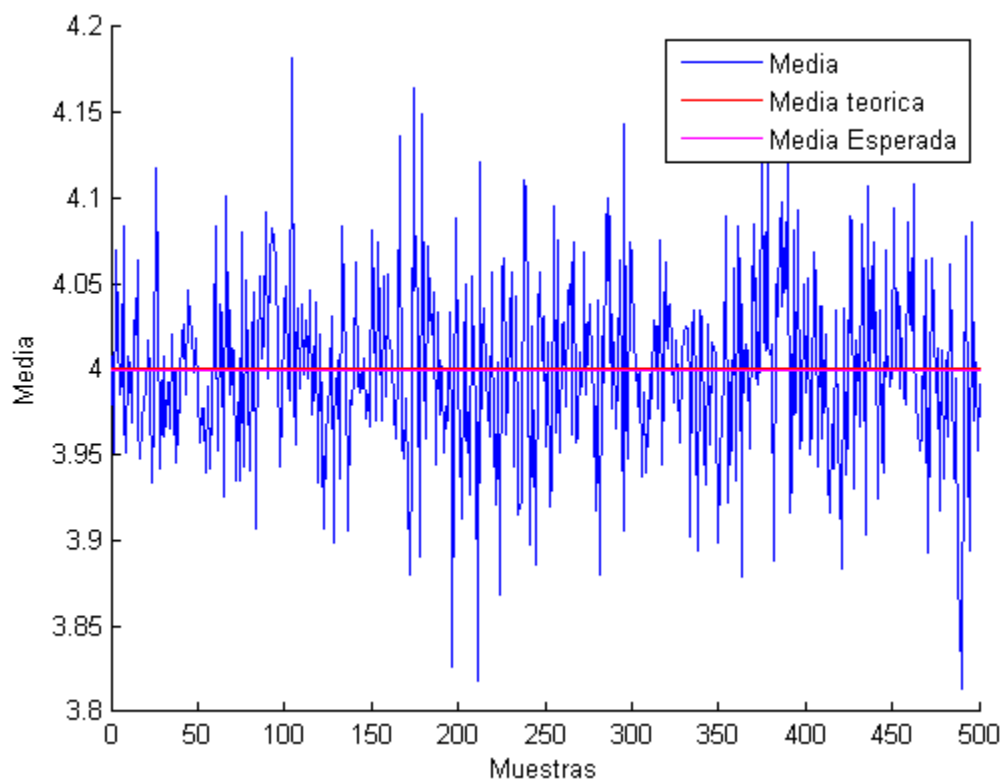
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener σ^4
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En rojo la media teórica σ^2
- En magenta la media esperada (obtenida)

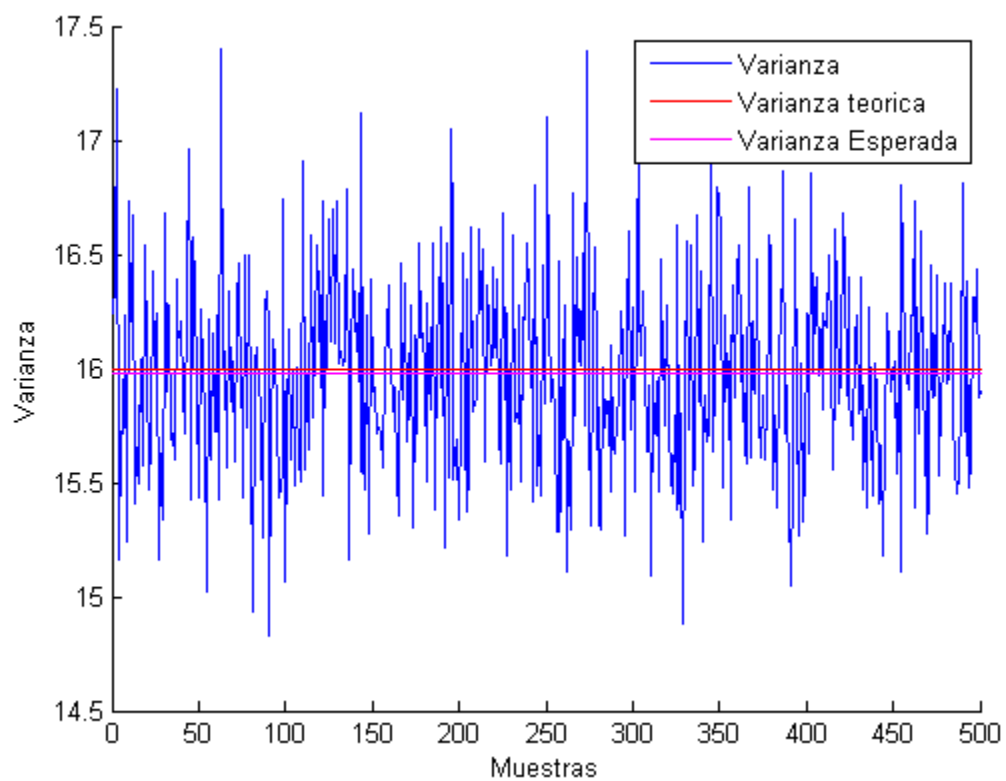


Varianza teórica	16
Varianza esperada	16.0003
Media teórica	4
Media esperada	3.9996

Experimentos	Muestras
500	20000

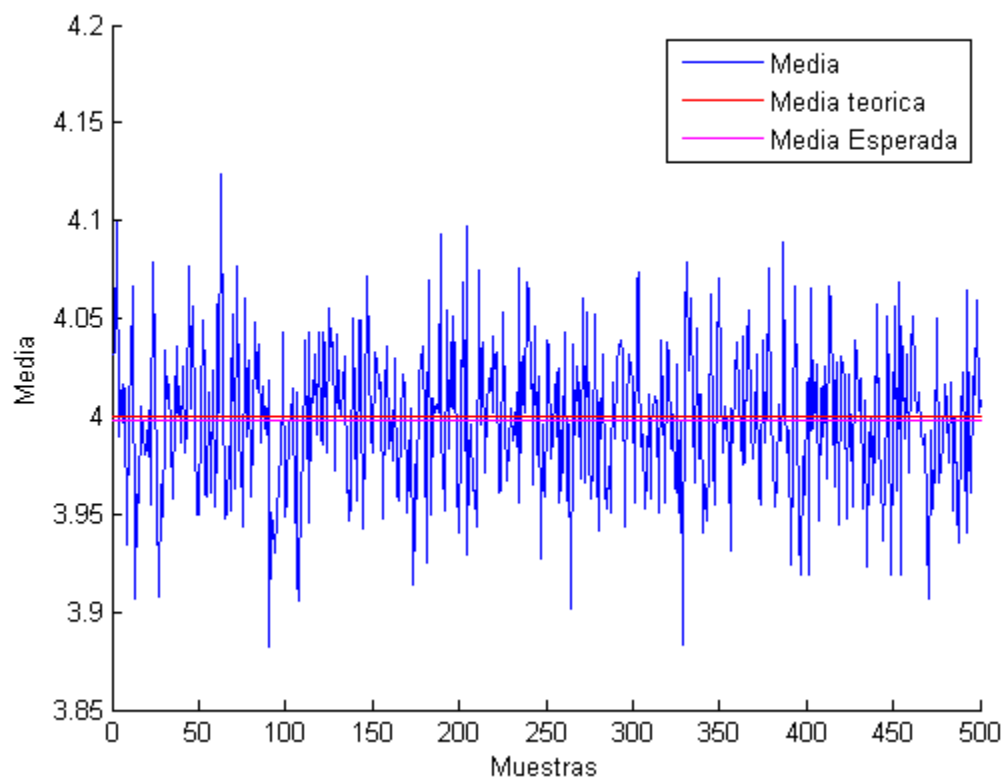
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener σ^4
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En rojo la media teórica σ^2
- En magenta la media esperada (obtenida)

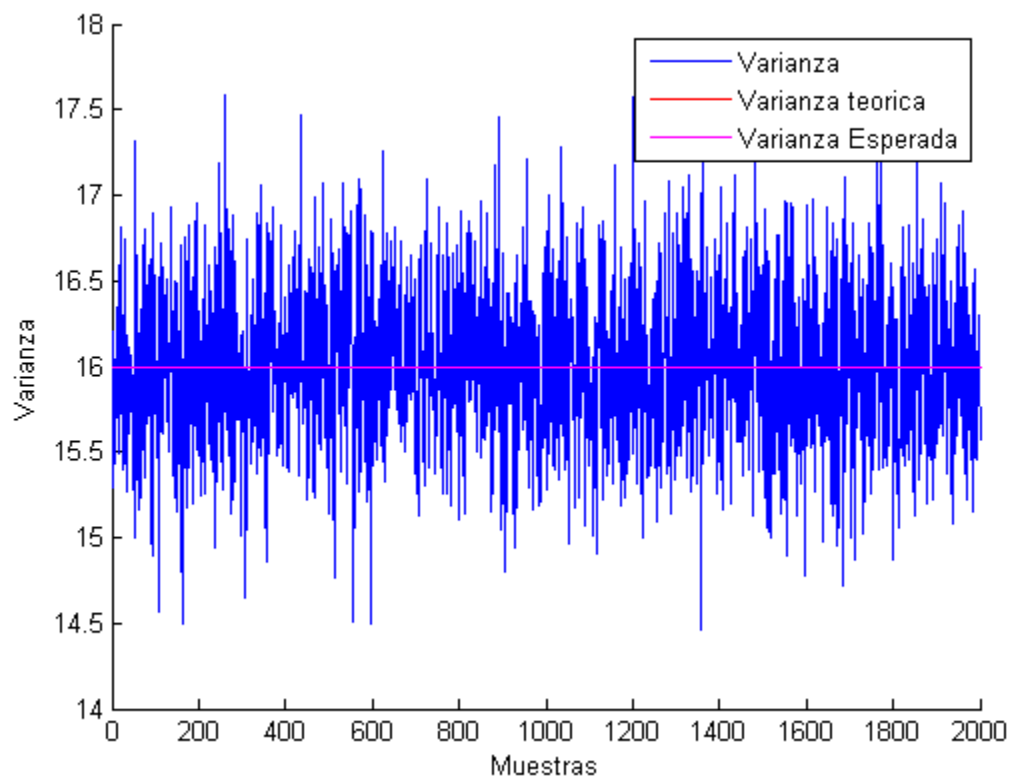


Varianza teórica	16
Varianza esperada	15.9796
Media teórica	4
Media esperada	3.998

Experimentos	Muestras
2000	20000

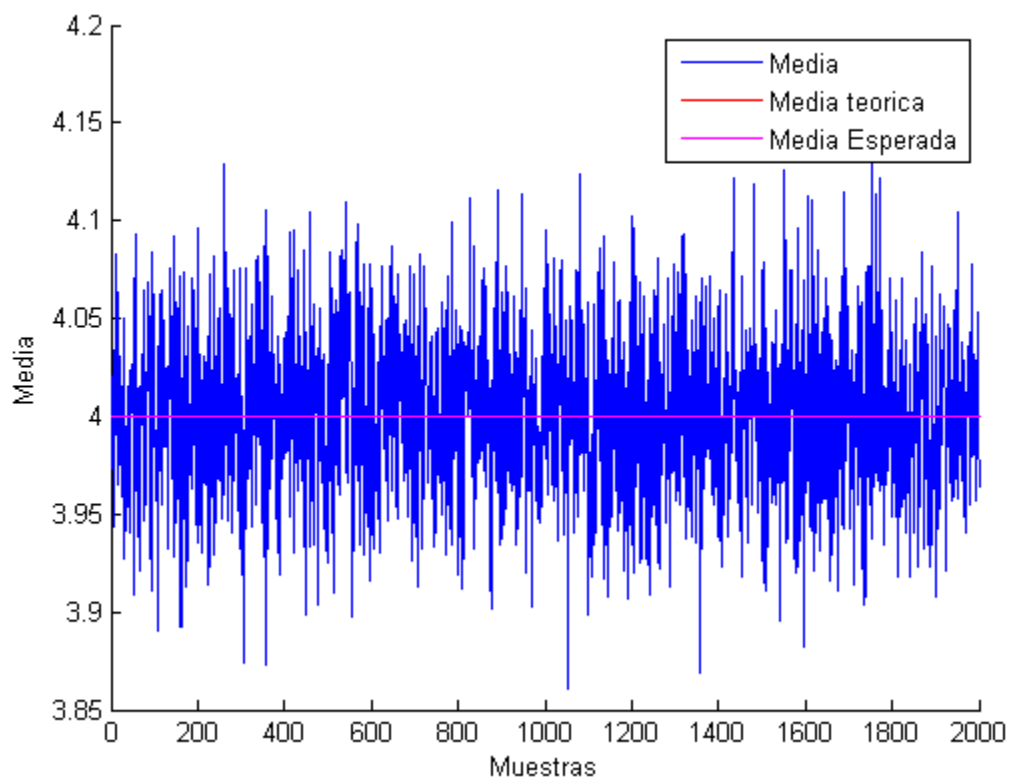
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener σ^4
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En rojo la media teórica σ^2
- En magenta la media esperada (obtenida)

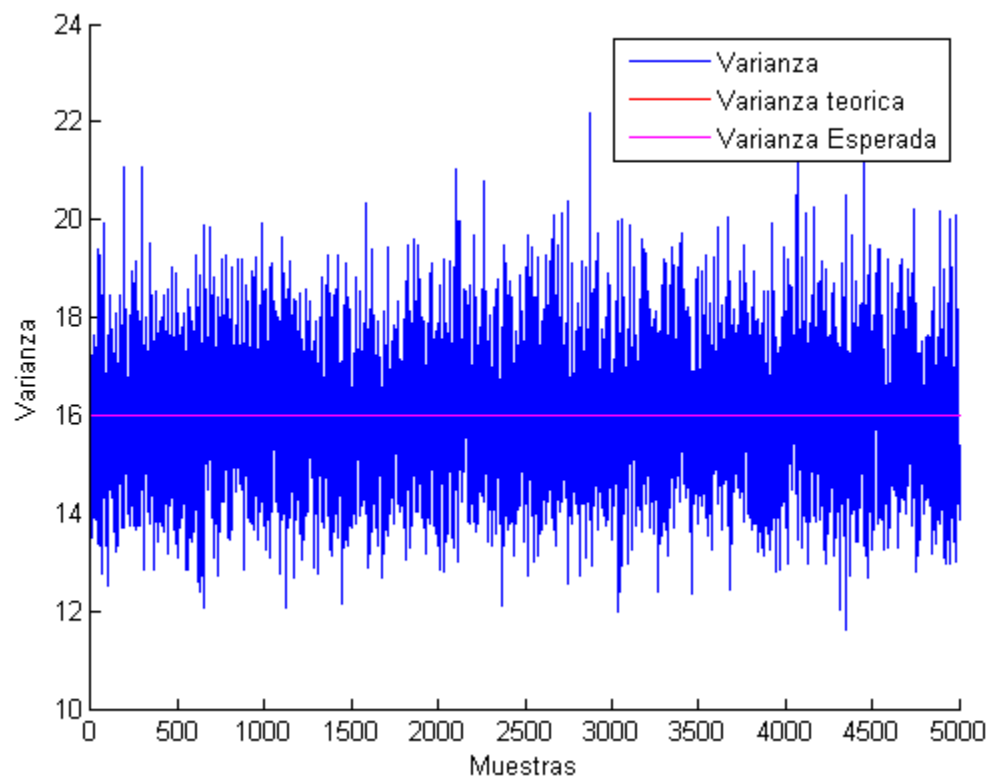


Varianza teórica	16
Varianza esperada	15.9997
Media teórica	4
Media esperada	4.0004

Experimentos	Muestras
5000	2000

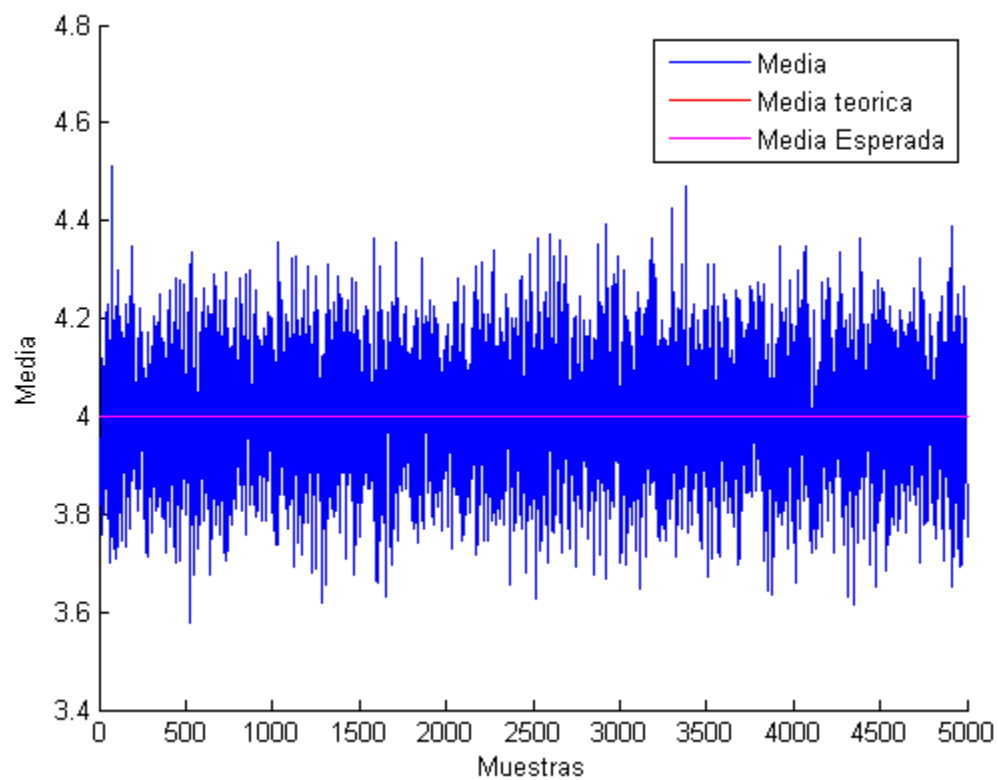
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener σ^4
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En rojo la media teórica σ^2
- En magenta la media esperada (obtenida)

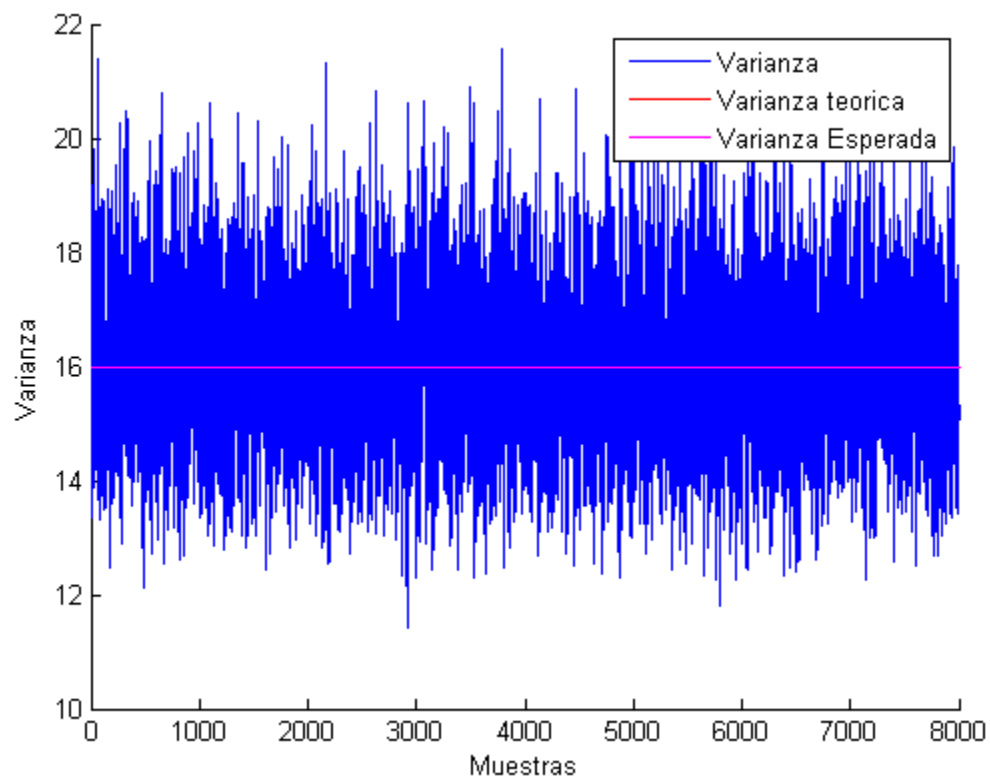


Varianza teórica	16
Varianza esperada	15.9781
Media teórica	4
Media esperada	3.9991

Experimentos	Muestras
8000	2000

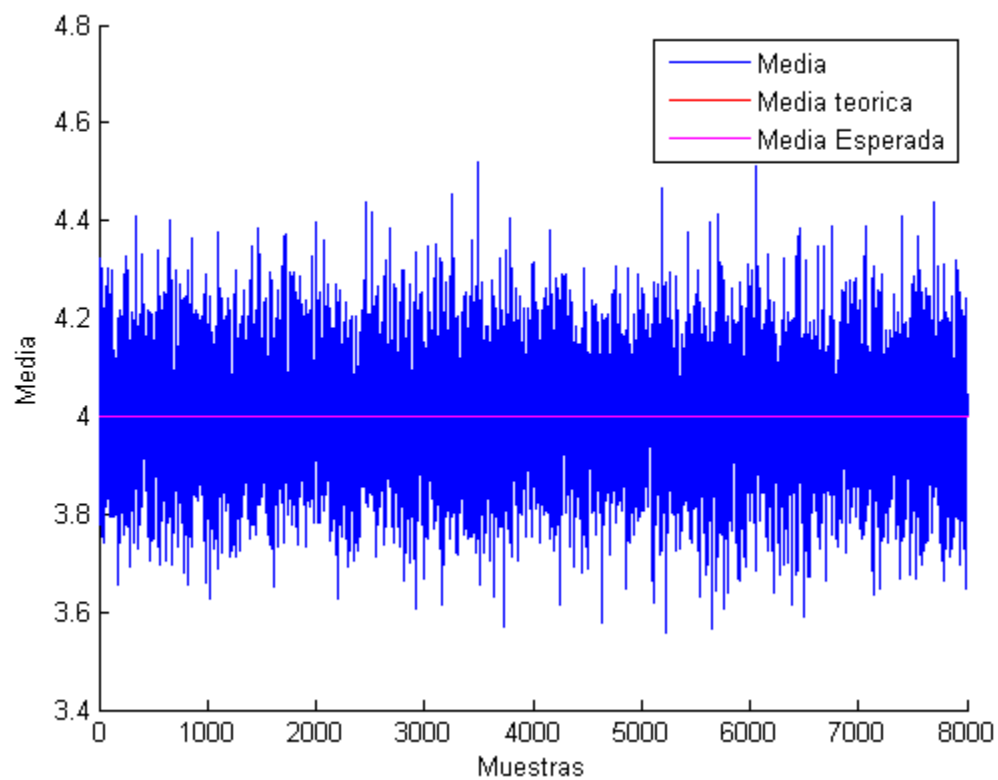
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener σ^4
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En rojo la media teórica σ^2
- En magenta la media esperada (obtenida)



Varianza teórica	16
Varianza esperada	15.9903
Media teórica	4
Media esperada	3.9992

Tabla de resultados finales obtenidos

Experimentos	Muestras	Varianza Teórica	Varianza Esperada	Media Teórica	Media Esperada
500	5000	16	16.0426	4	3.9999
500	10000	16	16.0003	4	3.9996
500	20000	16	15.9796	4	3.998
2000	20000	16	15.9997	4	4.0004
5000	2000	16	15.9781	4	3.9991
8000	2000	16	15.9903	4	3.9992

Nota: Para todos los casos:

- Varianza teórica: Es el valor el cual se debe obtener, según la teoría vista y que se puede encontrar en la bibliografía recomendada.
- Varianza esperada: Es el valor de varianza medio obtenido a partir de la realización de las N experimentaciones.
- Media teórica: Es el valor de media que se debe obtener, según la teoría vista y que se puede encontrar en la bibliografía recomendada.
- Media esperada: Es el valor de la media, medio obtenido a partir de la realización de las N experimentaciones.

Se realizaron seis estudios sobre este estimador de densidad de potencia espectral y se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se concluyó que el periodograma es un estimador de densidad de potencia espectral no sesgado (consistente) asintóticamente a medida que se aumenta la ventana de N muestras. Se partió del supuesto que, al cumplirse la condición planteada, la media esperada debería tender a σ^2 a medida que aumentaba la cantidad de muestras, a través de los experimentos realizados y que se resumen en la tabla mostrada anteriormente. De la tabla se puede observar que a medida que N aumenta, el valor medio esperado se aproxima más al valor medio teórico esperado, en este caso al tomar σ^2 , el valor de media esperado debe aproximarse a 4, condición que se cumple y por lo que se demuestra la condición planteada.
- Se concluyó que el periodograma, estimador de densidad de potencia espectral, tiene varianza constante y no depende de la cantidad de muestras " N ". A través de los experimentos realizados se validó lo pronosticado, se aumentaron la cantidad de muestras y realizaciones y vimos que se mantuvo casi constante la varianza obtenida. Además, como conclusión adicional observamos no solo que la varianza del periodograma es constante si no que además, cuando N tiende a infinito la misma no es igual a cero sino que es aproximadamente σ^4 .

Ejercicio 1 - Código: Función Periodograma ploteo

```
% \fn [fx] = periodograma_ploteo(Experimentos, Muestras, fx)
% \brief Función de banco de pruebas para ejercicio 1 - Función Periodograma.
% \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandoepose@gmail.com)
% \date 2015.10.23
%**

function [fx] = periodograma_ploteo(Experimentos, Muestras,fx)

% Parámetros del ruido

Media = 0;
Desvio = 2;

% Generación de Ruido Blanco

%RuidoBlanco = random('normal',Media,Desvio,Experimentos,Muestras);

RuidoBlanco = Desvio * randn(Muestras, Experimentos);

Periodograma = zeros(Muestras,Experimentos);

% Realizo la funcion periodograma sobre mis 500 experimentos.

for cont = 1:Experimentos

    Periodograma(:,cont) = get_periodograma(RuidoBlanco(:,cont));
    media(cont) = mean(Periodograma(:,cont));
    varianza(cont) = var(Periodograma(:,cont));

end

% Calculo y grafico la varianza.

figure(fx); set(gcf,'Name','Ejercicio 1');
ylabel('Varianza'); xlabel('Muestras'); hold on;
plot(varianza);

% Varianza teorica a obtener: Sigma^4

varianza_teorica_esperada = refline([0 Desvio^4]);
set(varianza_teorica_esperada,'color','r');

% Varianza experimental obtenida

Resultado = mean(varianza);
varianza_obtenida = refline([0 Resultado]);
```

```

set(varianza_obtenida, 'color','m');
legend('Varianza','Varianza teorica','Varianza Esperada');
hold off;

% Valores de varianza teorica y experimental:

disp('Varianza teorica : '),disp(num2str(Desvio^4));
disp('Varianza esperada: '),disp(num2str(Resultado));

fx = fx + 1;

% Calculo y grafico la media.

figure(fx); set(gcf,'Name','Ejercicio 1');
ylabel('Media'); xlabel('Muestras'); hold on;
plot(media);

% Media teorica a obtener: Sigma^2

media_teorica_esperada = reffline([0 Desvio^2]);
set(media_teorica_esperada,'color','r');

% Media experimental obtenida

Resultado = mean(media);
media_obtenida = reffline([0 Resultado]);
set(media_obtenida, 'color','m');
legend('Media','Media teorica','Media Esperada');
hold off;

% Valores de esperanza teorica y experimental:

disp('Media teorica : '),disp(num2str(Desvio^2));
disp('Media esperada: '),disp(num2str(Resultado));

fx = fx + 1;

```

end

Ejercicio 1 – Código: Función Periodograma

```
%      \fn [output] = get_periodograma(input, inicio, fin)
%      \brief Calcula con periodograma la DEP del vector input
%      \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandoepose@gmail.com)
%      \date 2015.10.23
%**

function [output] = get_periodograma(input, inicio, fin)

    input = input'; %traspongo la matriz

    if nargin == 1
        inicio = 1;
        fin = length(input);
    end;

    output = abs(fft(input(inicio:fin))).^2/(fin-inicio+1);
    output(1) = output(2);
end
```

Para más información acerca de éste algoritmo remitirse a: Statical digital signal processing and modeling – Autor: Monson H. Hayes.

Enunciado – Ejercicio 2

Compruebe del mismo modo los estimadores del método de Bartlett y Welch.

Para realizar el estudio se eligió nuevamente un desvío estándar de 2 motivo por el cual se tiene:

Desvío estándar (σ)	2
Varianza (σ^2)	4

Finalmente, nuevamente se utilizó ruido normalmente distribuido de varianza: $\sigma^2 = 4$

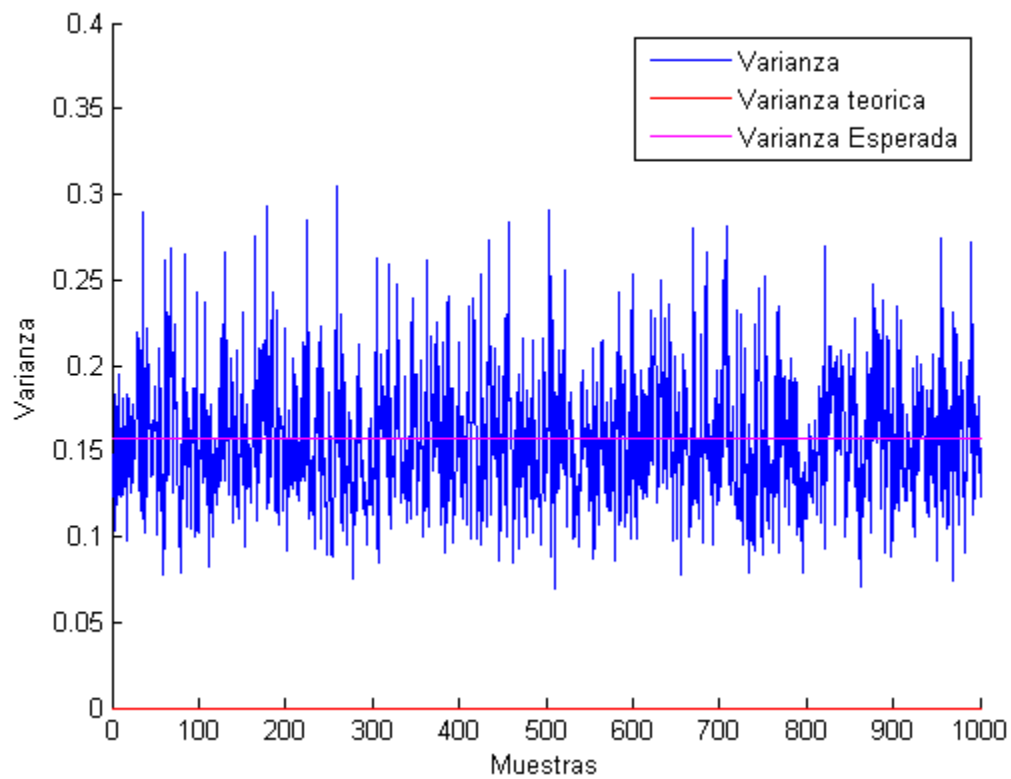
A continuación se exponen los experimentos realizados, con sus respectivas características. Luego se exponen las conclusiones obtenidas.

Ejercicio 2 – Método Bartlett

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
1000	250	10

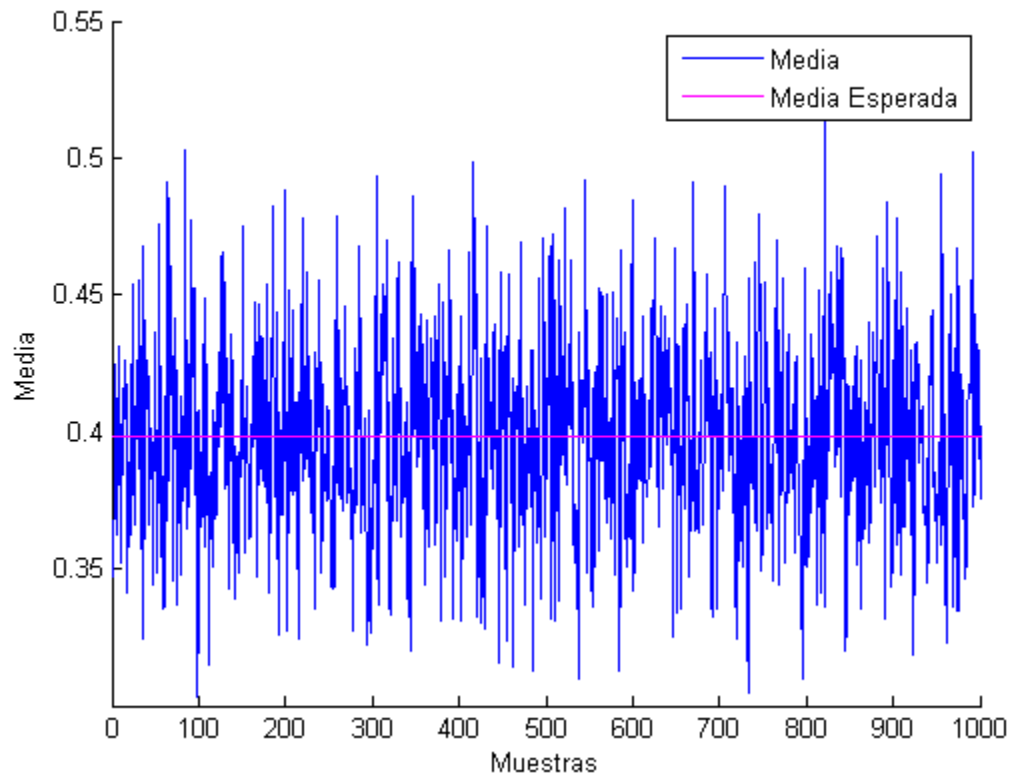
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

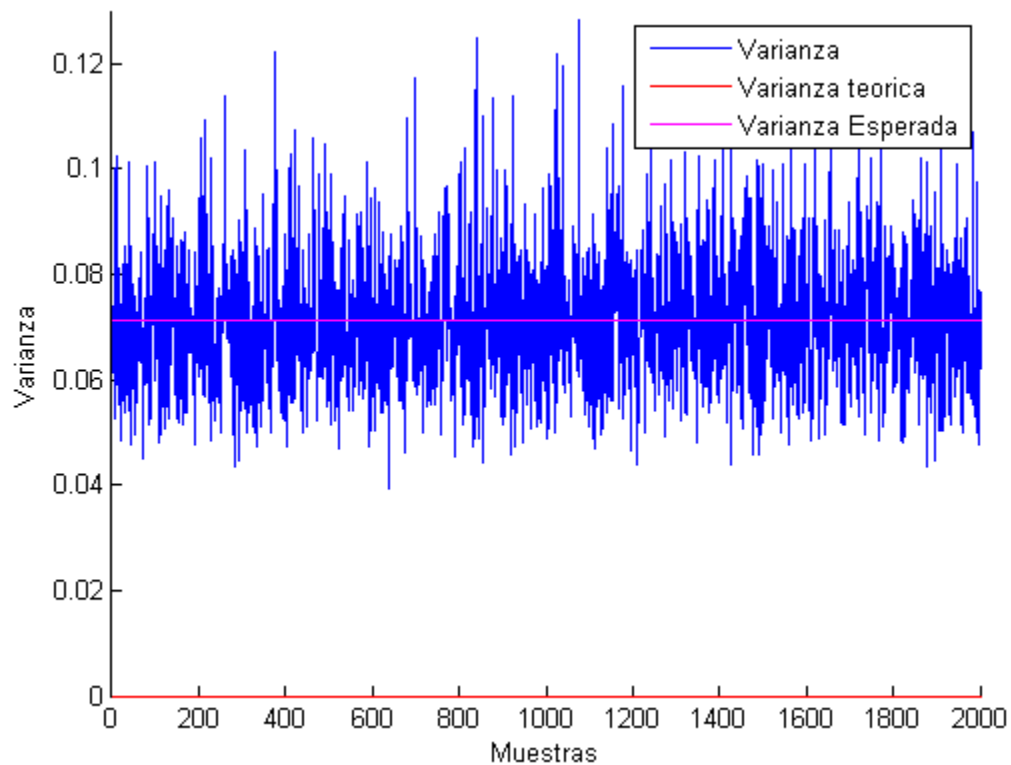


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.15722
Media esperada	0.39853

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
2000	500	15

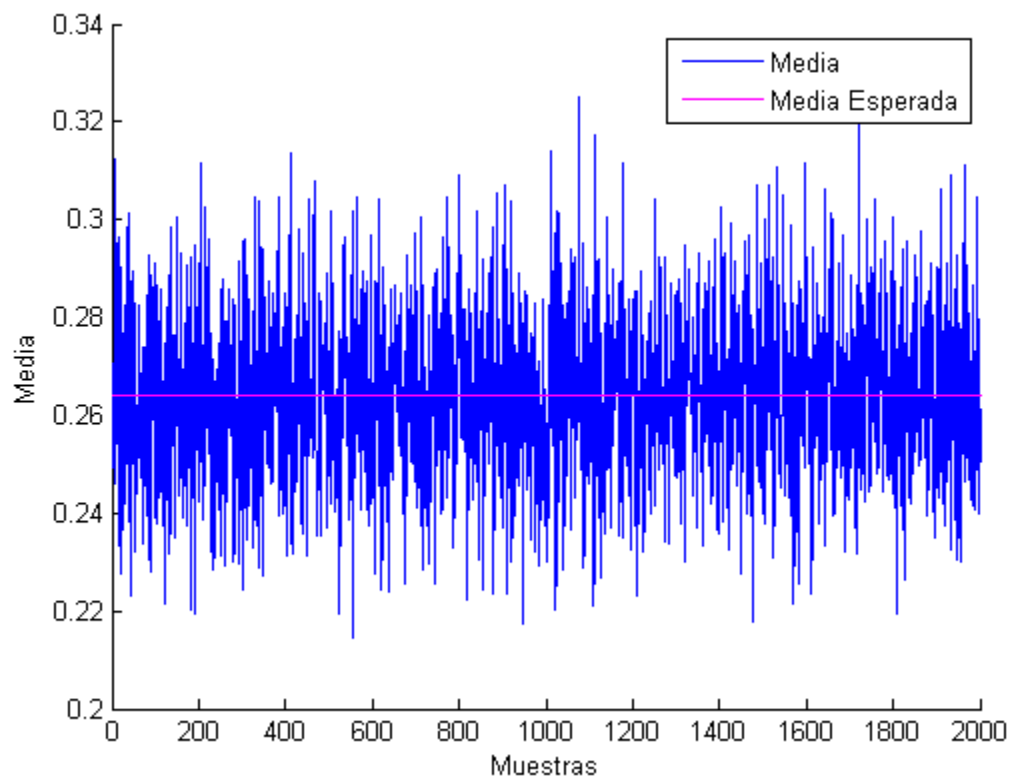
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

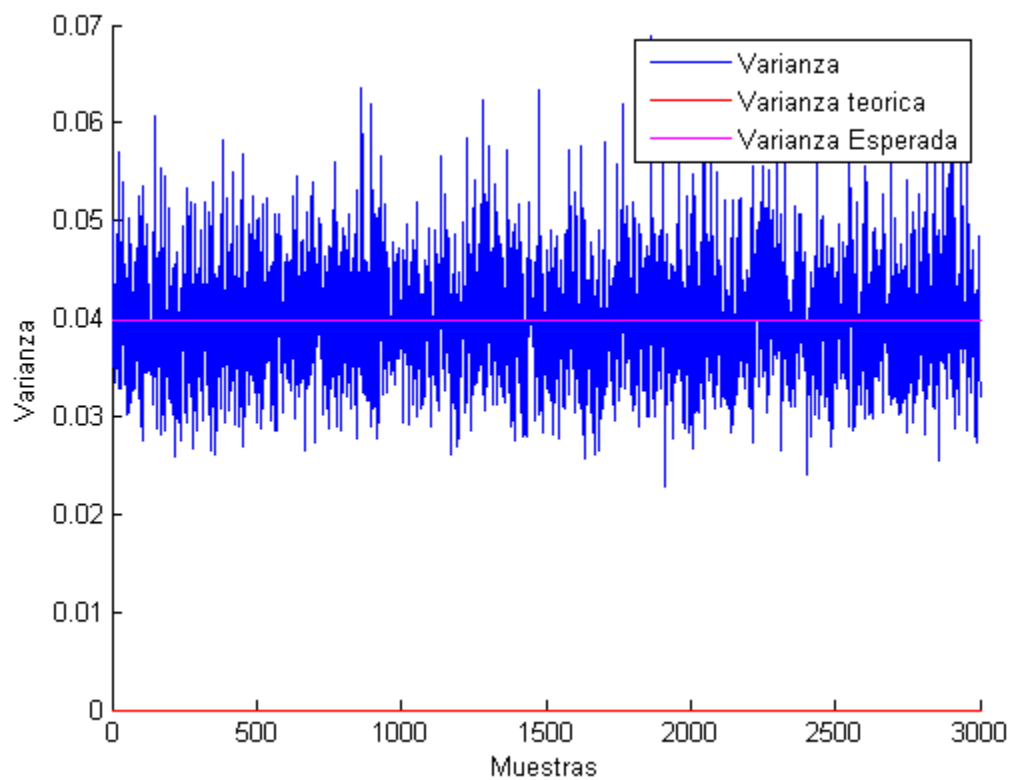


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.071092
Media esperada	0.2639

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
3000	750	20

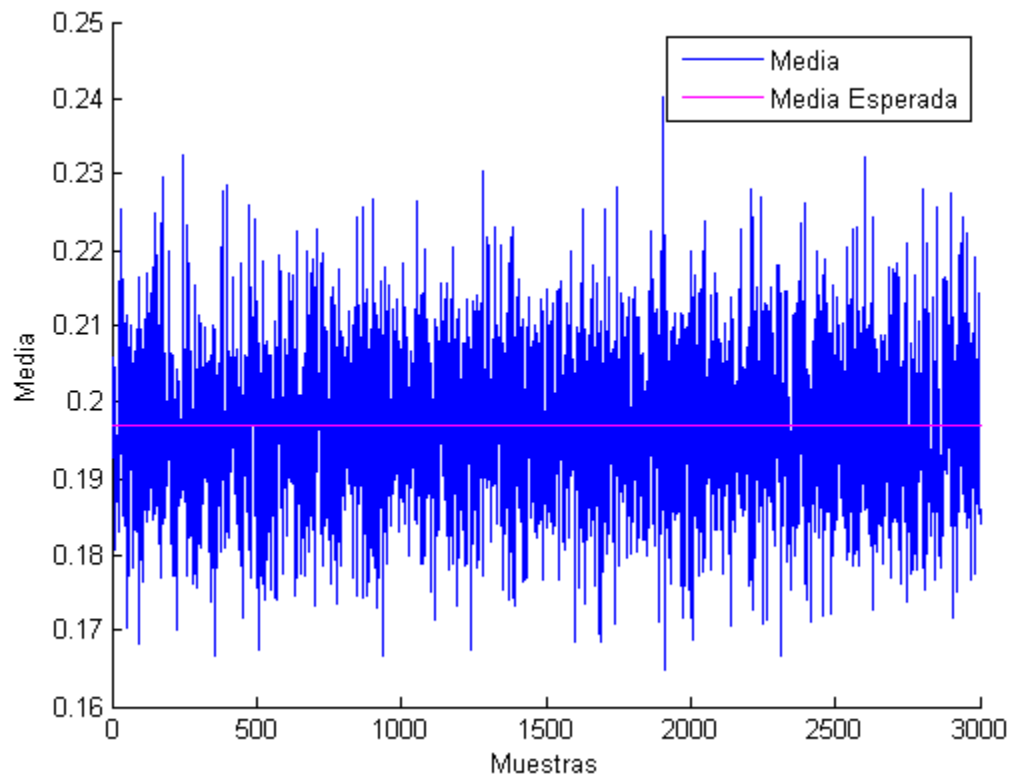
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En **azul** la media.
- En **magenta** la media esperada (obtenida)

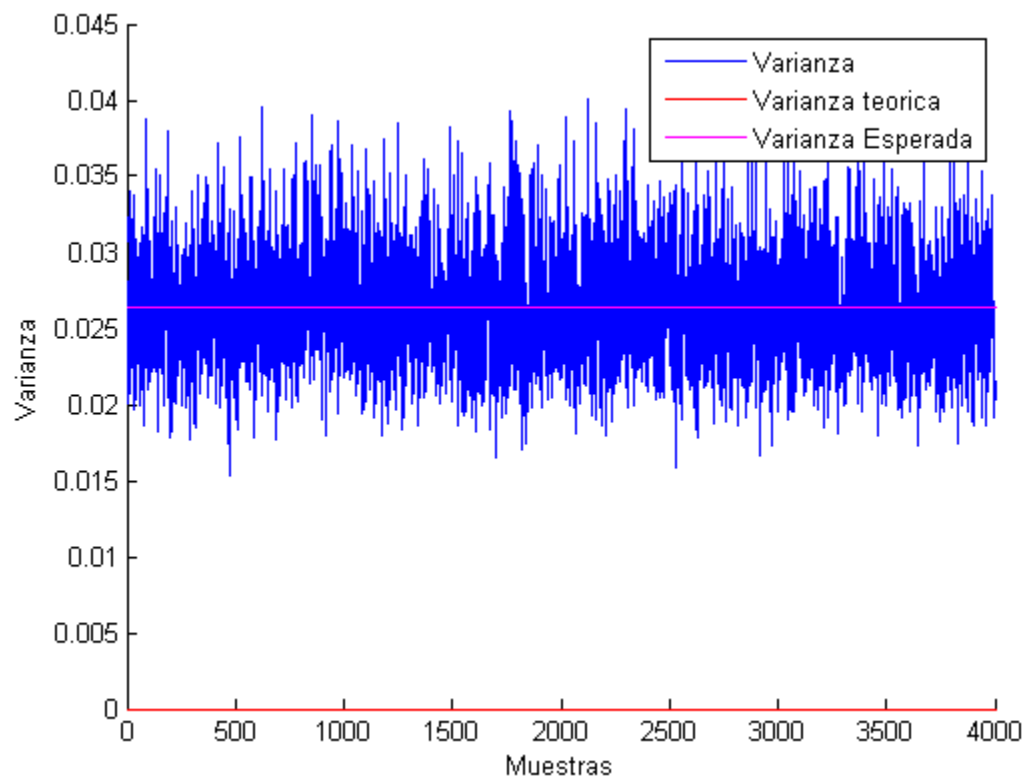


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.039845
Media esperada	0.19708

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
4000	800	25

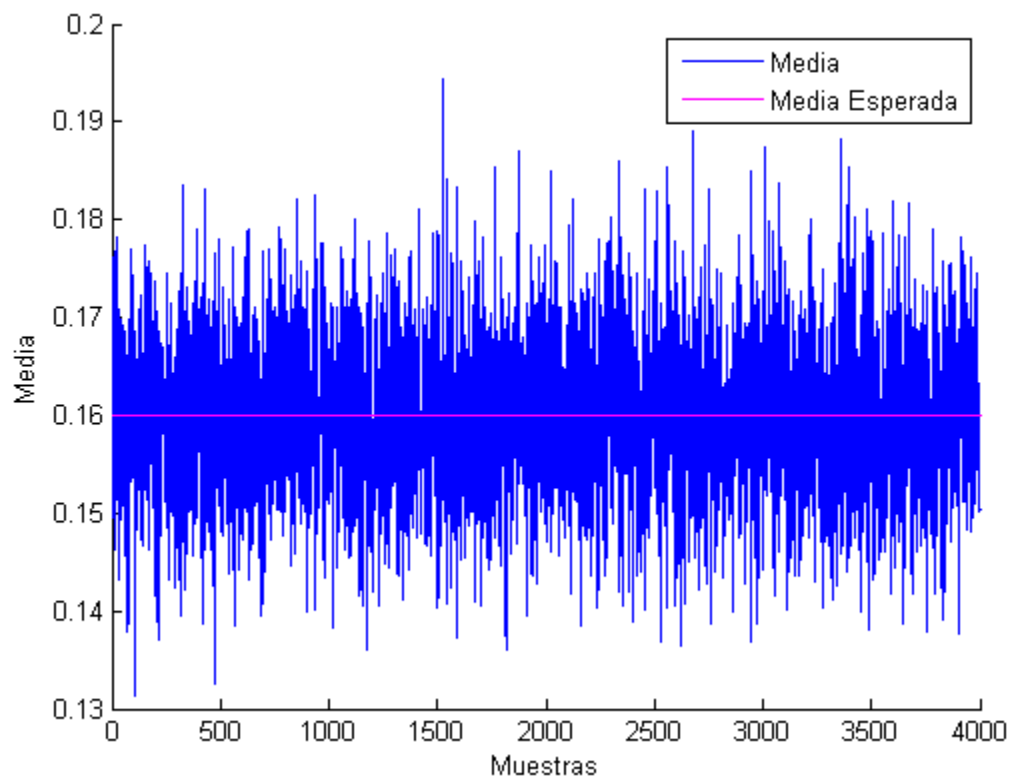
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

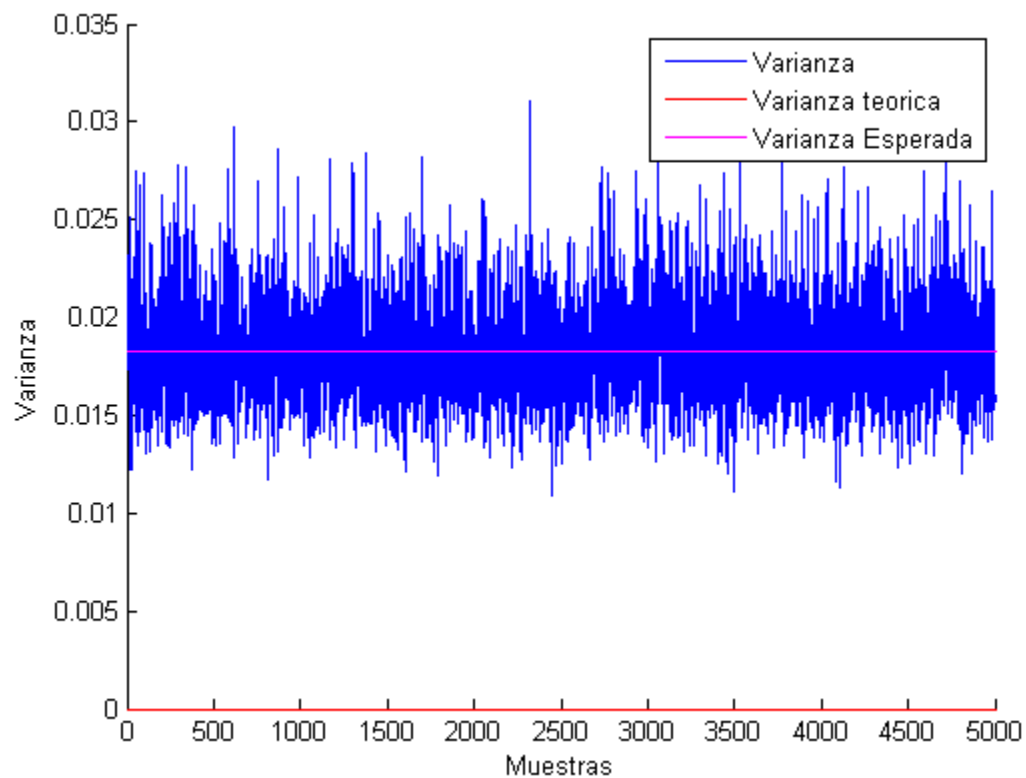


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.026342
Media esperada	0.15997

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
5000	850	30

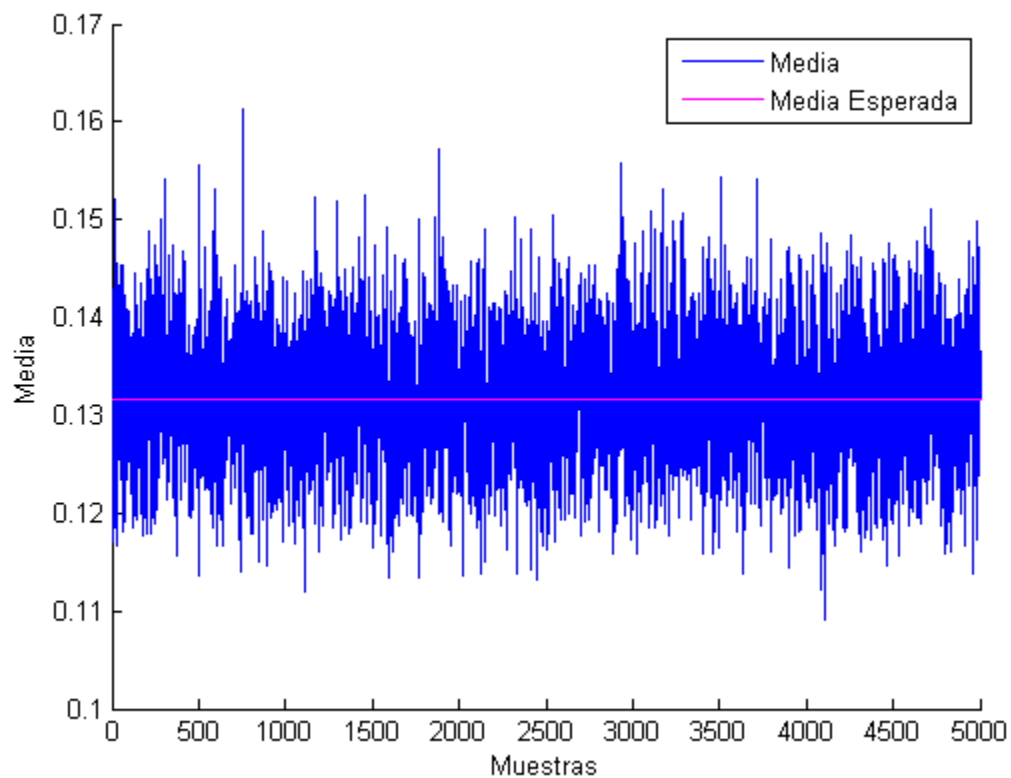
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

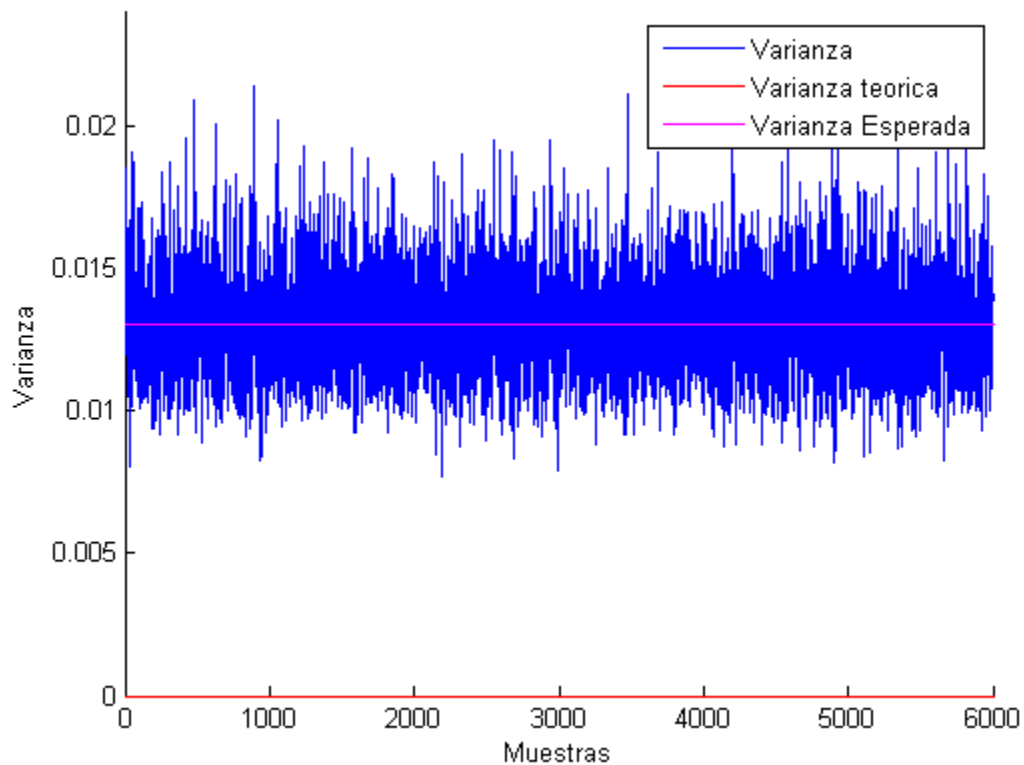


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.018306
Media esperada	0.1316

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
6000	900	35

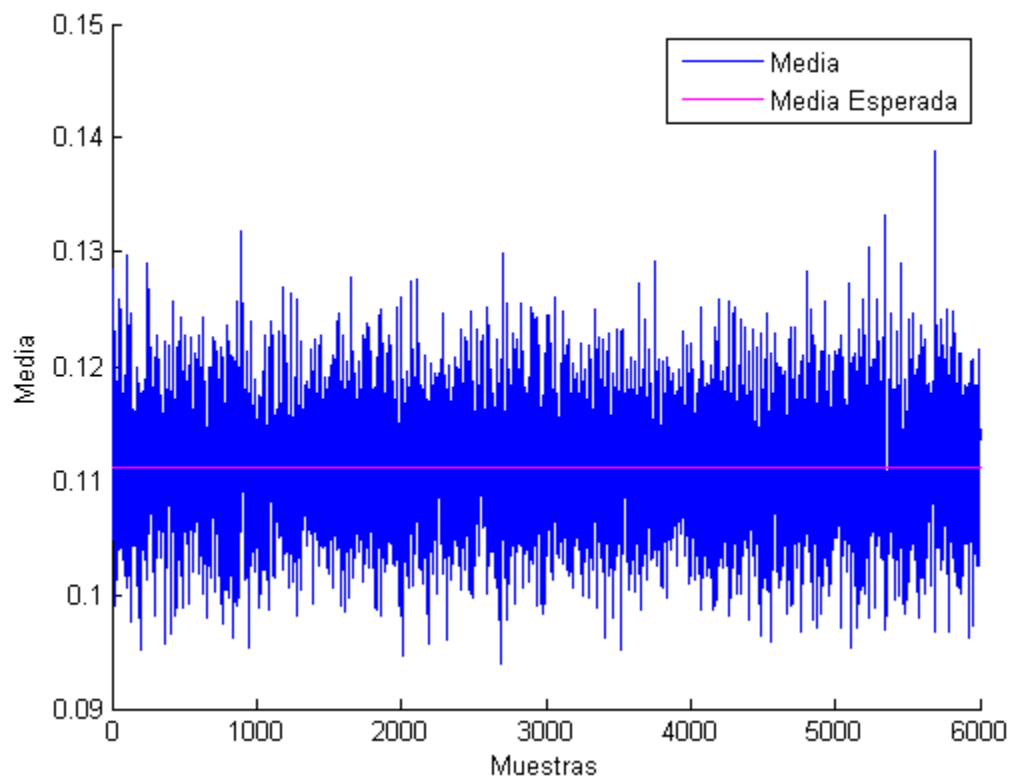
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

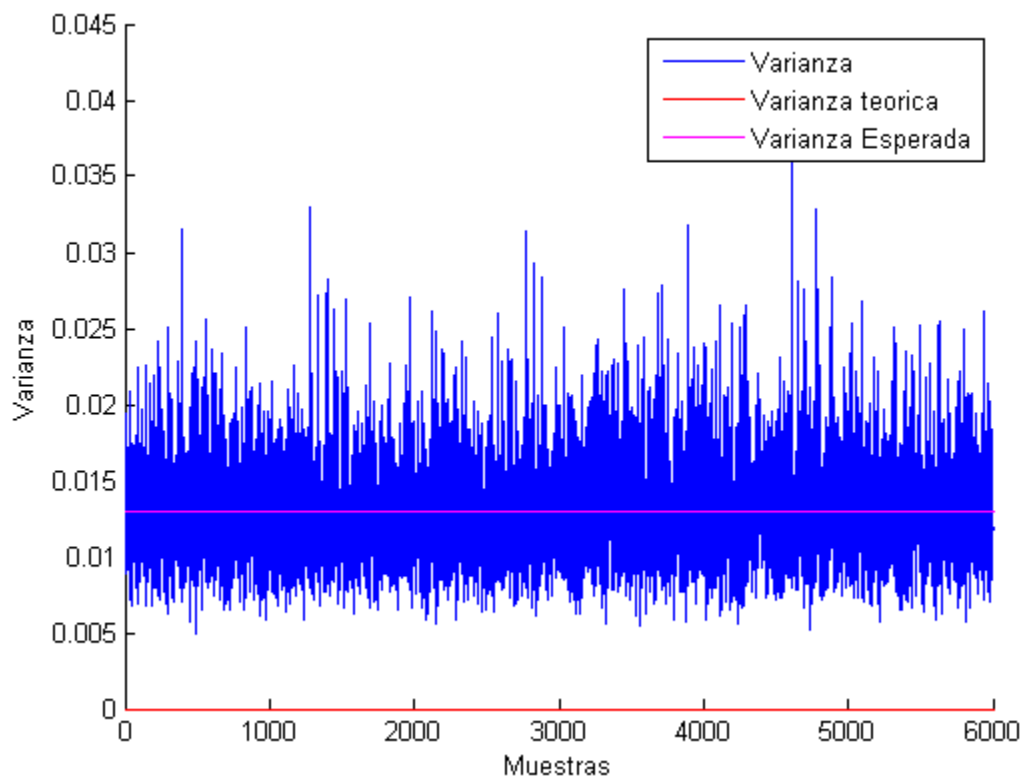


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.013031
Media esperada	0.11107

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
6000	250	35

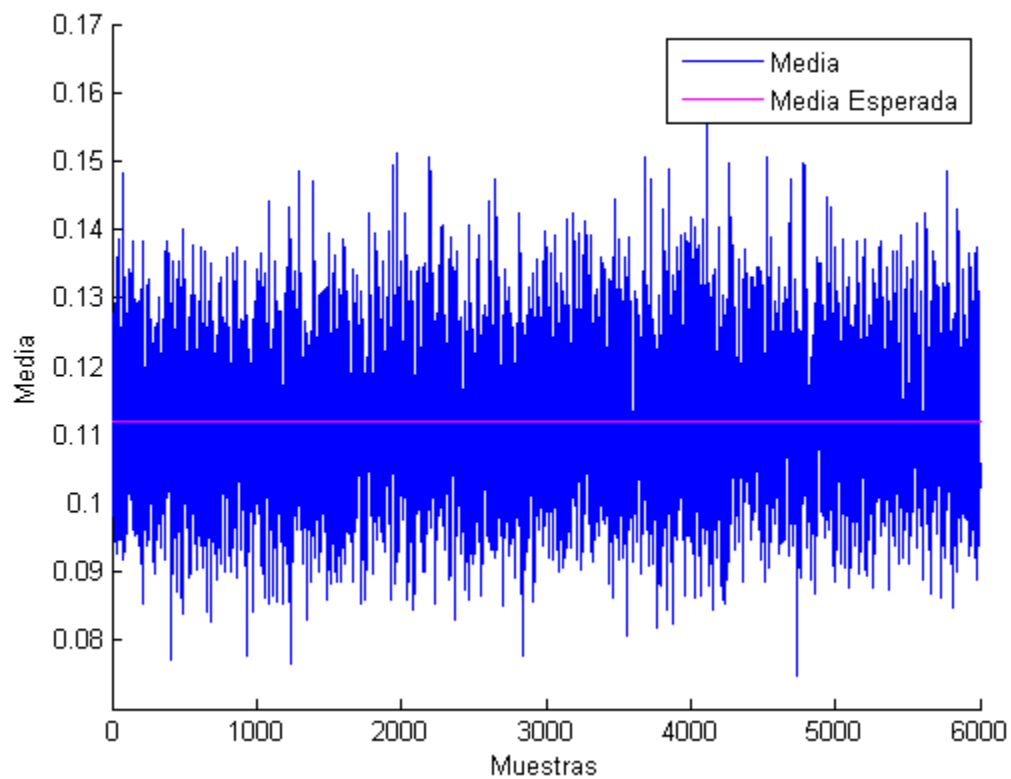
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

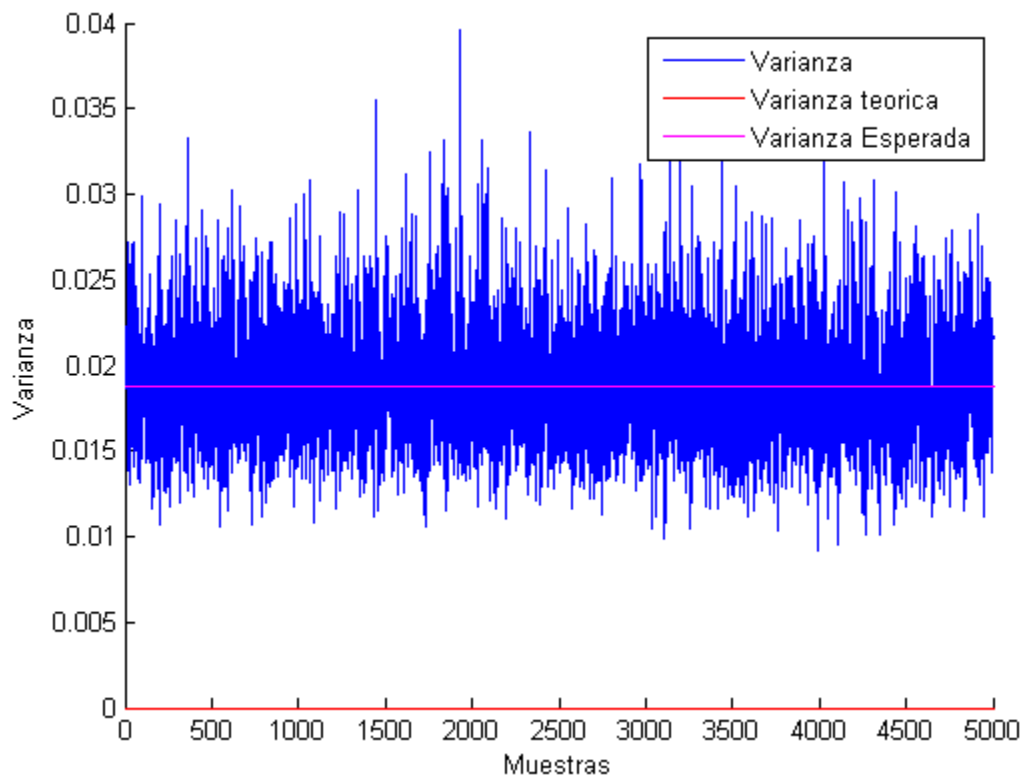


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.012968
Media esperada	0.11188

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
5000	500	30

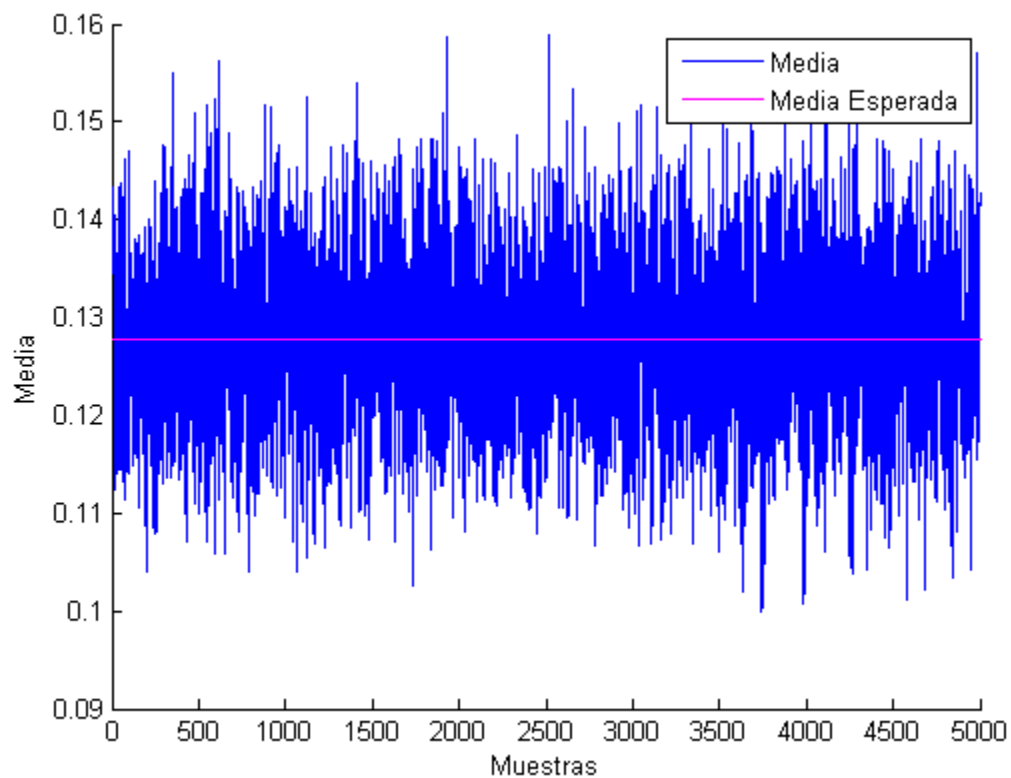
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

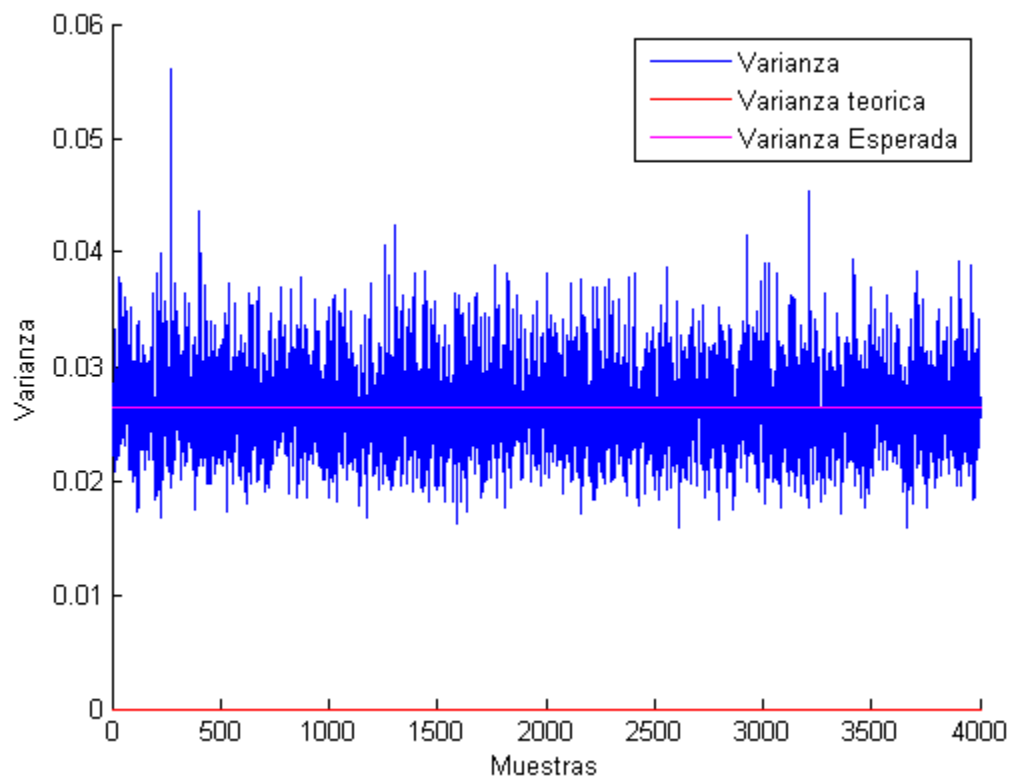


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.01878
Media esperada	0.12782

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
4000	750	25

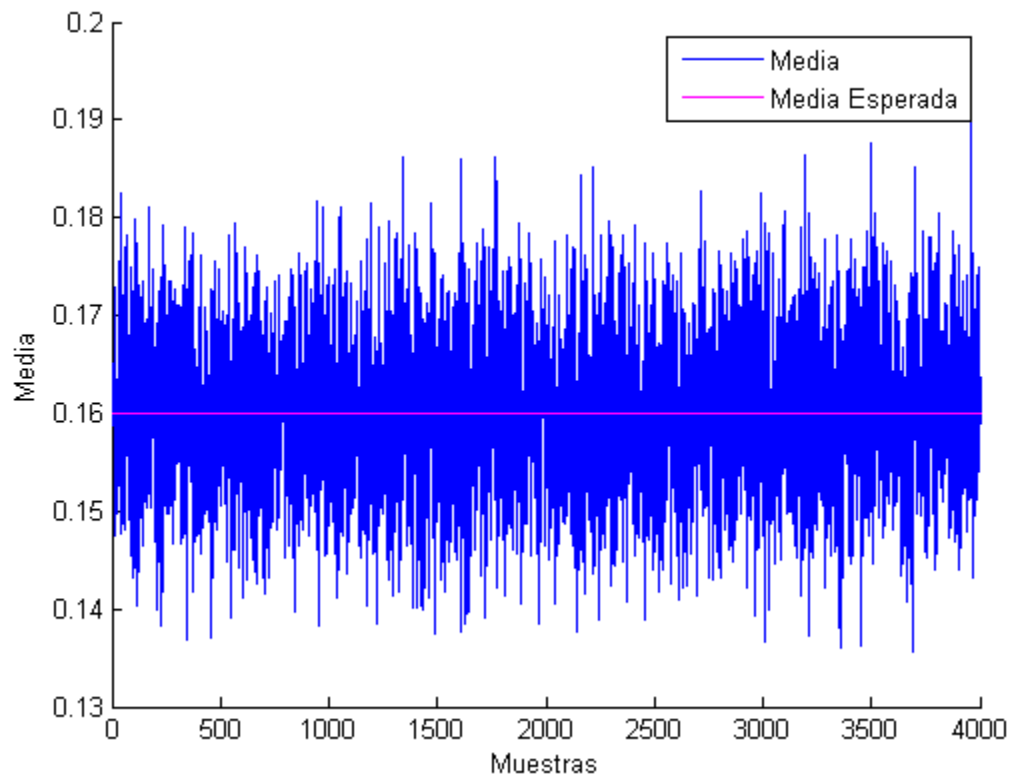
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

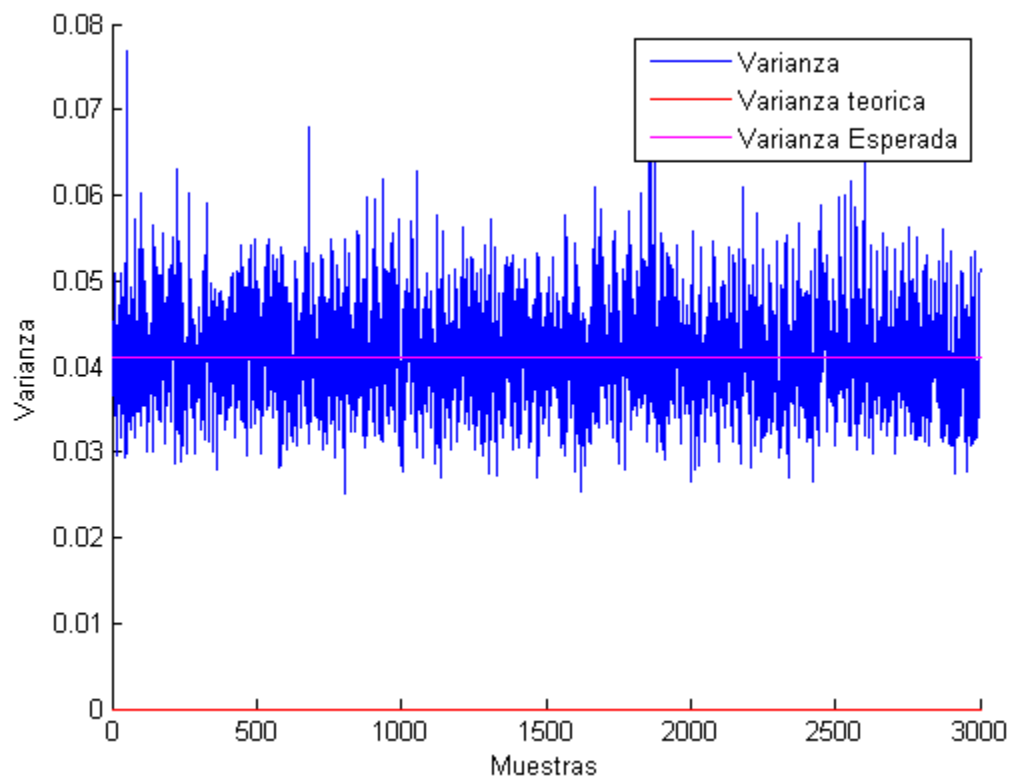


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.026388
Media esperada	0.16

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
3000	800	20

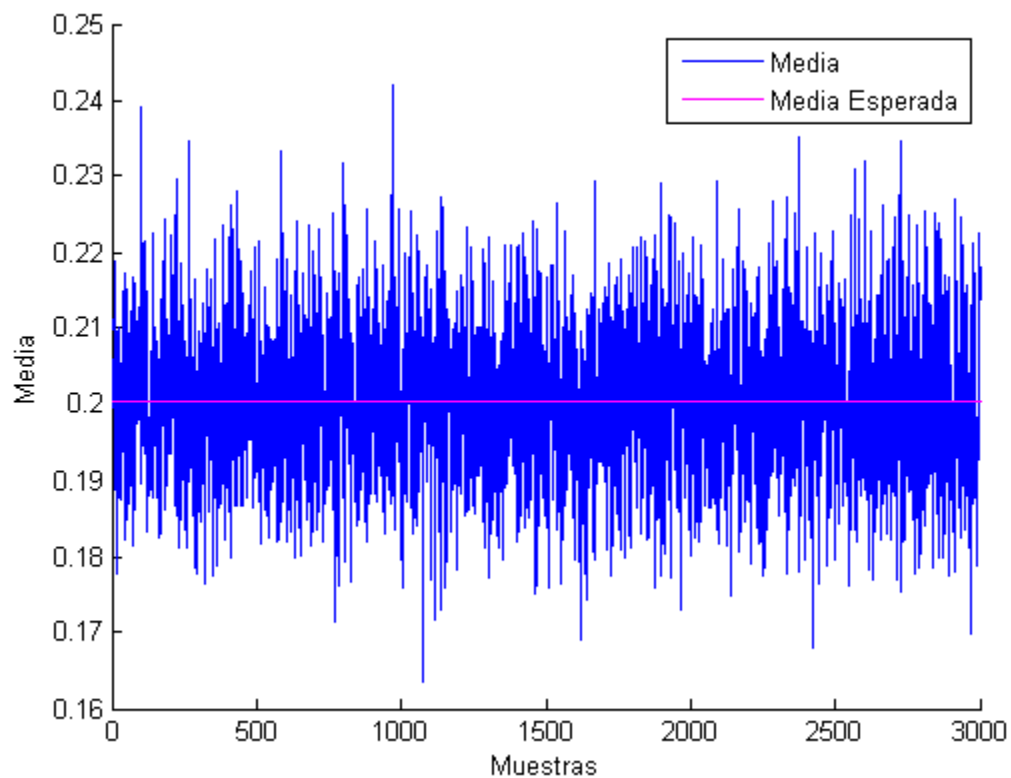
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

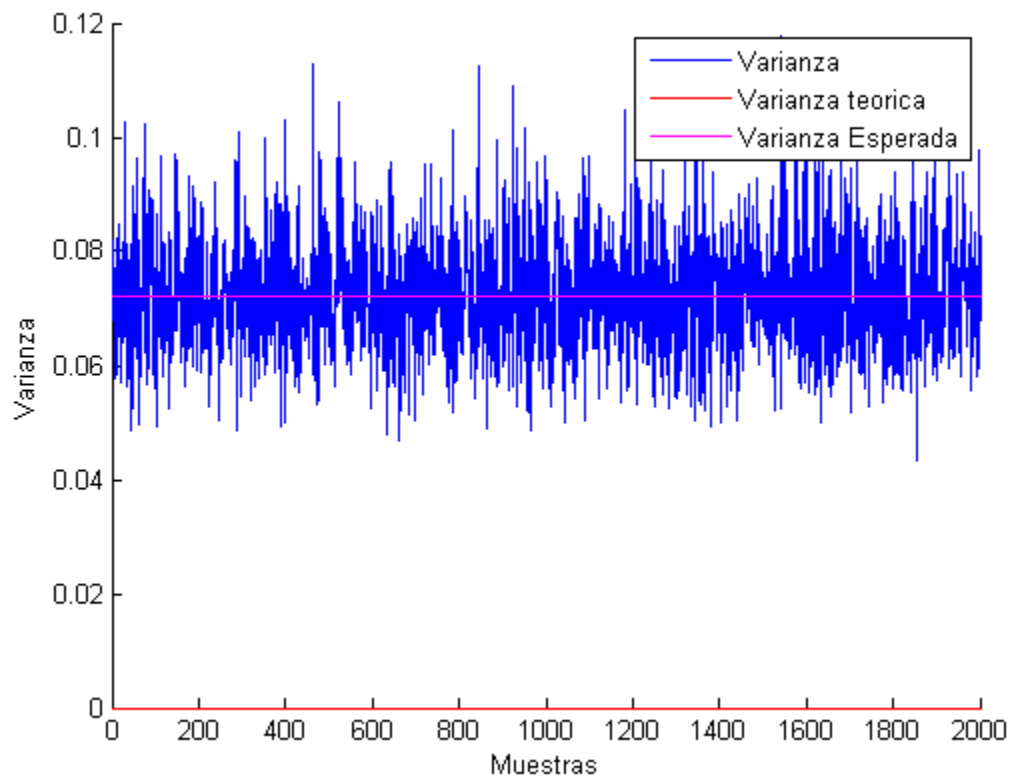


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.04109
Media esperada	0.20038

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
2000	850	15

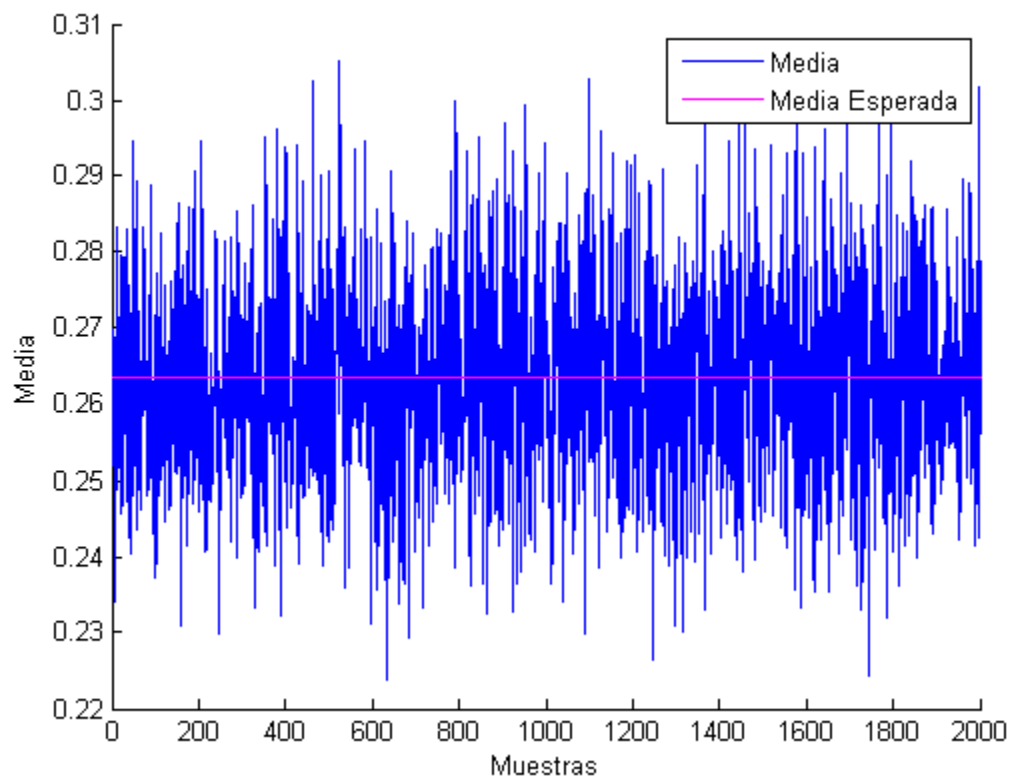
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

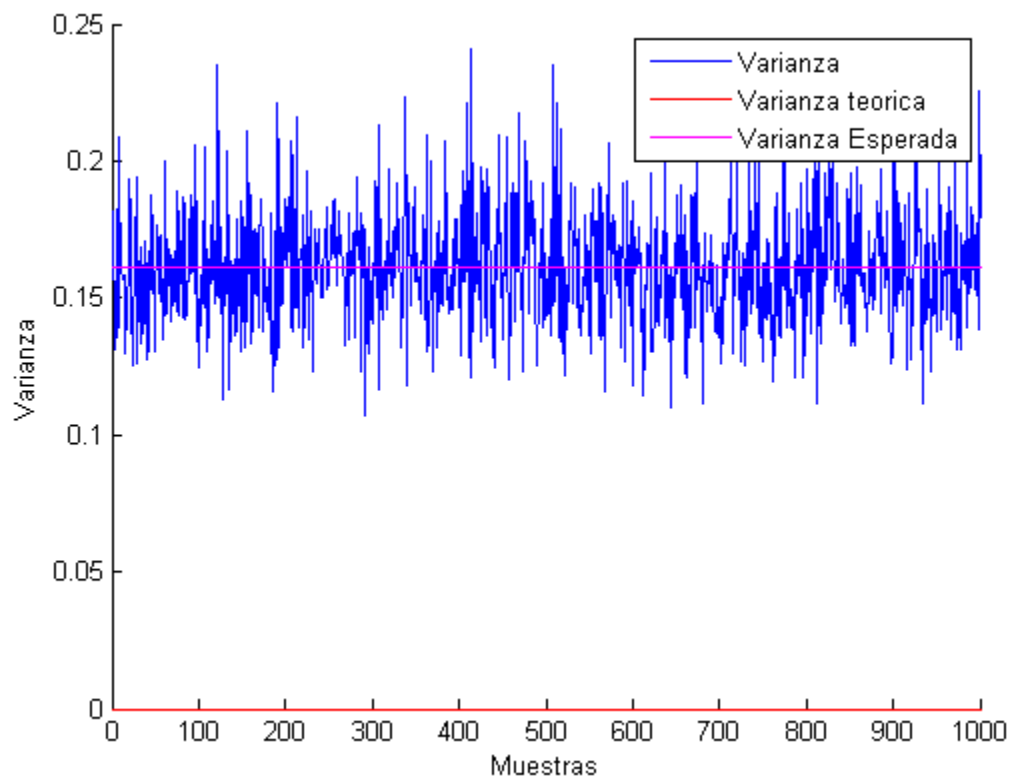


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.072245
Media esperada	0.26347

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores
1000	900	10

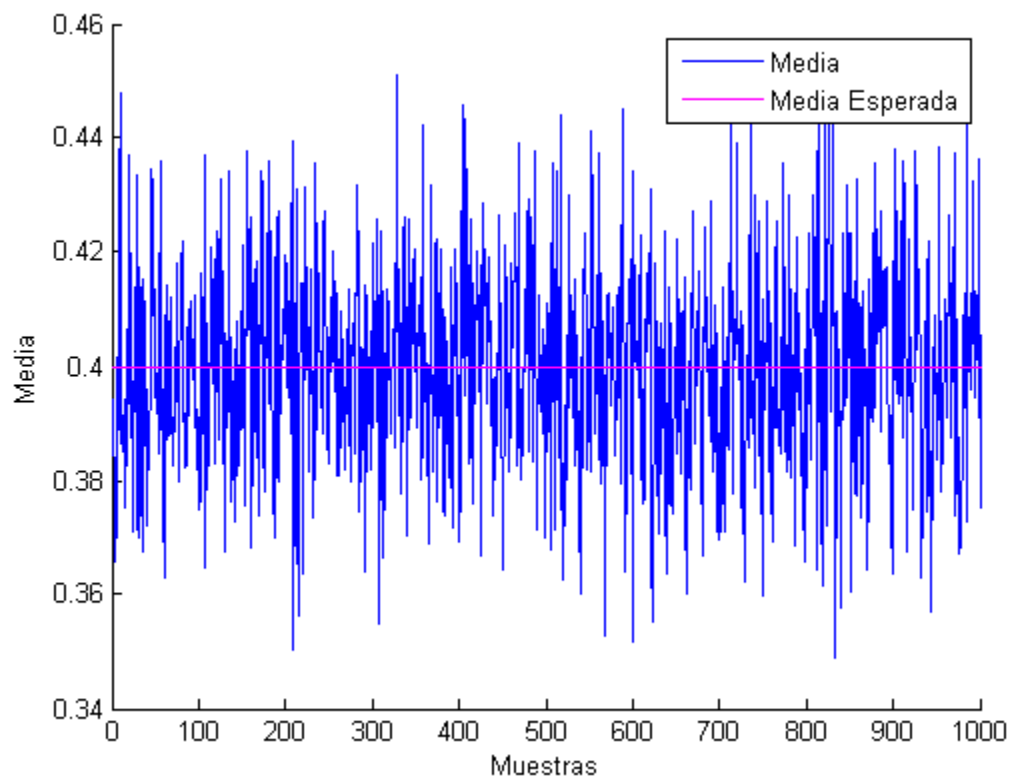
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)



Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.16104
Media esperada	0.39978

Tabla de resultados finales obtenidos

Experimentos	Muestras	Cantidad de Sectores	Varianza Teórica	Varianza Esperada	Media Esperada
1000	250	10	0	0.15722	0.39853
2000	500	15	0	0.071092	0.2639
3000	750	20	0	0.039845	0.19708
4000	800	25	0	0.026342	0.15997
5000	850	30	0	0.018306	0.1316
6000	900	35	0	0.013031	0.11107
6000	250	35	0	0.012968	0.11188
5000	500	40	0	0.01878	0.12782
4000	750	25	0	0.026388	0.16
3000	800	20	0	0.04109	0.20038
2000	850	15	0	0.072245	0.26347
1000	900	10	0	0.16104	0.39978

Nota: Para todos los casos:

- Varianza teórica: Es el valor el cual se debe obtener, según la teoría vista y que se puede encontrar en la bibliografía recomendada.
- Varianza esperada: Es el valor de varianza medio obtenido a partir de la realización de las N experimentaciones.
- Media esperada: Es el valor de la media, medio obtenido a partir de la realización de las N experimentaciones.

Se realizaron doce estudios sobre sobre este estimador de densidad de potencia espectral variando la cantidad de muestras, experimentos y cantidad de sectores dando origen a las siguientes conclusiones:

- Se concluyó que el método de Bartlett, es un estimador de densidad de potencia espectral, en el cual su varianza depende de la cantidad de muestras “N”. A través de los experimentos realizados se validó lo pronosticado, se aumentaron la cantidad de muestras y realizaciones cambiando además un tercer parámetro, el número de sectores y vimos que la varianza de éste método cuando N tiende a infinito la misma se aproxima a cero.
- Además se valida que para una longitud constante de muestras “N” más bloques se tienen entonces de menor muestra serán los mismos lo que significa que la resolución empobrecerá. Existe un compromiso entre la varianza y la resolución espectral.

Por lo dicho se concluye finalmente, en que el estimador de Bartlett al disminuir la varianza respecto del periodograma lo hace ser un mejor estimador, siempre que se tenga en cuenta el compromiso existente entre la varianza y la resolución.

Ejercicio 2 - Código: Función Bartlett ploteo

```
% \fn [fx] = bartlett_ploteo(Experimentos, Muestras, nsector,fx)
% \brief Función de banco de pruebas para ejercicio 2 - Función bartlett.
% \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandopose@gmail.com)
% \date 2015.10.23
%**

function [fx] = bartlett_ploteo(Experimentos, Muestras,nsector, fx)

% Parámetros del ruido

Media = 0;
Desvio = 2;

% Generación de Ruido Blanco

RuidoBlanco = random('normal',Media,Desvio,Experimentos,Muestras);

RuidoBlanco = Desvio * randn(Experimentos, Muestras);

bartlett = zeros(Experimentos, Muestras);

% Realizo la funcion bartlett sobre mis 500 experimentos.

for cont = 1:Experimentos

    bartlett(cont,:) = get_bartlett(RuidoBlanco(cont,:), nsector);
    media(cont) = mean(bartlett(cont,:));
    varianza(cont) = var(bartlett(cont,:));

end

% Calculo y grafico la varianza.

figure(fx); set(gcf,'Name','Ejercicio 2');
ylabel('Varianza'); xlabel('Muestras'); hold on;
plot(varianza);

% Varianza teorica a obtener: 0

varianza_teorica_esperada = reffline([0 0]);
set(varianza_teorica_esperada,'color','r');

% Varianza experimental obtenida

Resultado = mean(varianza);
varianza_obtenida = reffline([0 Resultado]);
set(varianza_obtenida, 'color','m');
```

```
legend('Varianza','Varianza teorica','Varianza Esperada');  
hold off;
```

```
% Valores de varianza teorica y experimental:
```

```
disp('varianza teorica : '),disp(num2str(0));  
disp('varianza esperada: '),disp(num2str(Resultado));
```

```
fx = fx + 1;
```

```
% Calculo y grafico la media.
```

```
figure(fx); set(gcf,'Name','Ejercicio 2');  
ylabel('Media'); xlabel('Muestras'); hold on;  
plot(media);
```

```
% Media experimental obtenida
```

```
Resultado = mean(media);  
media_obtenida = reffline([0 Resultado]);  
set(media_obtenida, 'color','m');  
legend('Media','Media Esperada');  
hold off;
```

```
% Valor de esperanza experimental:
```

```
disp('Media esperada: '),disp(num2str(Resultado));
```

```
fx = fx + 1;
```

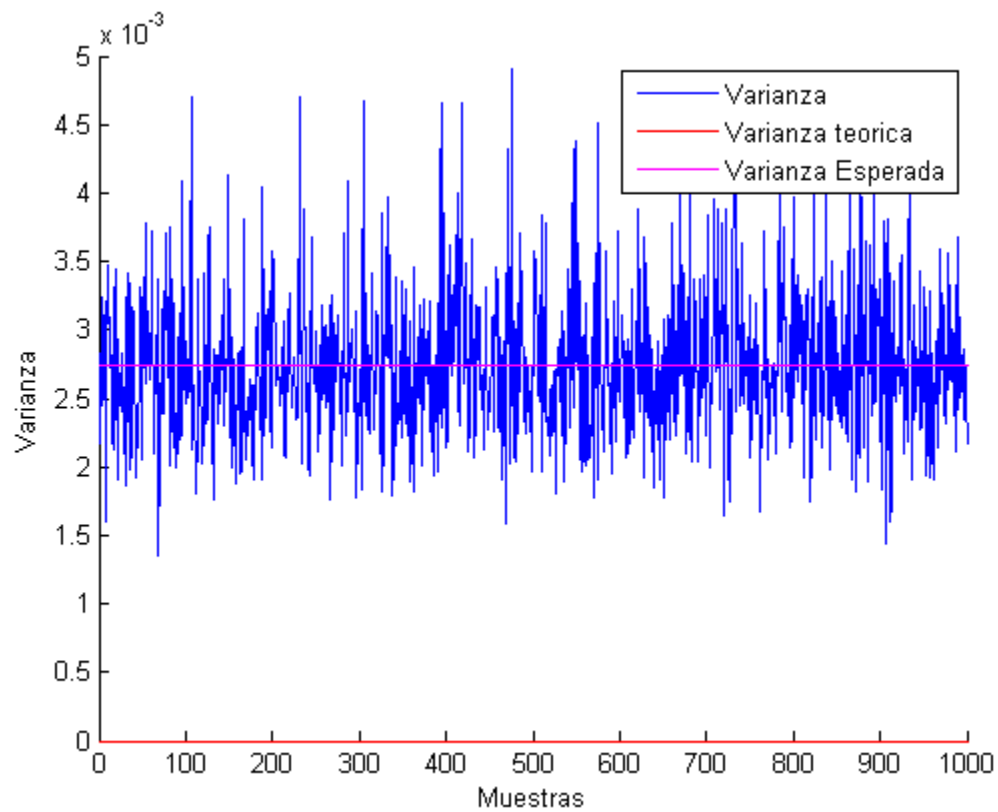
```
end
```


Ejercicio 2 – Método Welch

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	500	10	50%	Hamming

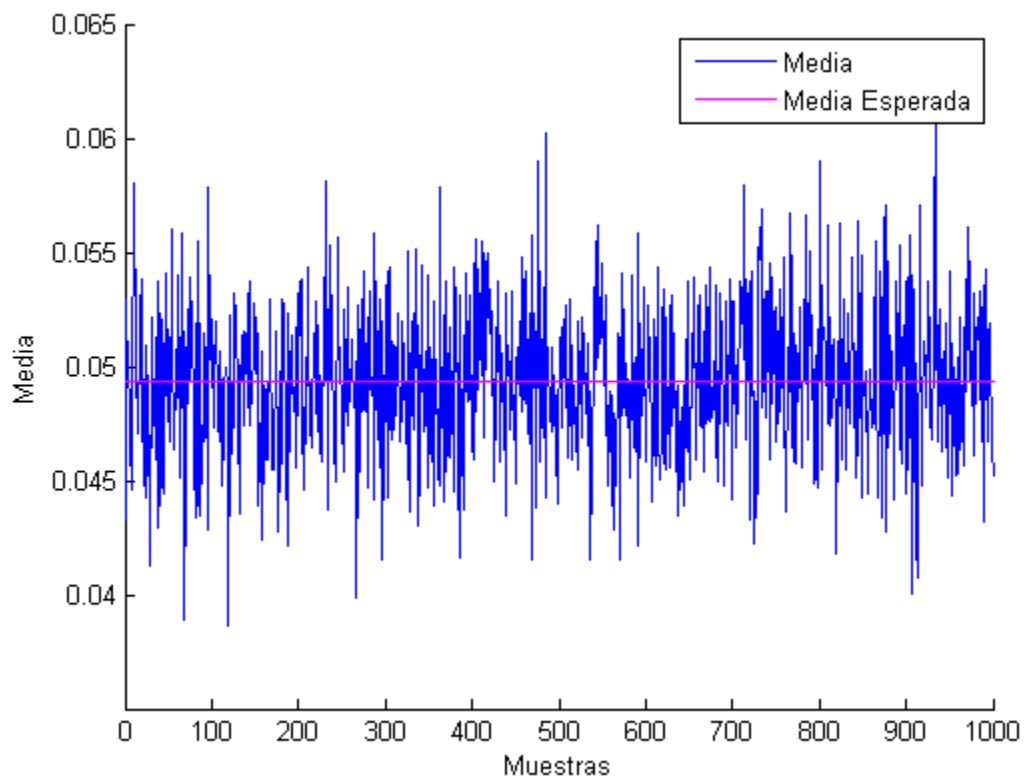
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

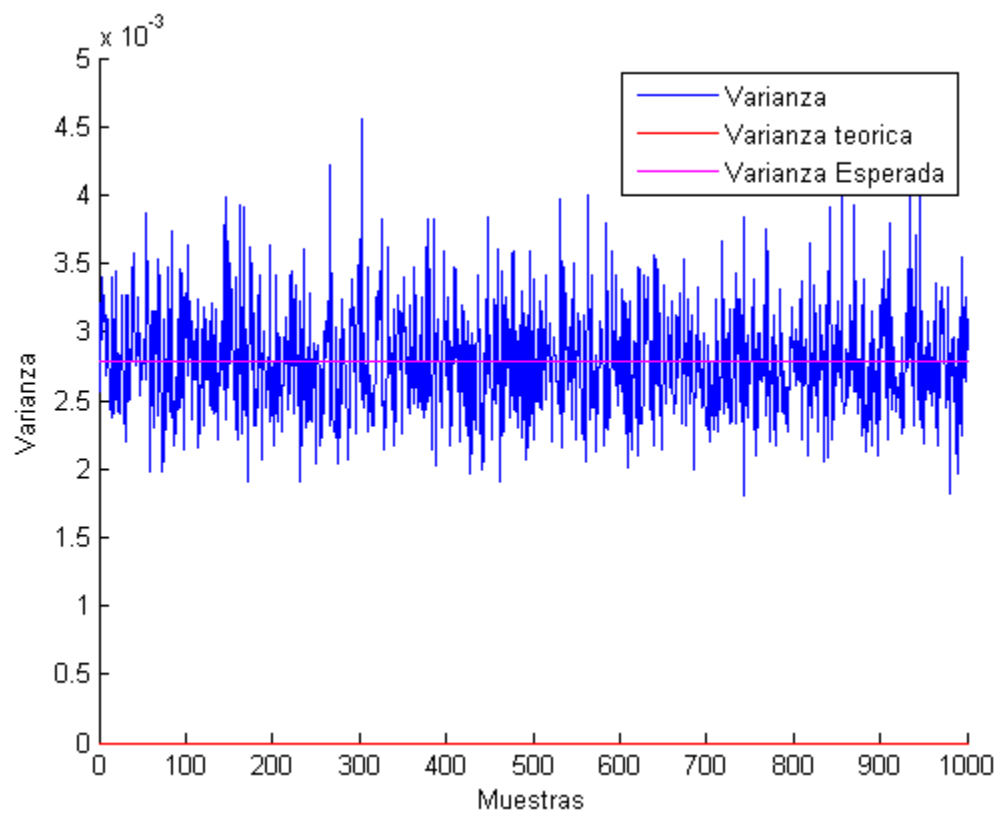


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0027802
Media esperada	0.048653

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1000	20	50%	Hamming

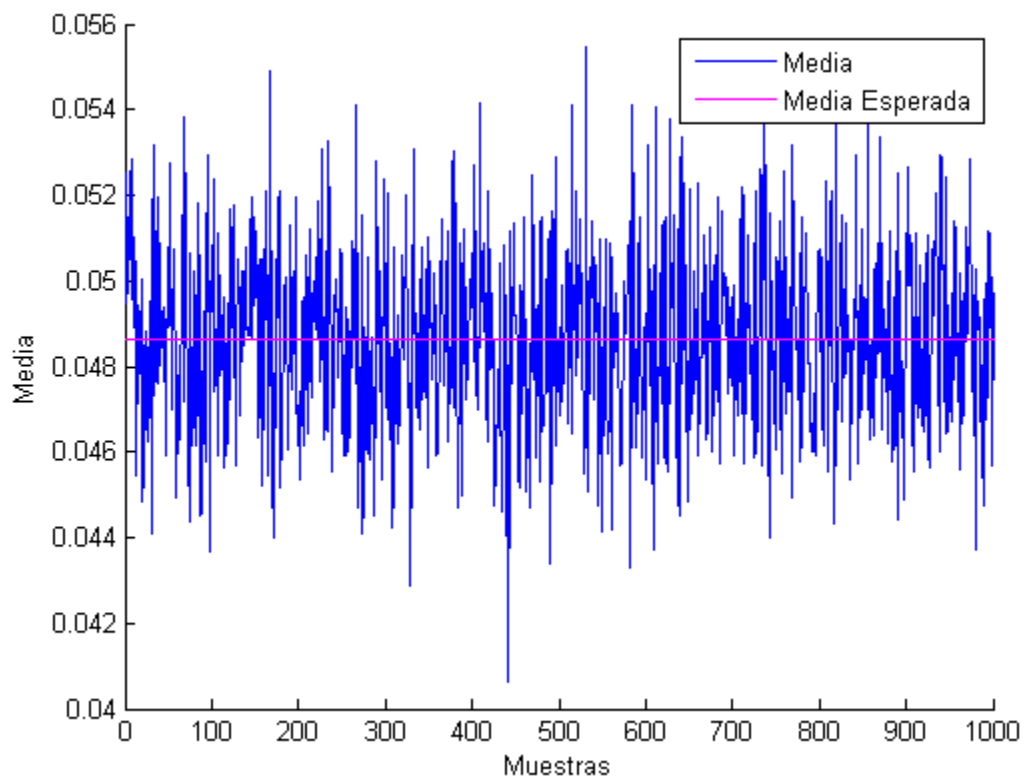
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

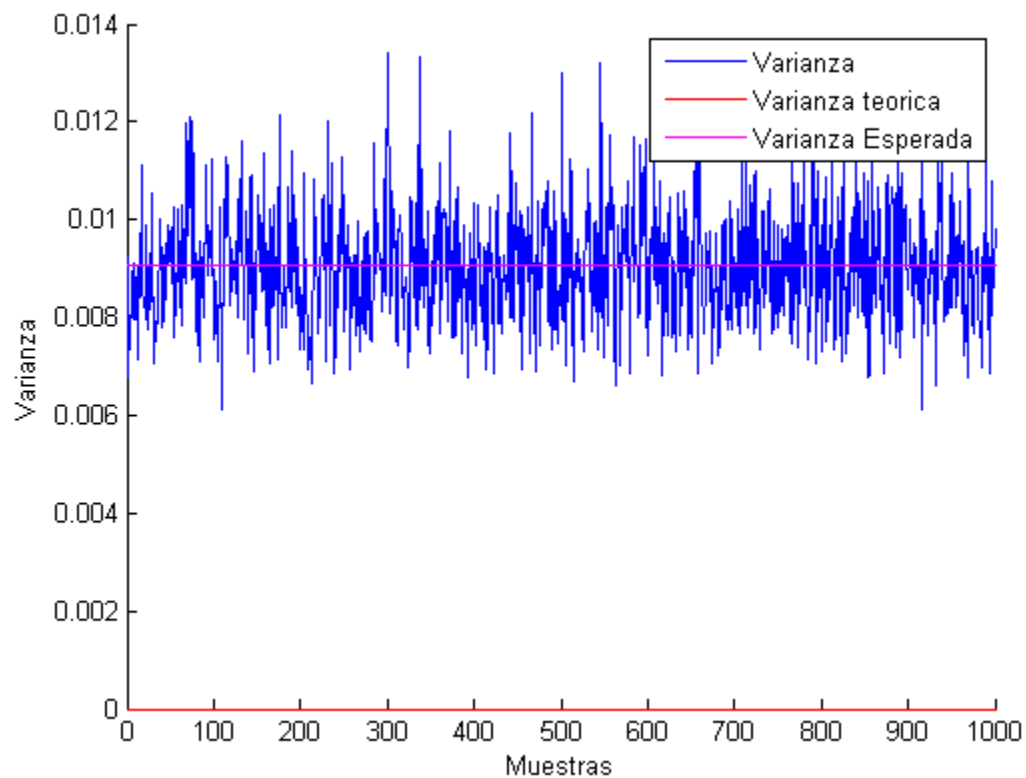


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0090556
Media esperada	0.081079

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	50	50%	Hamming

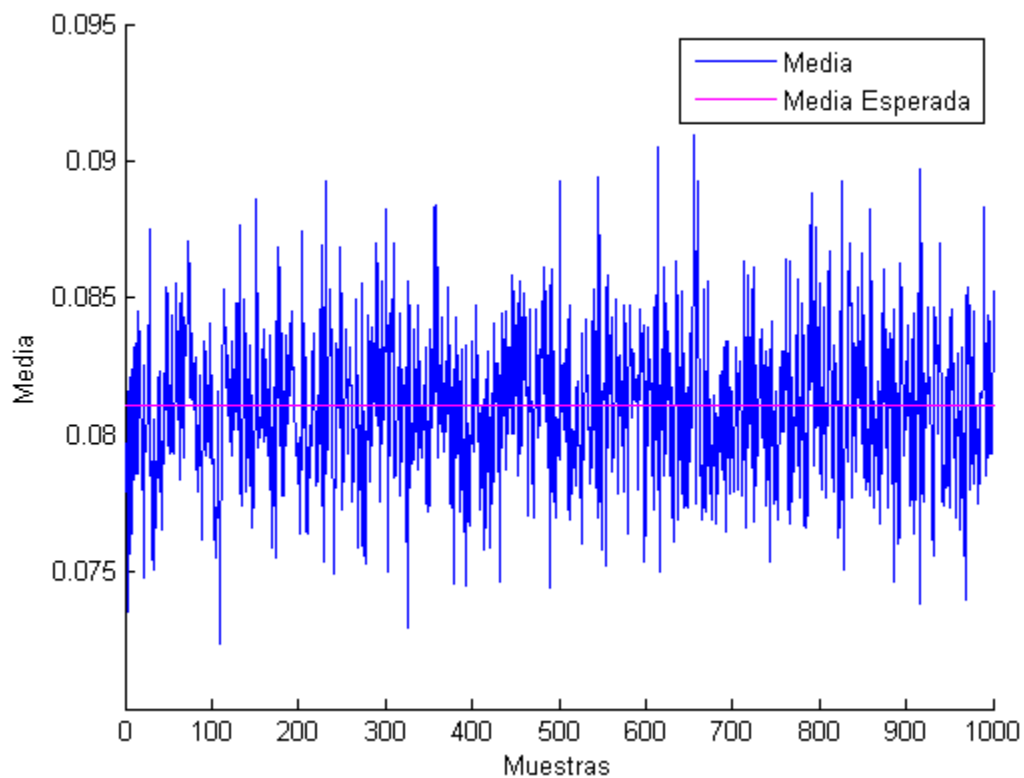
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

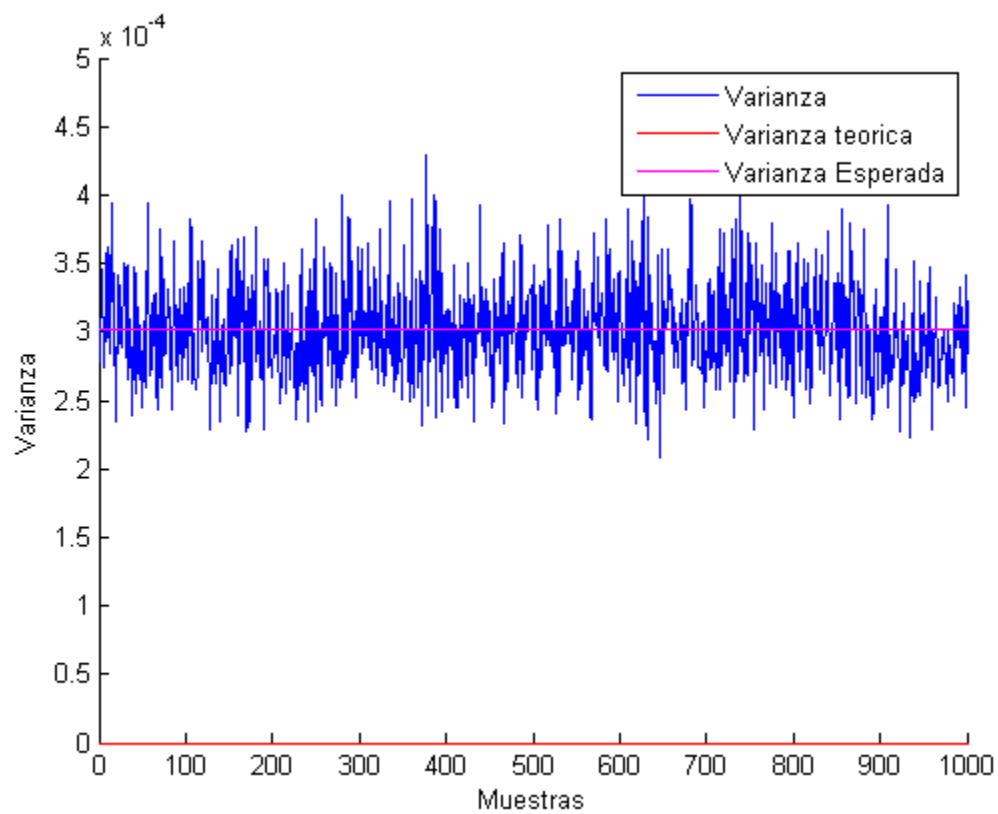


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.00030141
Media esperada	0.016342

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	10	50%	Hamming

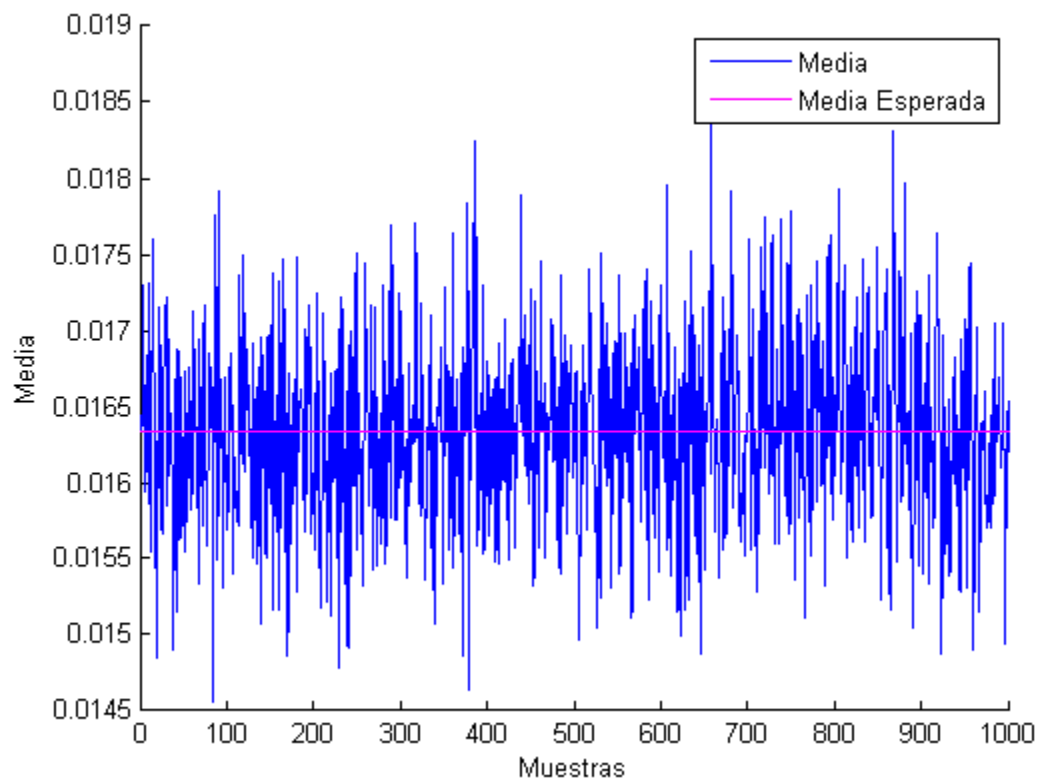
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

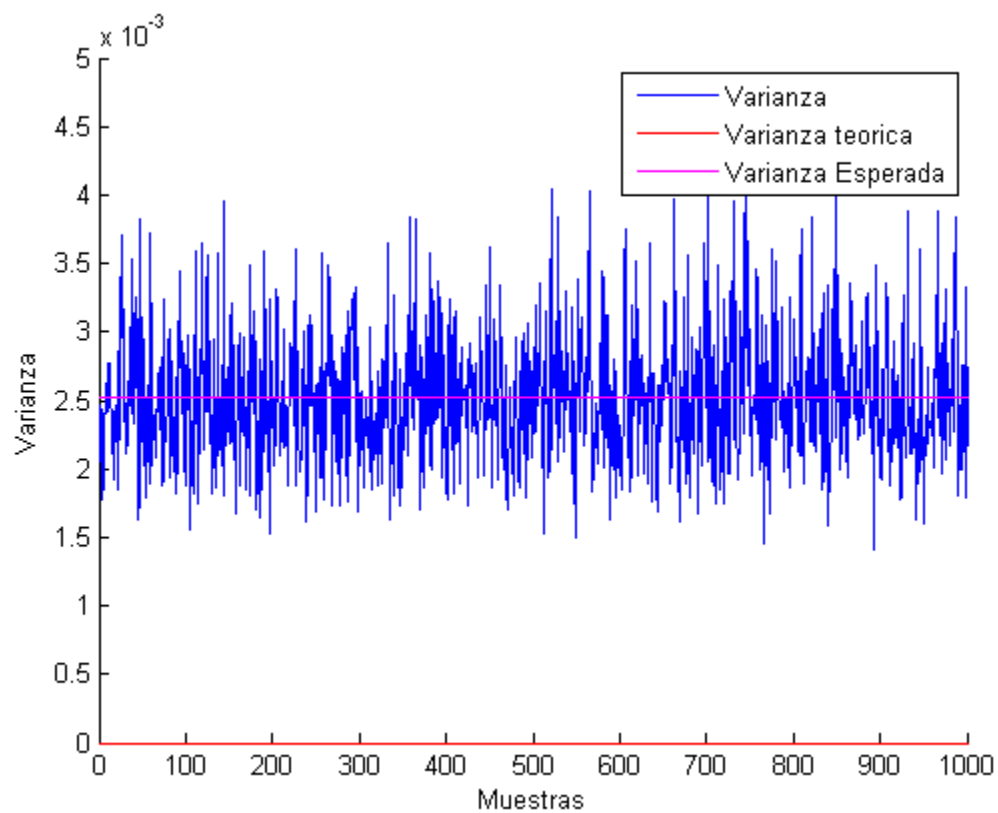


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0025182
Media esperada	0.048031

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	500	10	50%	Hanning

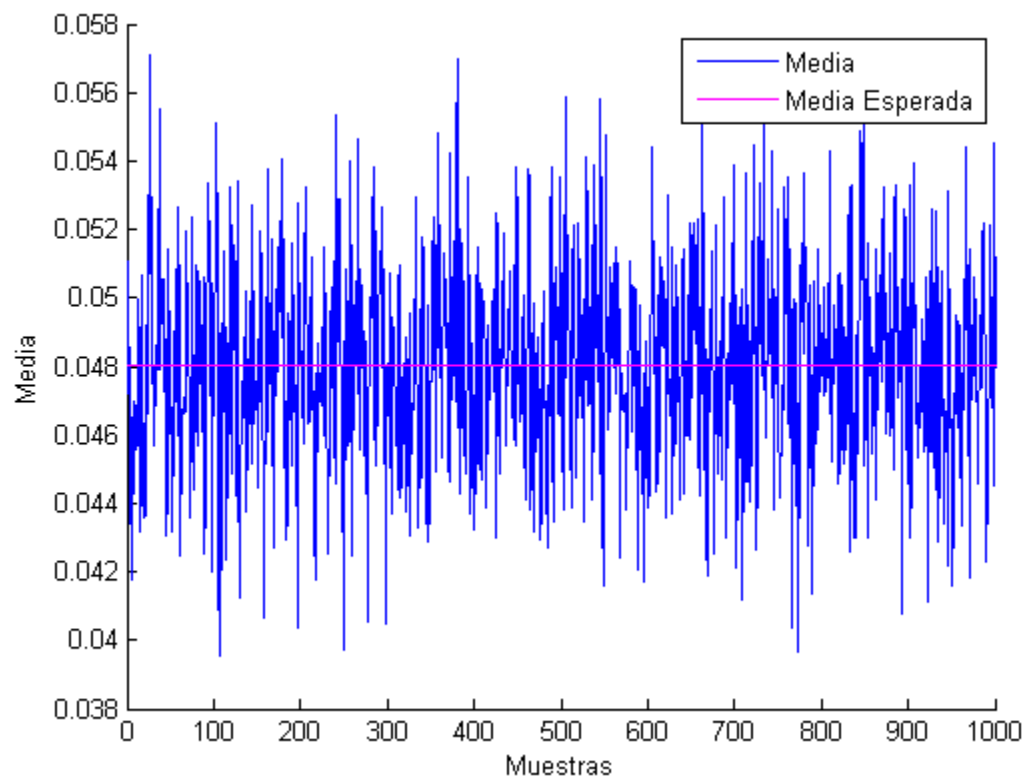
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

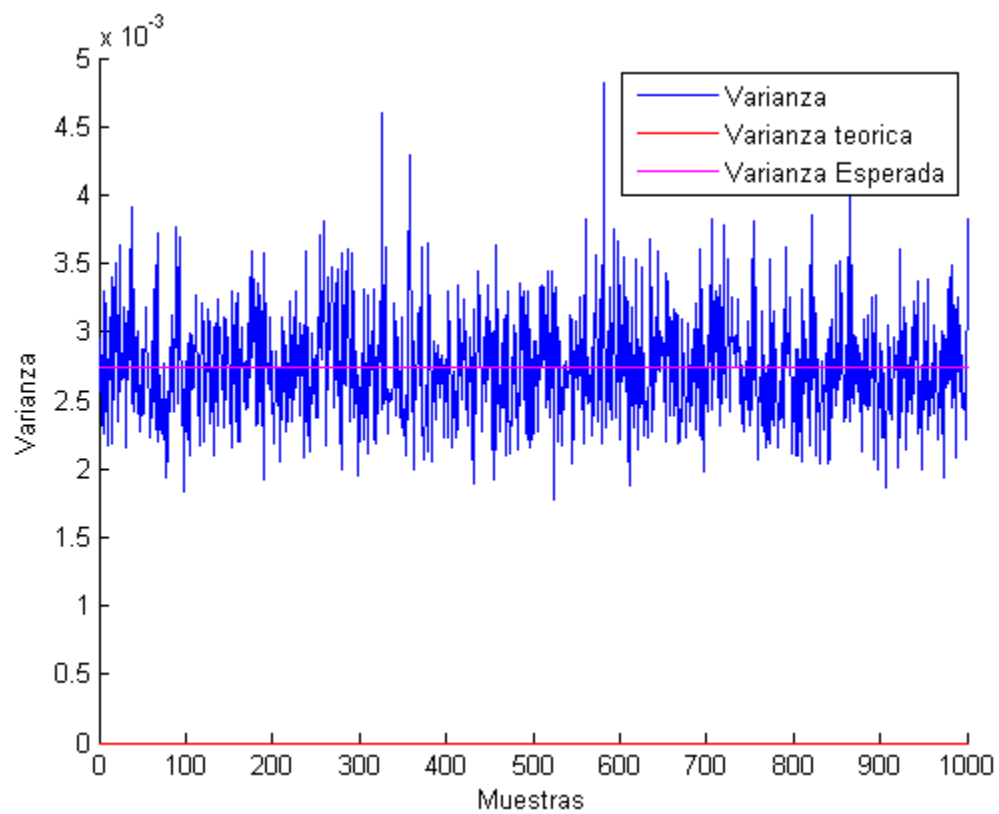


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0027437
Media esperada	0.048555

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1000	20	50%	Hanning

Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)

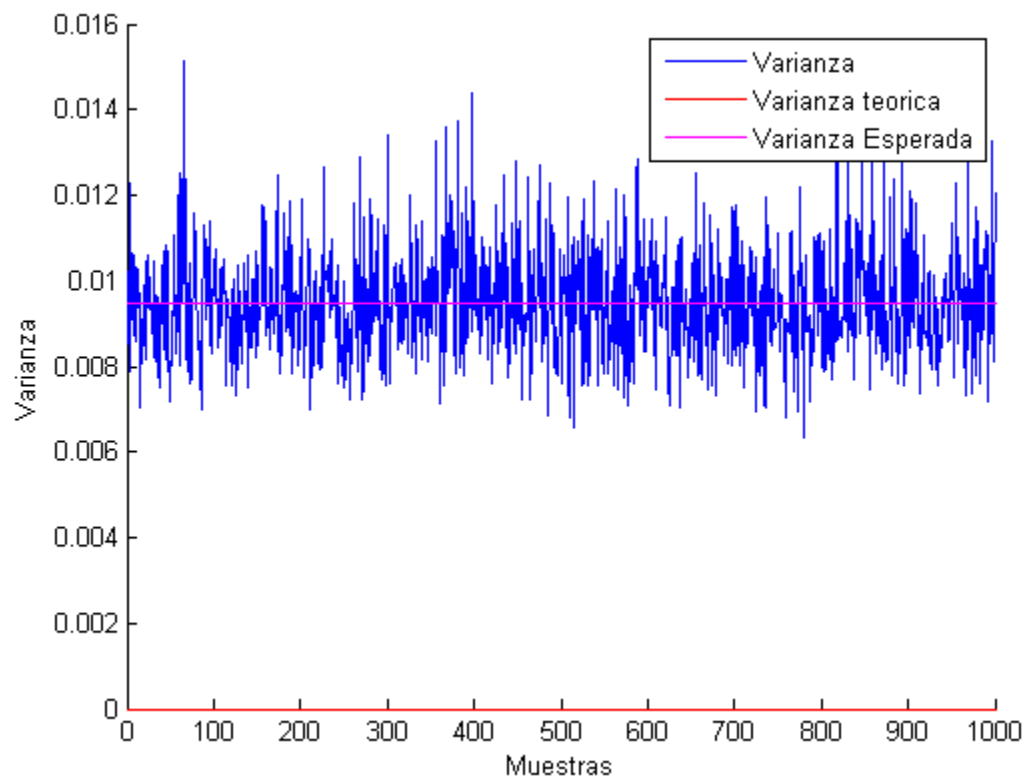


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.009481
Media esperada	0.082253

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	50	50%	Hanning

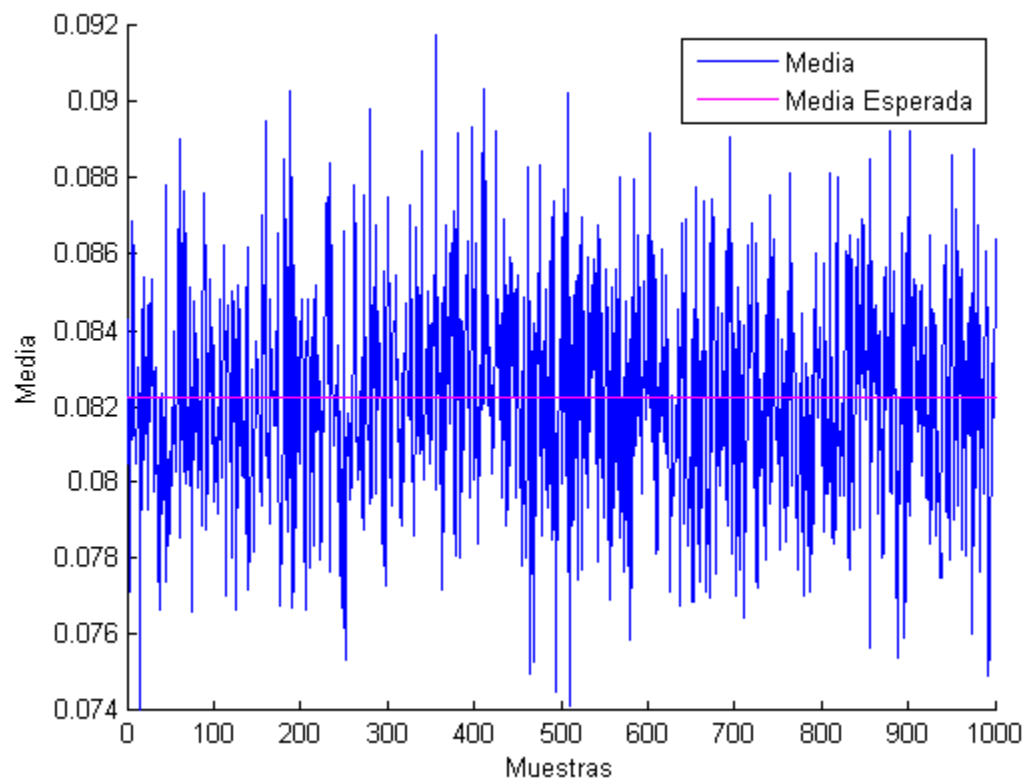
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

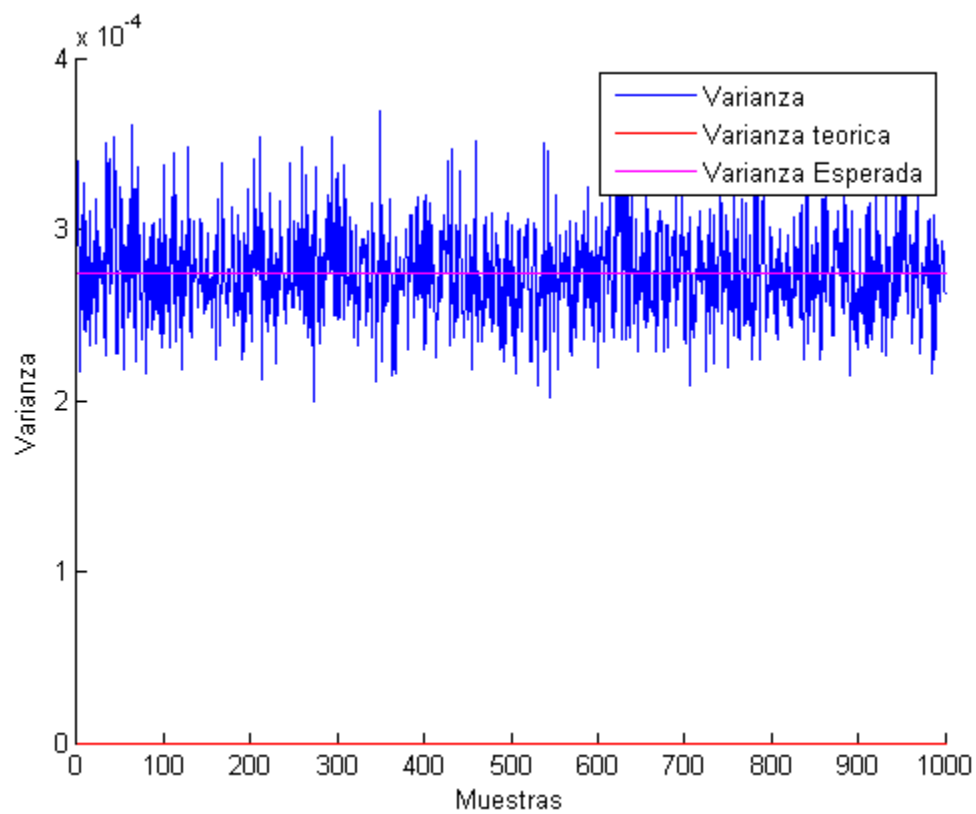


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.00027411
Media esperada	0.015892

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	10	50%	Hanning

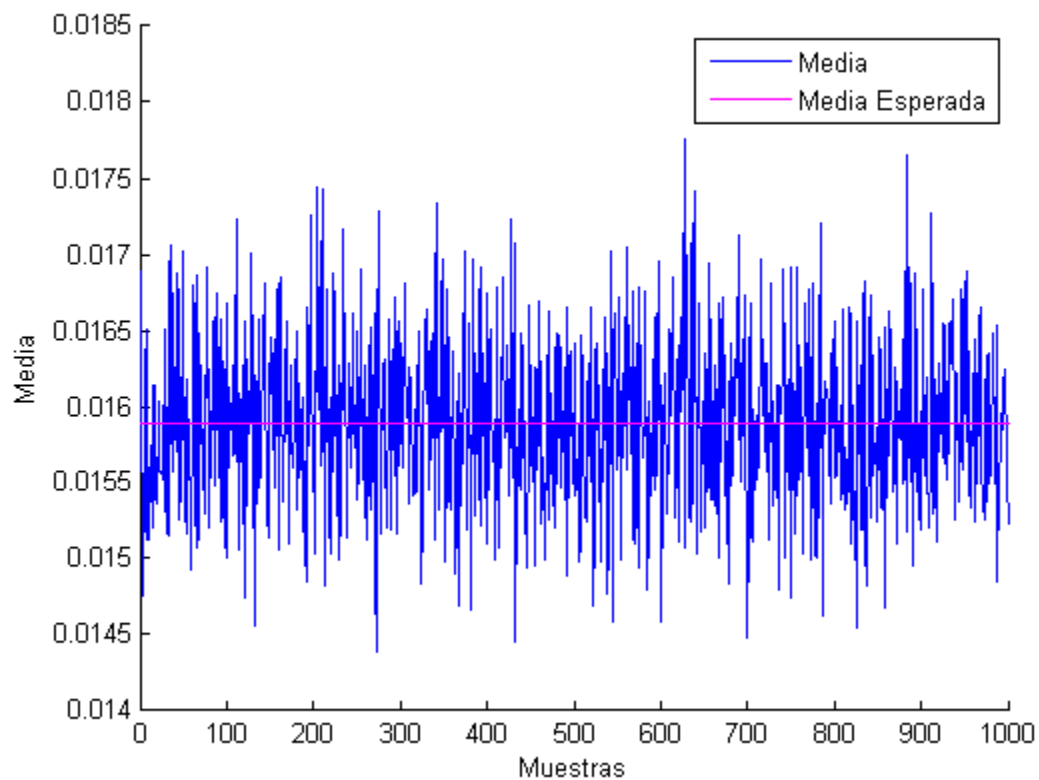
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

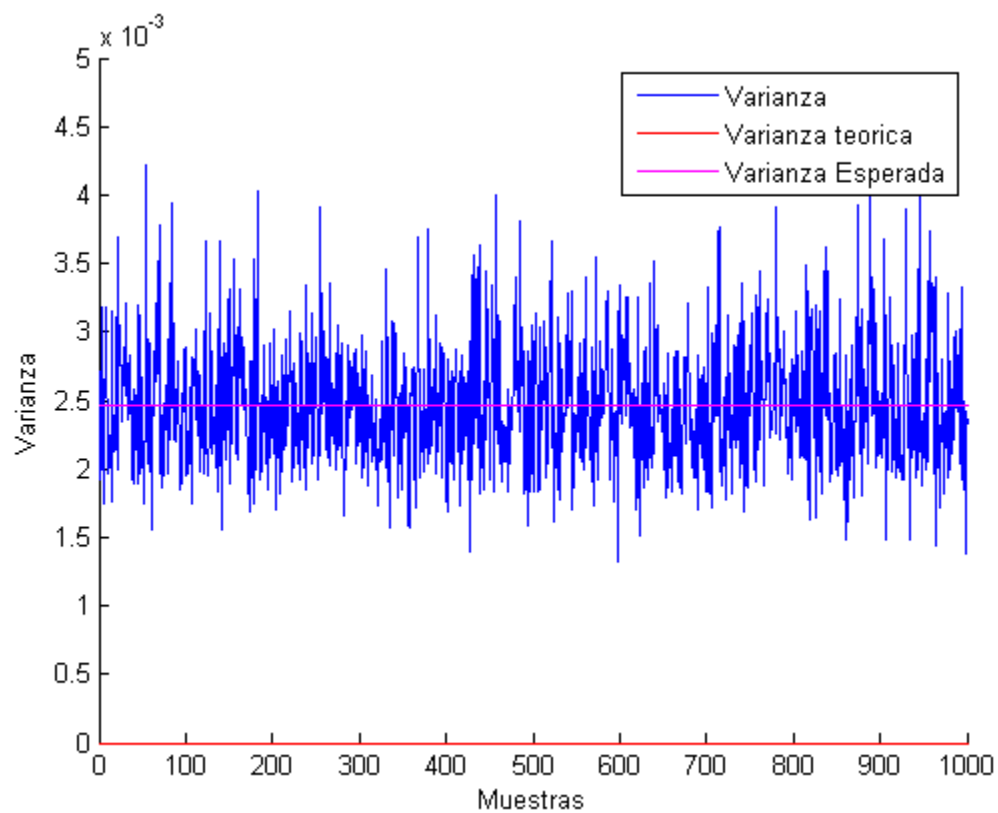


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0024706
Media esperada	0.047848

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	500	10	50%	Bartlett

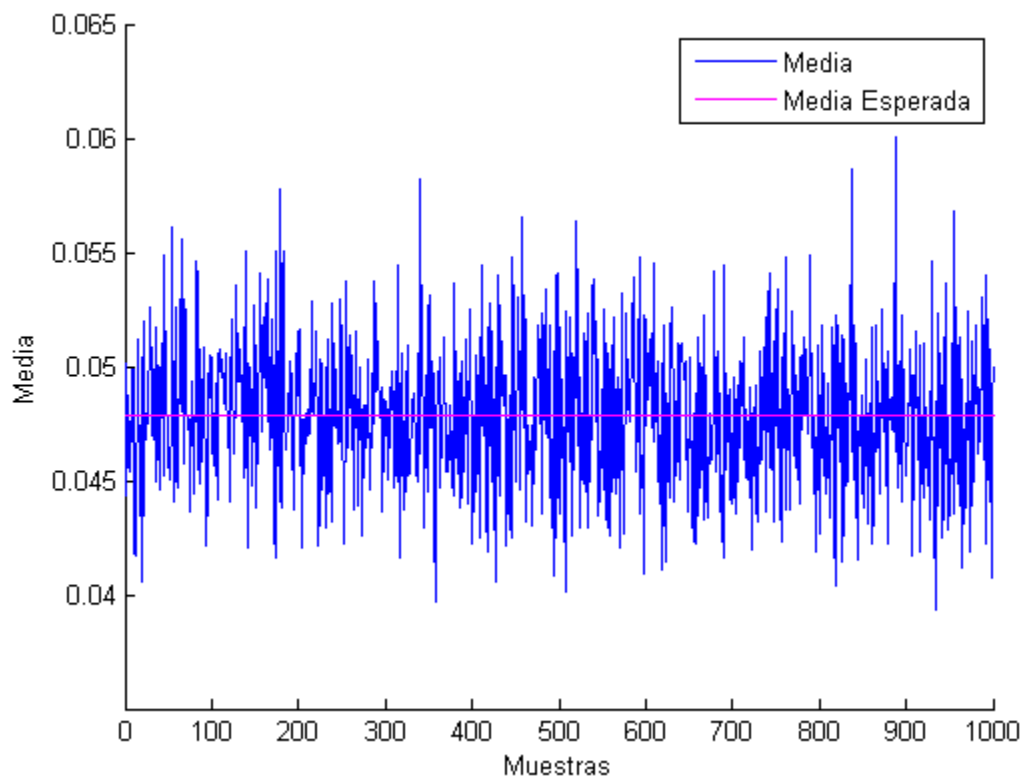
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

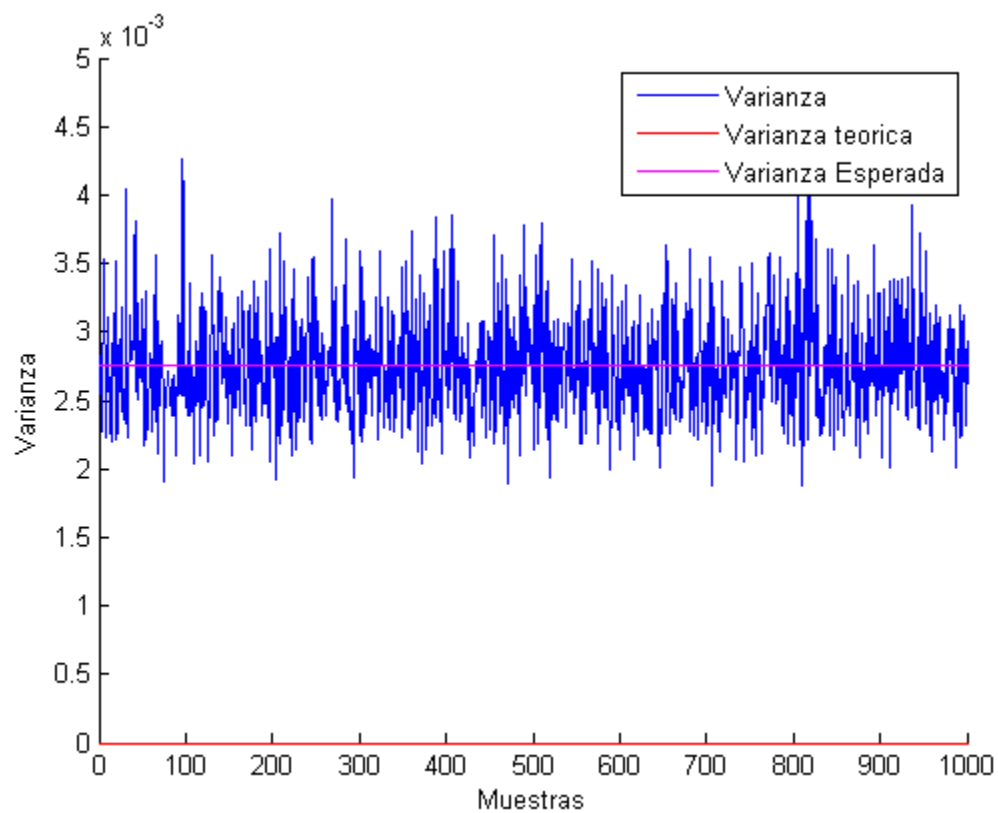


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0027571
Media esperada	0.04863

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1000	20	50%	Bartlett

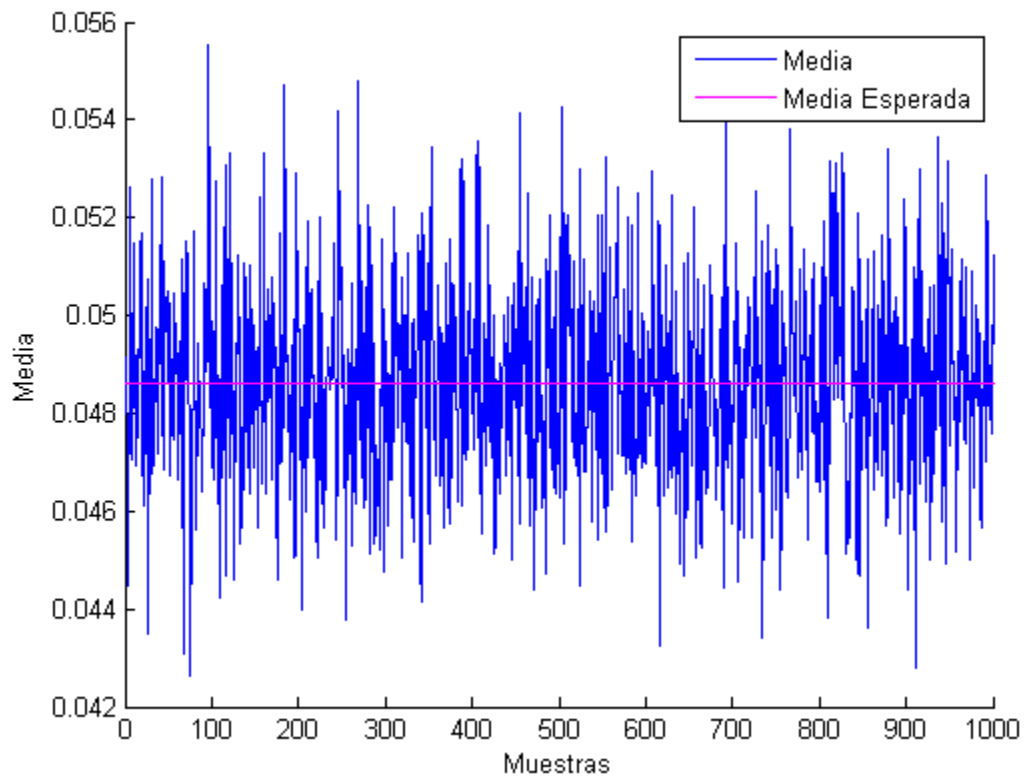
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

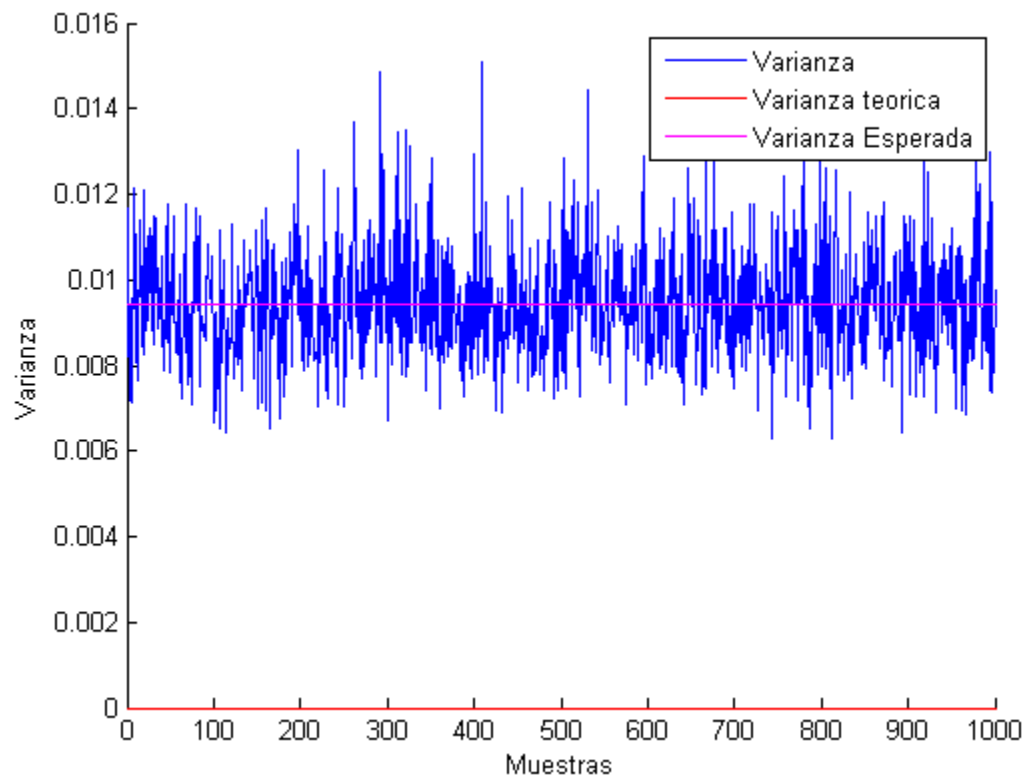


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0094369
Media esperada	0.082148

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	50	50%	Bartlett

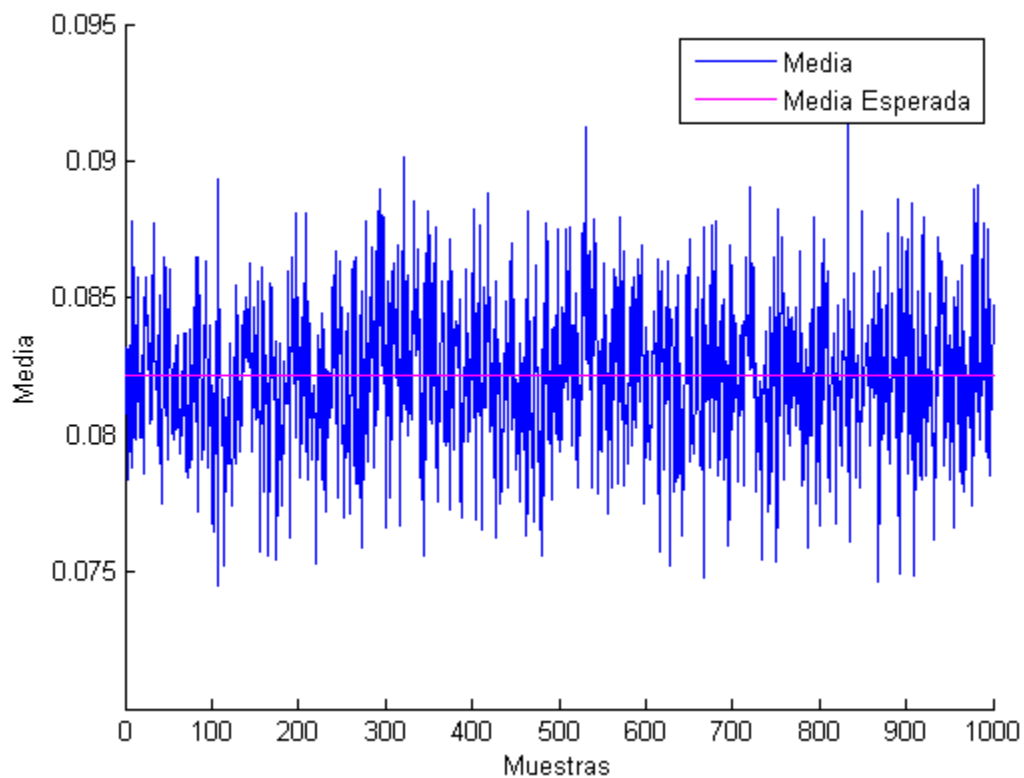
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

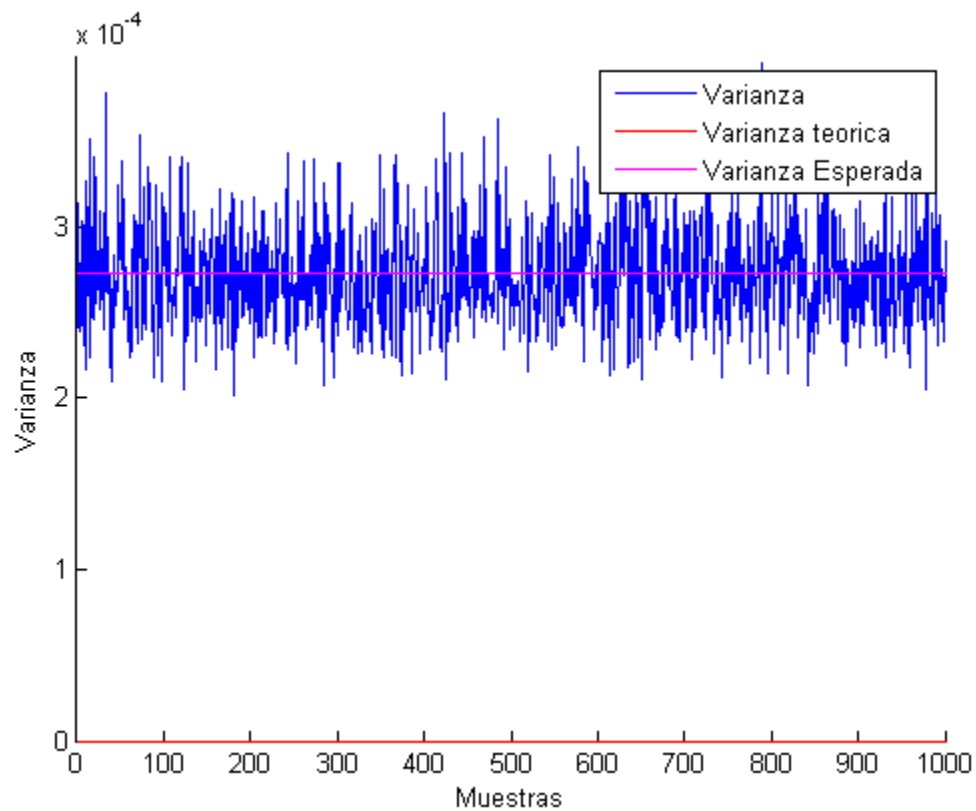


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.00027263
Media esperada	0.015881

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	10	50%	Bartlett

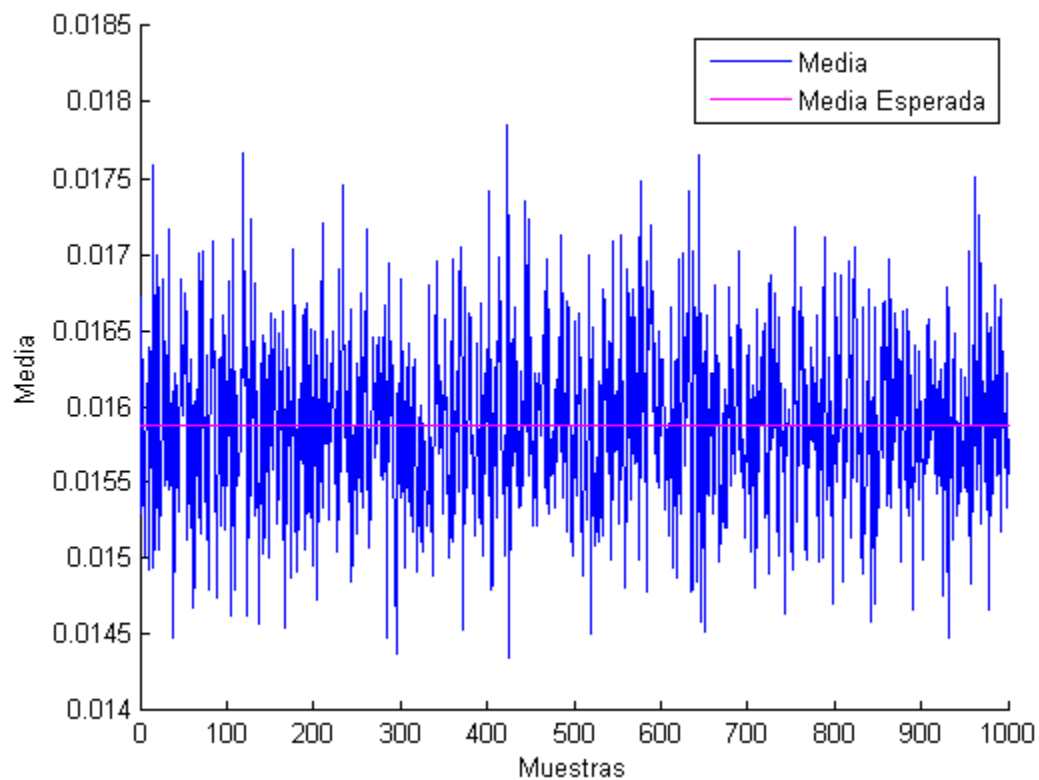
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

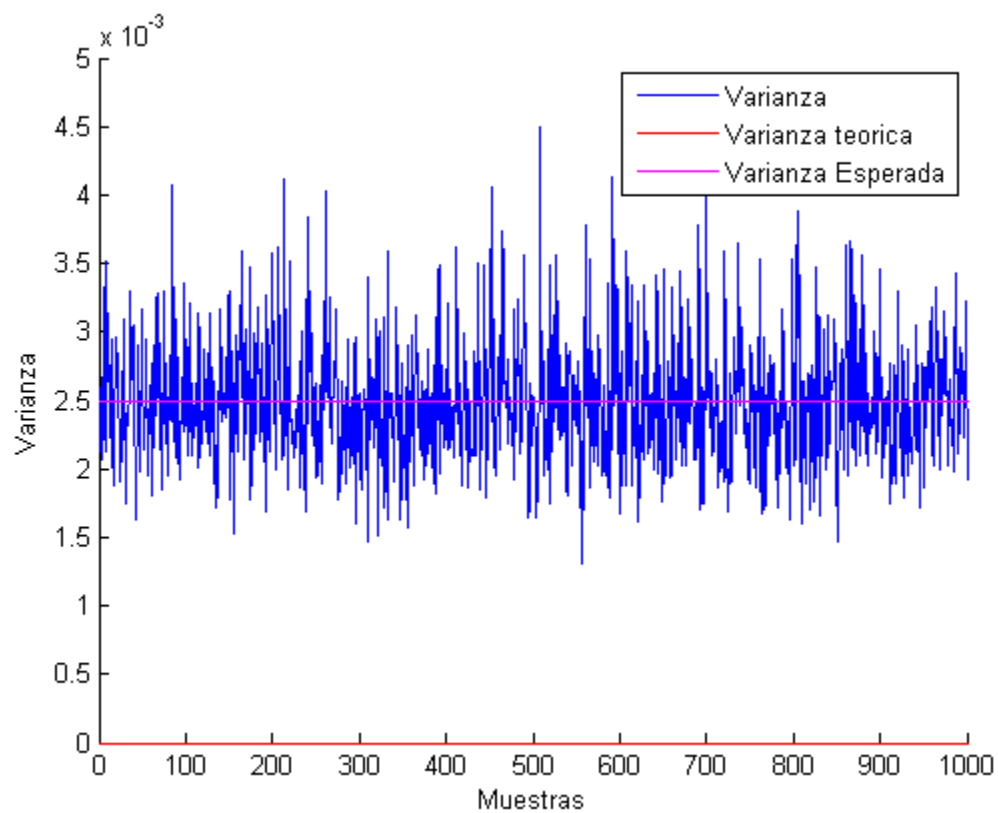


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0024977
Media esperada	0.047986

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	500	10	50%	Blackman

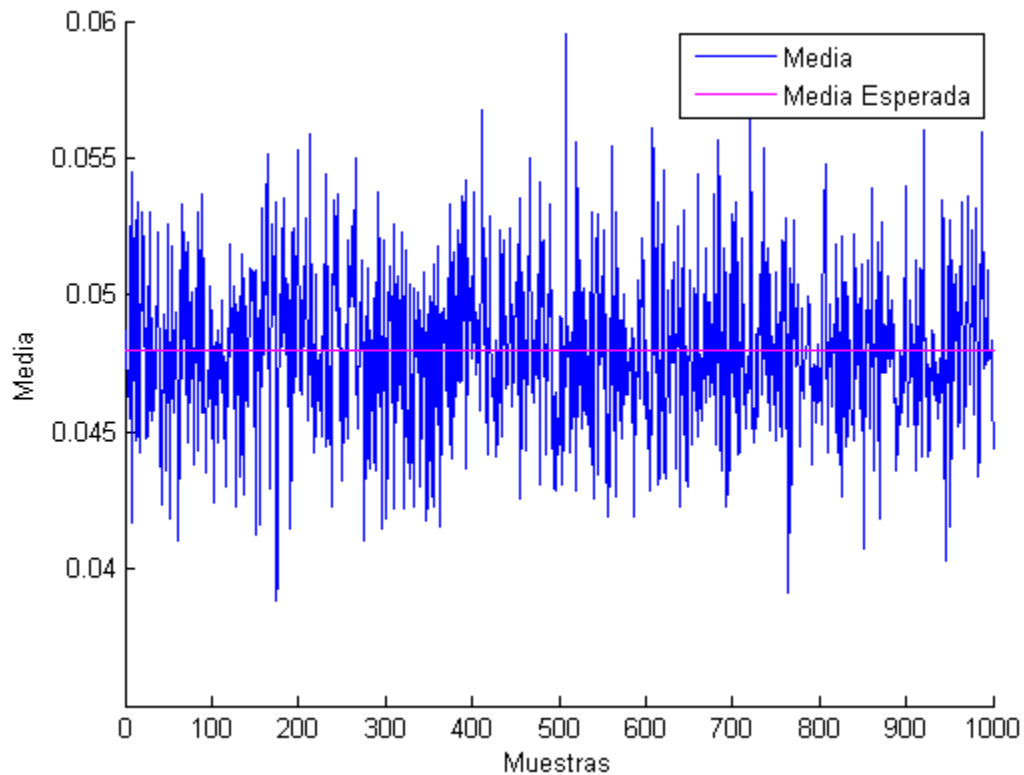
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

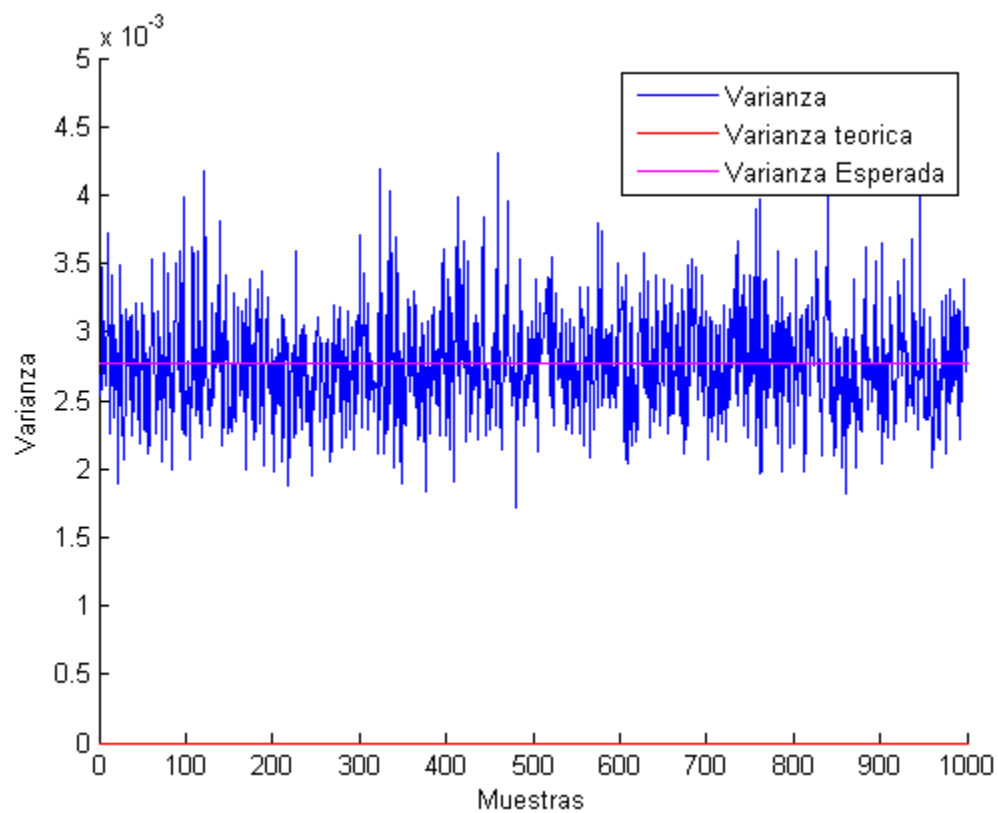


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0027645
Media esperada	0.048656

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1000	20	50%	Blackman

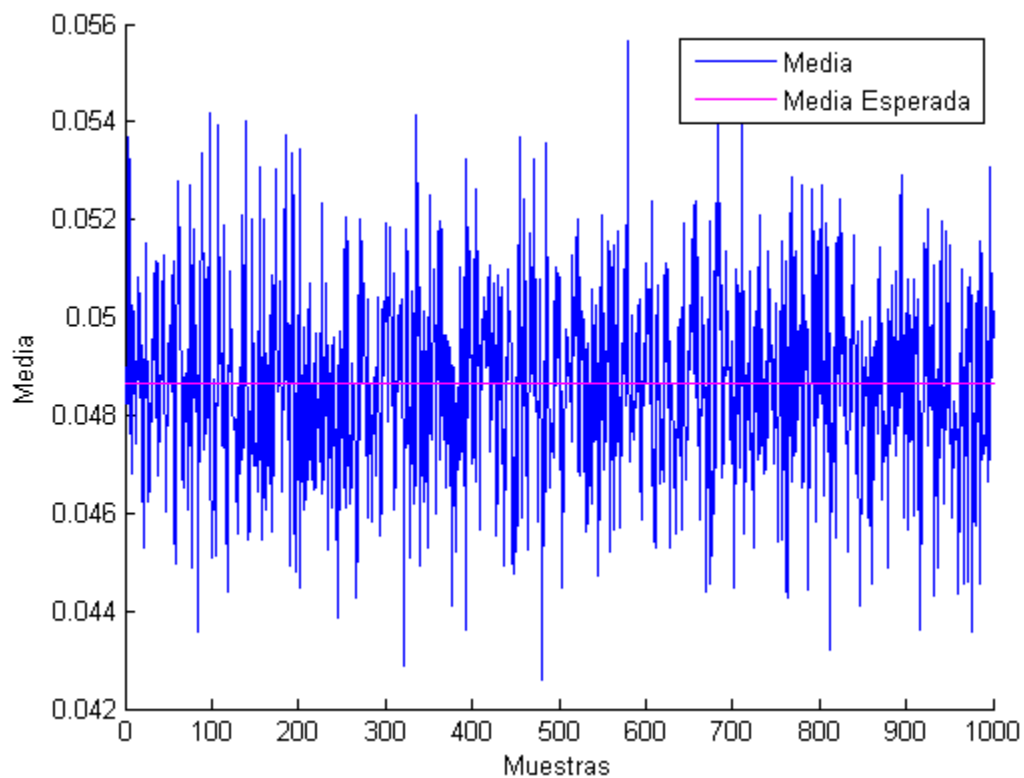
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

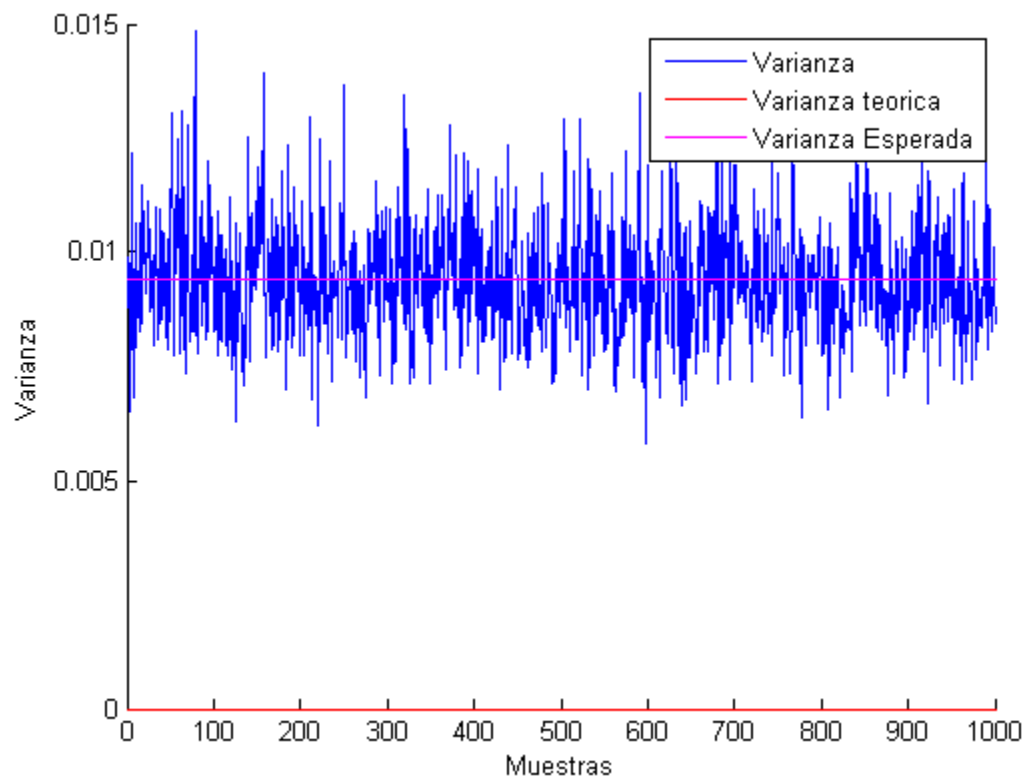


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0094053
Media esperada	0.082059

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	50	50%	Blackman

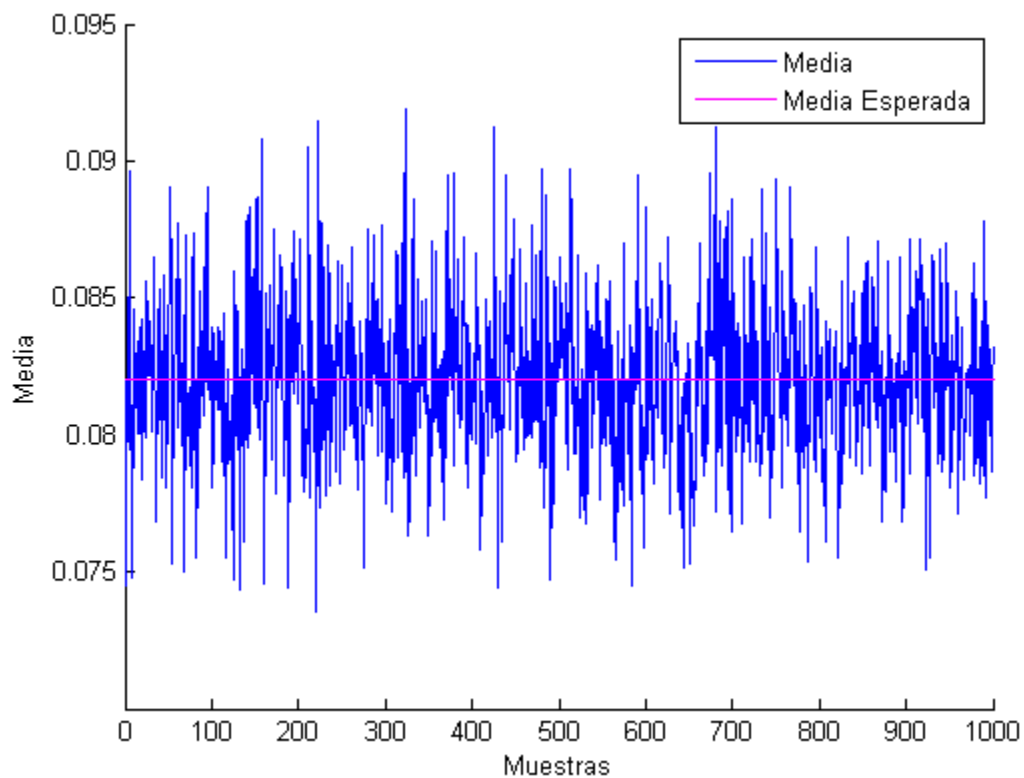
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)

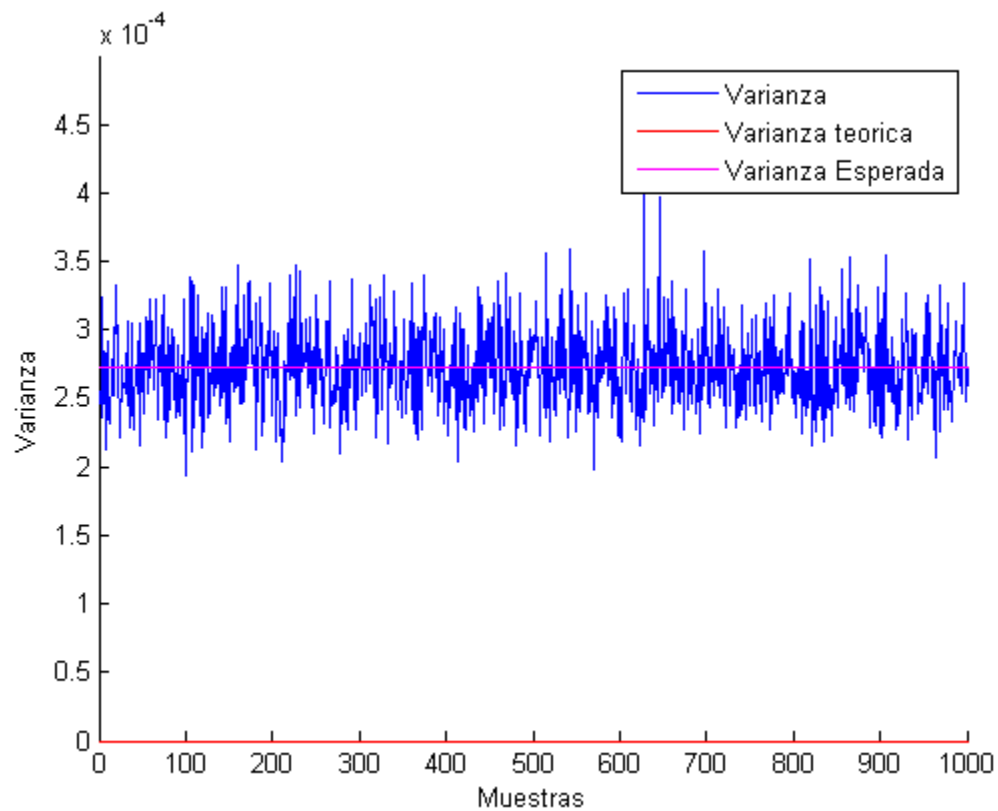


Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.00027259
Media esperada	0.015872

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana
1000	1500	10	50%	Blackman

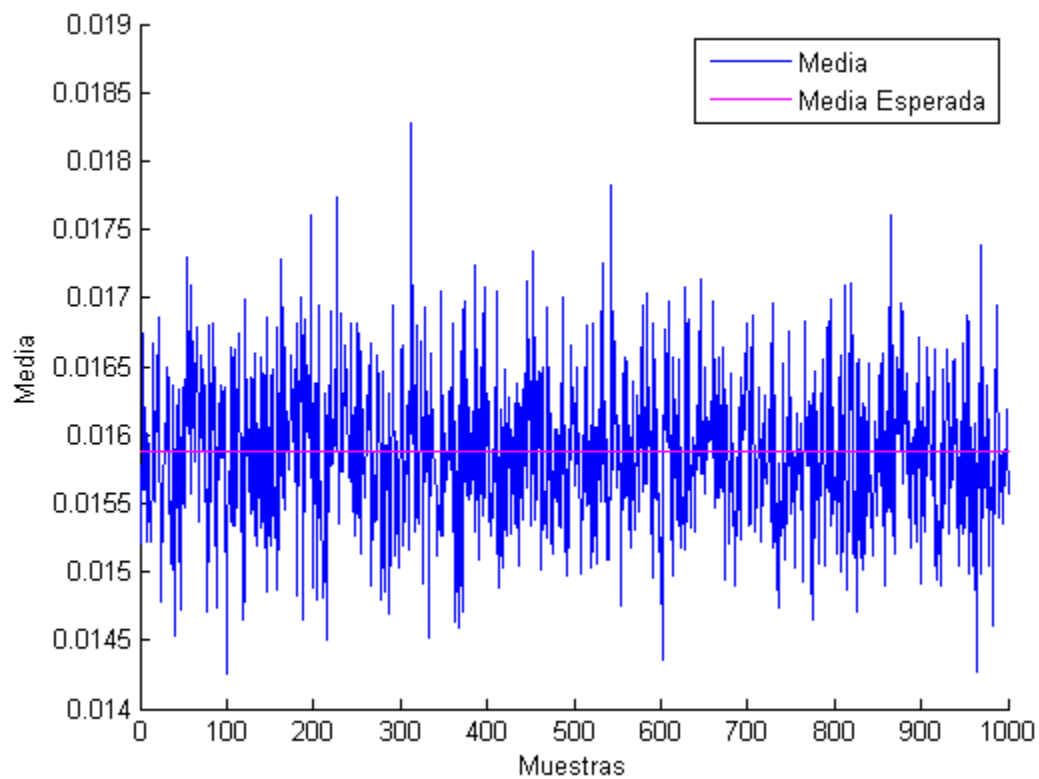
Ploteo de la varianza en función de las muestras:

- En azul se observa la varianza.
- En rojo la varianza teórica que se debe obtener 0
- En magenta la varianza esperada (obtenida)



Ploteo de la media en función de las muestras:

- En azul la media.
- En magenta la media esperada (obtenida)



Varianza teórica	0
Varianza esperada	0.0027382
Media esperada	0.049339

Tabla de resultados finales obtenidos

Experimentos	Muestras	L	Overlap	Ventana	Varianza Teórica	Varianza Esperada	Media Esperada
1000	500	10	50%	Hamming	0	0.0027802	0.048653
1000	1000	20	50%	Hamming	0	0.0090556	0.081079
1000	1500	50	50%	Hamming	0	0.00030141	0.016342
1000	1500	10	50%	Hamming	0	0.0025182	0.048031
1000	500	10	50%	Hanning	0	0.0027437	0.048555
1000	1000	20	50%	Hanning	0	0.009481	0.082253
1000	1500	50	50%	Hanning	0	0.00027411	0.015892
1000	1500	10	50%	Hanning	0	0.0024706	0.047848
1000	500	10	50%	Bartlett	0	0.0027571	0.04863
1000	1000	20	50%	Bartlett	0	0.0094369	0.082148
1000	1500	50	50%	Bartlett	0	0.00027263	0.015881
1000	1500	10	50%	Bartlett	0	0.0024977	0.047986
1000	500	10	50%	Bartlett	0	0.0027645	0.048656
1000	1000	20	50%	Blackman	0	0.00094053	0.082059
1000	1500	50	50%	Blackman	0	0.00027259	0.015872
1000	1500	10	50%	Blackman	0	0.0027382	0.049339

Nota: Para todos los casos:

- Varianza teórica: Es el valor el cual se debe obtener, según la teoría vista y que se puede encontrar en la bibliografía recomendada.
- Varianza esperada: Es el valor de varianza medio obtenido a partir de la realización de las N experimentaciones.
- Media esperada: Es el valor de la media, medio obtenido a partir de la realización de las N experimentaciones.

Se realizaron dieciséis estudios sobre sobre este estimador de densidad de potencia espectral variando la cantidad de muestras, experimentos y cantidad de muestras por sector, utilizando distintas ventanas (vistas en el trabajo práctico 2) y siempre dejando constante el solapamiento de los bloques al 50% (solapamiento típico) dando origen a las siguientes conclusiones:

- Se concluyó que el método de Welch, al igual que el método de Bartlett, es un estimador de densidad de potencia espectral, en el cual su varianza depende de la cantidad de muestras "N", la cantidad de muestras por ventana y la ventana utilizada. A través de los experimentos realizados se validó lo pronosticado, se aumentaron la cantidad de muestras, se aumentaron las muestras por ventana y vimos que la varianza de éste método cuando N tiende a infinito la misma se aproxima a cero. Además se pudo concluir que cuanto mas ancho es el lóbulo central de la ventana, se tiene menor resolución a costas de una mayor varianza.
- Además se demostró que al utilizar un solapamiento de las ventanas si el mismo es de la mitad de la longitud de la ventana, la varianza se puede reducir en un factor de casi 2, debido a que se dobla el número de secciones. De importancia destacar que un solapamiento mayor no contribuye a reducir la varianza, ya que los segmentos se van haciendo cada vez menos independientes a medida que el solapamiento aumenta.

Por lo dicho se concluye finalmente, en que el estimador de Welch junto al estimador de Bartlett al disminuir la varianza respecto del periodograma lo hacen ser un mejores estimadores.

Ejercicio 2 - Código: Función Welch ploteo

```
% \fn [fx] = bartlett_ploteo(Experimentos, Muestras, nsector,fx)
% \brief Función de banco de pruebas para ejercicio 2 - Función Welch
% \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandopose@gmail.com)
% \date 2015.10.23
%**

function [fx] = welch_ploteo(Experimentos, Muestras,L,over,ventana, fx)

    % Parámetros del ruido

    Media = 0;
    Desvio = 2;

    % Generación de Ruido Blanco

    RuidoBlanco = random('normal',Media,Desvio,Experimentos,Muestras);

    RuidoBlanco = Desvio * randn(Experimentos, Muestras);

    welch = zeros(Experimentos, Muestras);

    % Realizo la funcion welch sobre mis 500 experimentos.

    for cont = 1:Experimentos

        welch(cont,:) = get_welch(RuidoBlanco(cont,:),L, over, ventana);
        media(cont) = mean(welch(cont,:));
        varianza(cont) = var(welch(cont,:));

    end

    % Calculo y grafico la varianza.

    figure(fx); set(gcf,'Name','Ejercicio 2');
    ylabel('Varianza'); xlabel('Muestras'); hold on;
    plot(varianza);

    % Varianza teorica a obtener: 0

    varianza_teorica_esperada = reffline([0 0]);
    set(varianza_teorica_esperada,'color','r');

    % Varianza experimental obtenida

    Resultado = mean(varianza);
    varianza_obtenida = reffline([0 Resultado]);
    set(varianza_obtenida, 'color','m');
```

```
legend('Varianza','Varianza teorica','Varianza Esperada');  
hold off;
```

```
% Valores de varianza teorica y experimental:
```

```
disp('varianza teorica : '),disp(num2str(0));  
disp('varianza esperada: '),disp(num2str(Resultado));
```

```
fx = fx + 1;
```

```
% Calculo y grafico la media.
```

```
figure(fx); set(gcf,'Name','Ejercicio 2');  
ylabel('Media'); xlabel('Muestras'); hold on;  
plot(media);
```

```
% Media experimental obtenida
```

```
Resultado = mean(media);  
media_obtenida = reffline([0 Resultado]);  
set(media_obtenida, 'color','m');  
legend('Media','Media Esperada');  
hold off;
```

```
% Valor de esperanza experimental:
```

```
disp('Media esperada: '),disp(num2str(Resultado));
```

```
fx = fx + 1;
```

```
end
```

Ejercicio 2 - Código: Función Bartlett

```
%      \fn [output] = get_bartlett()
%      \brief Calcula con bartlett la DEP del vector input
%      \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandoepose@gmail.com)
%      \date 2015.10.23
%**

function [output] = get_bartlett(input, nsector)

    L = floor(length(input)/nsector);
    output = zeros(1,length(input));
    n1 = 1;

    for i = 1:nsector
        output(1,n1:n1+L-1) = get_periodograma(input(1,n1:n1+L-1))/nsector;
        n1 = n1 + L;
    end;
end
```

Para más información acerca de éste algoritmo remitirse a: Statical digital signal processing and modeling – Autor: Monson H. Hayes.

Ejercicio 2 - Código: Función Welch

```
%      \fn [output] = get_welch()
%      \brief Calcula con welch la DEP del vector input
%      \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandoepose@gmail.com)
%      \date 2015.10.23
%**

function [output] = get_welch(input, L, over, window)

    if ( over >= 1) || (over < 0)
        error('overlap is invalid');
    end

    n1 = 1;
    n0 = (1-over)*L;

    nsect = 1 + floor((length(input) - L)/n0);

    output = zeros(1,length(input));

    for i = 1: nsect
        output(1,n1:n1+L-1) = get_periodograma_modificada(input, window, n1, n1+L-1)/nsect;
        n1 = n1 + n0;
    end
end
```

Para más información acerca de éste algoritmo remitirse a: Statical digital signal processing and modeling – Autor: Monson H. Hayes.

Ejercicio 2 - Código: Función Periodograma modificada

```
% \fn [output] = get_periodograma_modificada(input>window, inicio, fin)
% \brief Calcula el periodograma de una señal ventaneada
% \author Pose, Fernando Ezequiel (fernandopose@gmail.com)
% \date 2015.10.23
%**

function [output] = get_periodograma_modificada(input, ventana, inicio, fin)

    input = input'; %traspongo la matriz

    if nargin == 2
        inicio = 1;
        fin = length(input);
    end

    N = fin - inicio + 1;
    w = ones(N,1);

    if (ventana == 2)
        w = hamming(N);
    elseif (ventana == 3)
        w = hanning(N);
    elseif (ventana == 4)
        w = bartlett(N);
    elseif (ventana == 5)
        w = blackman(N);
    end;

    x_window = input(inicio:fin).^w/norm(w); % Norma del vector.-
    output = N * get_periodograma(x_window);

end
```

Para más información acerca de éste algoritmo remitirse a: Statical digital signal processing and modeling – Autor: Monson H. Hayes.

Bibliografía utilizada

- [1] Tratamiento de señales en tiempo discreto. Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer. Ed. Pearson. Tercera edición.
- [2] Digital Signal Proccessing Using Matlab. André Quinquis. Ed. Wiley
- [3] Understanding Digital Signal Processing. Richard G. Lyons. Ed. Prentice Hall PTR
- [4] Statical Digital Signal Processing and Modeling. Monson H. Hayes.