

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Licenciatura en Ingeniería en Computación

Estudio experimental de la tolerancia al ruido de imágenes
procesadas con la transformada wavelet redundante con árbol
dual

Cordero Pérez Oscar 206205422

Asesor: Oscar Herrera Alcántara, Profesor Asociado.
Departamento de Sistemas

Índice

Abreviaturas.....	3
Resumen.....	4
Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Introducción.....	6
La aplicación que se desarrolló en este proyecto procesó una imagen con la TWAD, se aplicó ruido con diferentes magnitudes, se recuperó la imagen con TWIAD, se comparó con la original y se obtuvo información estadística de qué tanta tolerancia al ruido se logra.....	6
Desarrollo del Proyecto.....	7
Diseño.....	7
Desarrollo e implementación de los módulos.....	11
Módulo de Imagen.....	11
Módulo de filtros.	11
Módulo de convolución.....	12
Módulo de análisis con filtros digitales.....	13
Módulo de síntesis con filtros digitales.....	14
Módulo TWAD	15
Módulo TWIAD.....	17
Módulo de adición de ruido.....	18
Módulo de comparación de imágenes.....	18
Interfaz Gráfica.....	19
Análisis estadístico.....	20
Conclusiones	51
Bibliografía.....	52

Abreviaturas.

TWAD	Transformada Wavelet de Árbol Dual
TWIAD	Transformada Wavelet Inversa de Árbol Dual
PSNR	Peak signal to noise ratio
RMSE	Root mean squared error

Resumen.

En el presente trabajo se realizó un estudio experimental de la tolerancia al ruido lograda con la Transformada wavelet redundante con árbol dual. Para ello se realizó la aplicación software en Java de la TWAD y su inversa TWIAD. Como referencia se tomó un algoritmo implementado en Matlab.

El estudio experimental consistió en procesar imágenes en formato PGM,(escala de grises) de tamaño 512x512 píxeles, con la TWAD. Como resultado de la TWAD se obtuvieron señales las cuales se le añadió ruido a diferentes magnitudes y con ayuda de la TWIAD se recuperó la señal. Una vez obteniendo la señal recuperada se comparó con la original, con el fin de obtener información de que tanta tolerancia al ruido se logró.

La comparación de estas dos señales, la original y la recuperada, se realizó calculando el coeficiente de relación señal a ruido PSNR. Este cálculo se usó para diferentes imágenes y diferentes magnitudes de ruido y se almacenó en tablas y gráficas. Así se pudo comparar la tolerancia al ruido que se logra con la TWAD.

Objetivos.

Objetivo general.

Diseñar e implementar una aplicación para procesar imágenes con la Transformada Wavelet Redundante con Árbol Dual.

Objetivos específicos.

- Implementar un módulo para calcular la transformada wavelet redundante con árbol dual y su inversa.
- Implementar un módulo con rutinas de convolución, submuestreo y sobremuestreo para procesamiento de imágenes.
- Implementar un módulo de análisis y síntesis de imágenes usando bancos de filtros digitales.
- Implementar un módulo para la adición de ruido en imágenes.
- Implementar un módulo para la comparación de imágenes.
- Realizar pruebas de tolerancia a ruido en imágenes procesadas con la transformada wavelet redundante con árbol dual.

Introducción

En el mundo actual hay varios métodos para comprimir de datos y almacenar la mayor información en el menor espacio posible, incluso hay métodos utilizando Transformadas Wavelet, pero la mayoría con mucha pérdida de información, ahora ¿Qué pasaría si se enviaran estos datos comprimidos en un ambiente muy ruidoso o se perdiera parte de la información de estos datos?

En todo proceso de comunicación existe la posibilidad de que se introduzca ruido a la señal transmitida. Un método para corregir errores consiste en incluir bits adicionales denominados “bits de redundancia”. Una de las propiedades que tiene la TWAD es que genera coeficientes con información redundante, que la hace tolerante a ruido, por lo que es de gran ayuda en aplicaciones como el almacenamiento de datos o la transmisión de datos en ambientes ruidosos.

La TWAD permite hacer más tolerante al ruido una señal transmitida ya que incluye información redundante en el proceso de transformación, que permite recuperar la señal original o al menos con error mínimo.

La aplicación que se desarrolló en este proyecto procesó una imagen con la TWAD, se aplicó ruido con diferentes magnitudes, se recuperó la imagen con TWIAD, se comparó con la original y se obtuvo información estadística de qué tanta tolerancia al ruido se logra.

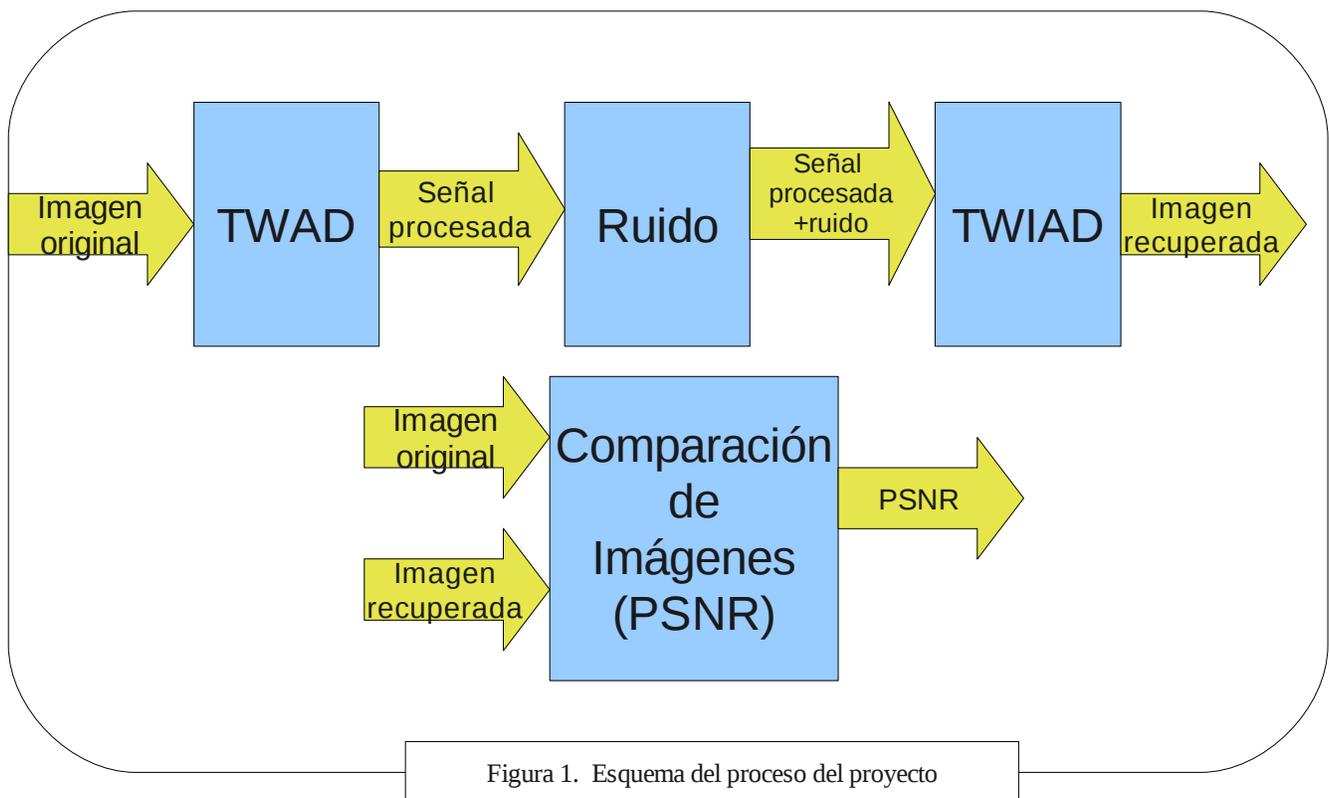
Desarrollo del Proyecto.

Diseño

El estudio experimental consistió en aplicar la TWAD a una imagen, como resultado nos da otra señal del doble de tamaño que la original, a esta señal procesada se le añade ruido a diferentes magnitudes, con ayuda de la TWIAD se recupera la imagen original y por último compararla con la imagen original, esto para diferentes imágenes, y elaborar tablas y gráficas, con la finalidad de obtener información de que tanta tolerancia al ruido se logra aplicando la TWAD en una imagen.

Así el diseño de la aplicación consistió en la construcción de varios módulos que se encargan de todo este proceso.

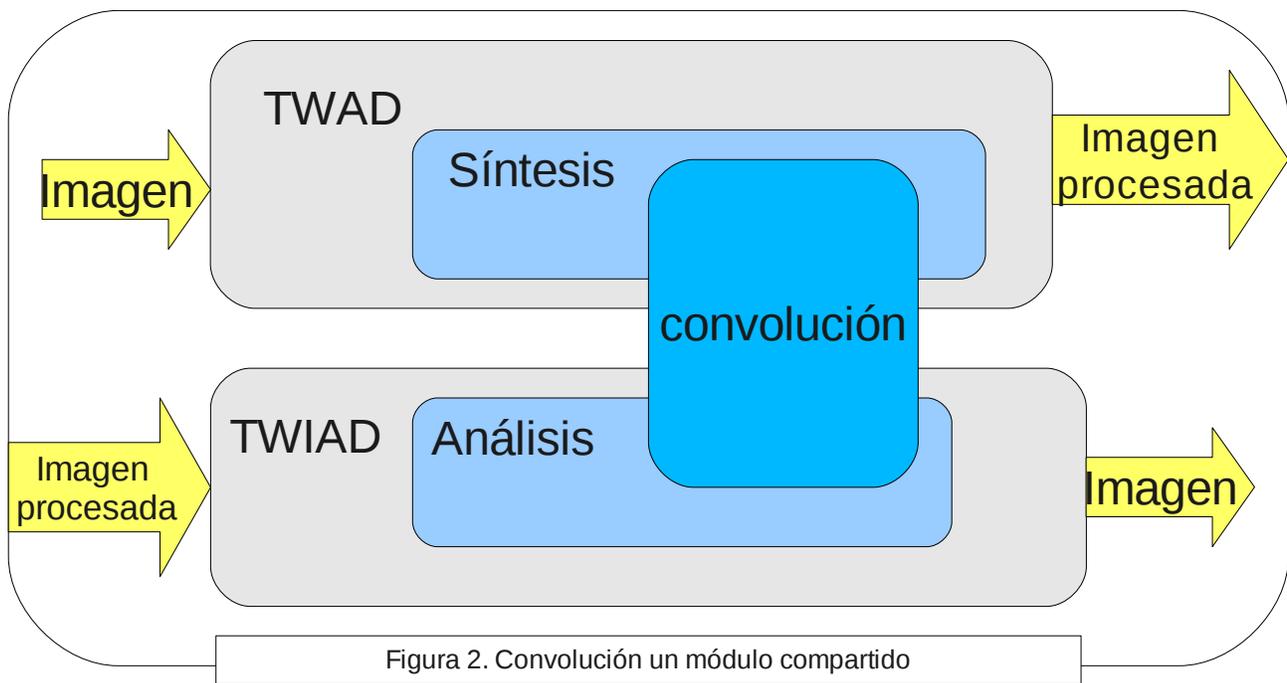
Se procesa una imagen con el módulo de la TWAD, en otro modulo se añade ruido a la imagen procesada, otro modulo encargado de calcular la TWIAD para obtener la imagen original, y otro modulo más para comparar las dos imágenes, Figura 1.



Para el cálculo la TWAD se necesita un análisis con filtros digitales por lo que se creó un módulo para ello, para recuperar la imagen con la TWIAD se necesita de un modulo de síntesis con filtros digitales, así es que también se creó.

El análisis con filtros digitales se emplea en la TWAD que descompone una señal en subbandas y la síntesis con filtros digitales se emplea en la TWIAD para la reconstrucción de una señal.

Para los módulos de análisis y síntesis con filtros, se creó un modulo compartido que realiza las operaciones de submuestreo, convolución y sobremuestreo de una señal, Figura 2. Este módulo es utilizado por los módulos de análisis y síntesis, y dependiendo que módulo lo usa arrojará resultados diferentes.



El análisis con filtros digitales necesita de las operaciones de convolución y de sobremuestreo, y para el modulo de síntesis necesita de las operaciones de convolución y submuestreo, Figura 3, por ello se colocaron estas tres operaciones en un modulo compartido con el de análisis y el de síntesis.

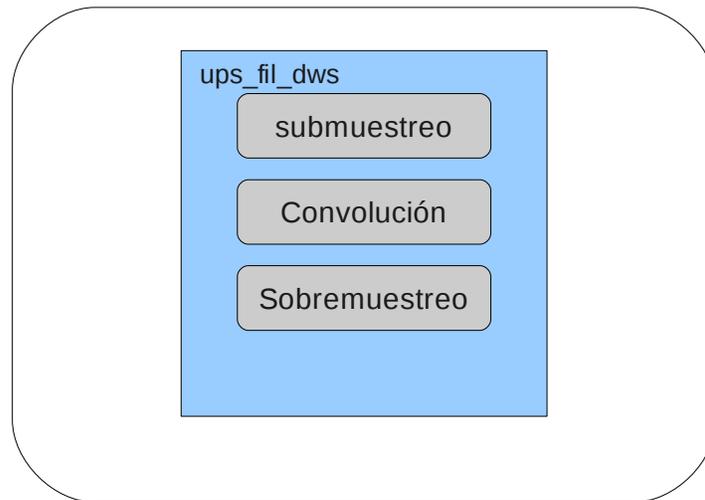


Figura 3. Módulo ups_fil_dws

Para los cálculos de la TWAD y TWIAD es necesario utilizar un banco filtros digitales, estos se almacenaron en un módulo, en el cual contiene los filtros digitales duales de construcción y reconstrucción perfecta.

Para añadir el ruido se creó otro módulo, el cual se encarga de añadir ruido a diferentes magnitudes a la imagen procesada con la TWAD, este ruido corresponde a una distribución Gaussiana, Figura 4.

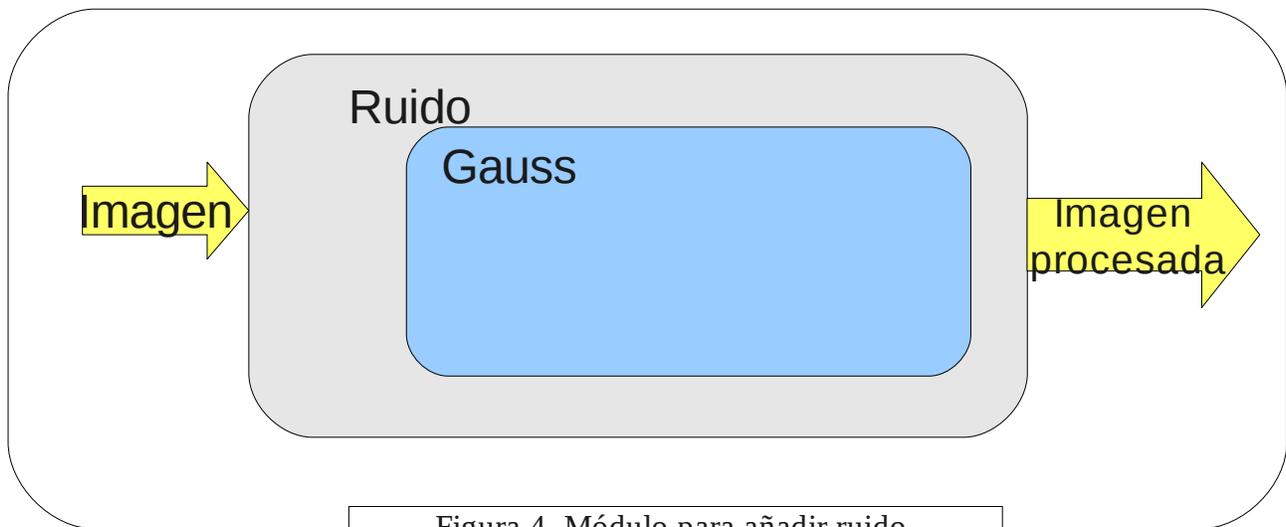


Figura 4. Módulo para añadir ruido.

Para comparar las imágenes se creó otro módulo, el cual se encarga de comparar la imagen original con la imagen obtenida de la TWIAD. El módulo de comparación de imágenes obtendrá el coeficiente de relación señal a ruido (PNSR) de las imágenes.

Para el análisis estadístico únicamente se recopila la información obtenida de la comparación de la imagen original y la recuperada, con diferentes magnitudes de ruido, esta información es almacenada en tablas y gráficas

Desarrollo e implementación de los módulos.

Módulo de Imagen

Abre una imagen en formato PGM(escala de grises) de tamaño 512x512 y regresa un vector donde están almacenados los valores de cada píxel de la imagen. También realiza otras funciones como imprimir una imagen en pantalla, entre otras.

Módulo de filtros.

Para realizar los cálculos es necesario de un banco de filtros digitales, el cual tiene los filtros digitales de construcción, y de reconstrucción. Los filtros digitales utilizados son los propuestos por Selesnick¹ [1]. Algunos de los filtros utilizados son:

Filtros de reconstrucción perfecta			
0	0	0.01122679215254	0
-0.0883883476	-0.01122679215254	0.01122679215254	0
0.08838834764832	0.01122679215254	-0.0883883476	-0.08838834764832
0.69587998903400	0.08838834764832	0.08838834764832	-0.08838834764832
0.69587998903400	0.08838834764832	0.69587998903400	0.69587998903400
0.08838834764832	-0.69587998903400	0.69587998903400	-0.69587998903400
-0.0883883476	0.69587998903400	0.08838834764832	0.08838834764832
0.01122679215254	-0.08838834764832	-0.0883883476	0.08838834764832
0.01122679215254	-0.08838834764832	0	0.01122679215254
0	0	0	-0.01122679215254

Filtros duales de reconstrucción perfecta			
0.03516384000000	0	-0.03516384000000	0
0	0	0	0
-0.08832942000000	-0.11430184000000	0.08832942000000	-0.11430184000000
0.23389032000000	0	0.23389032000000	0
0.76027237000000	0.58751830000000	-0.76027237000000	0.58751830000000
0.58751830000000	-0.76027237000000	0.58751830000000	0.76027237000000
0	0.23389032000000	0	0.23389032000000
-0.11430184000000	0.08832942000000	-0.11430184000000	-0.08832942000000
0	0	0	0
0	-0.03516384000000	0	0.03516384000000

1 Ivan Selesnick, profesor asociado de la Polytechnic University, sus áreas de investigación son el procesamiento de señales digitales y el procesamiento de imágenes y vídeo con wavelets

Módulo de convolución.

Este módulo realiza los cálculos de convolución, submuestreo y sobremuestreo sobre una señal.

Recibe dos vectores uno tamaño N, a este vector es a quien se le van a realizar los cálculos, y otro vector donde están almacenados los filtros digitales de tamaño M. También recibe un número entero para saber si se trata de análisis o síntesis.

Regresa un vector de tamaño:

	ENTRADA	SALIDA
ANÁLISIS	Vector tamaño N Filtro tamaño M	Vector tamaño: $(N-1) + M/2$
SÍNTESIS	Vector tamaño N Filtro Tamaño M	Vector tamaño: $2(N-1) + M$

Esta función es llamada de la siguiente manera:

```
Analisis:  
  
Señal'=UpFIDw(filtro, señal, 1);
```

```
Sintesis:  
  
Señal'=UpFIDw(filtro, señal, 2);
```

Módulo de análisis con filtros digitales

Este módulo se encarga de dividir una señal en dos sub-bandas de frecuencia, pasa-altas y pasa-bajas.

Recibe un vector de tamaño N y una matriz $Q_{[i][j]}$, donde i es el tamaño del filtro, y $j = 2$, Q contiene dos filtros digitales.

Parte se los cálculos realizados en este módulo los obtiene del módulo `ups_fil_dws` el cual le envía el vector N y un filtro digital $Q_{[i][0]}$ para obtener pasa-altas, y para obtener pasa-bajas le envía el vector N y el otro filtro digital $Q_{[i][1]}$.

Este módulo regresa una matriz $R_{[N/2][2]}$, en donde $R_{[N/2][0]}$ están almacenados el pasa-altas y el pasa-bajas en $R_{[N/2][1]}$. Este módulo se encarga de dividir la señal en dos.

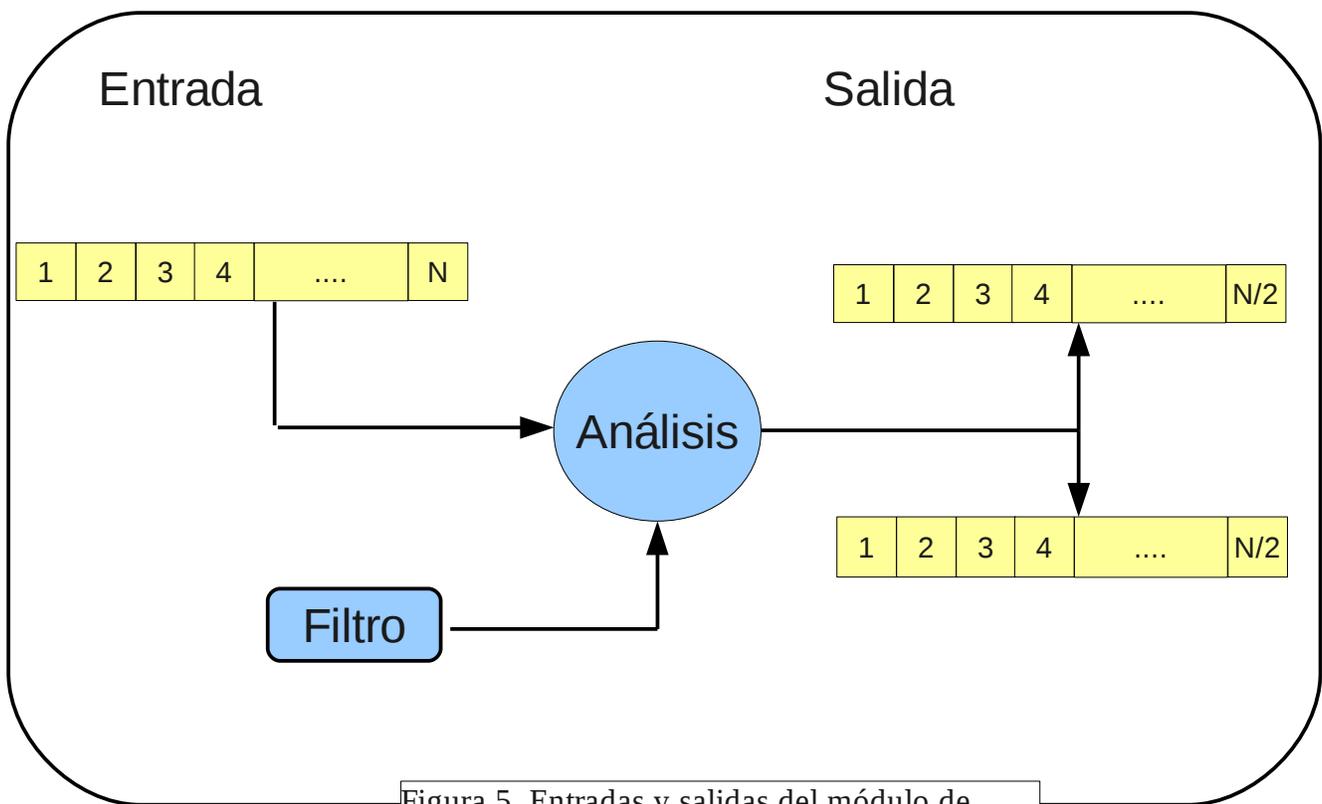


Figura 5. Entradas y salidas del módulo de análisis

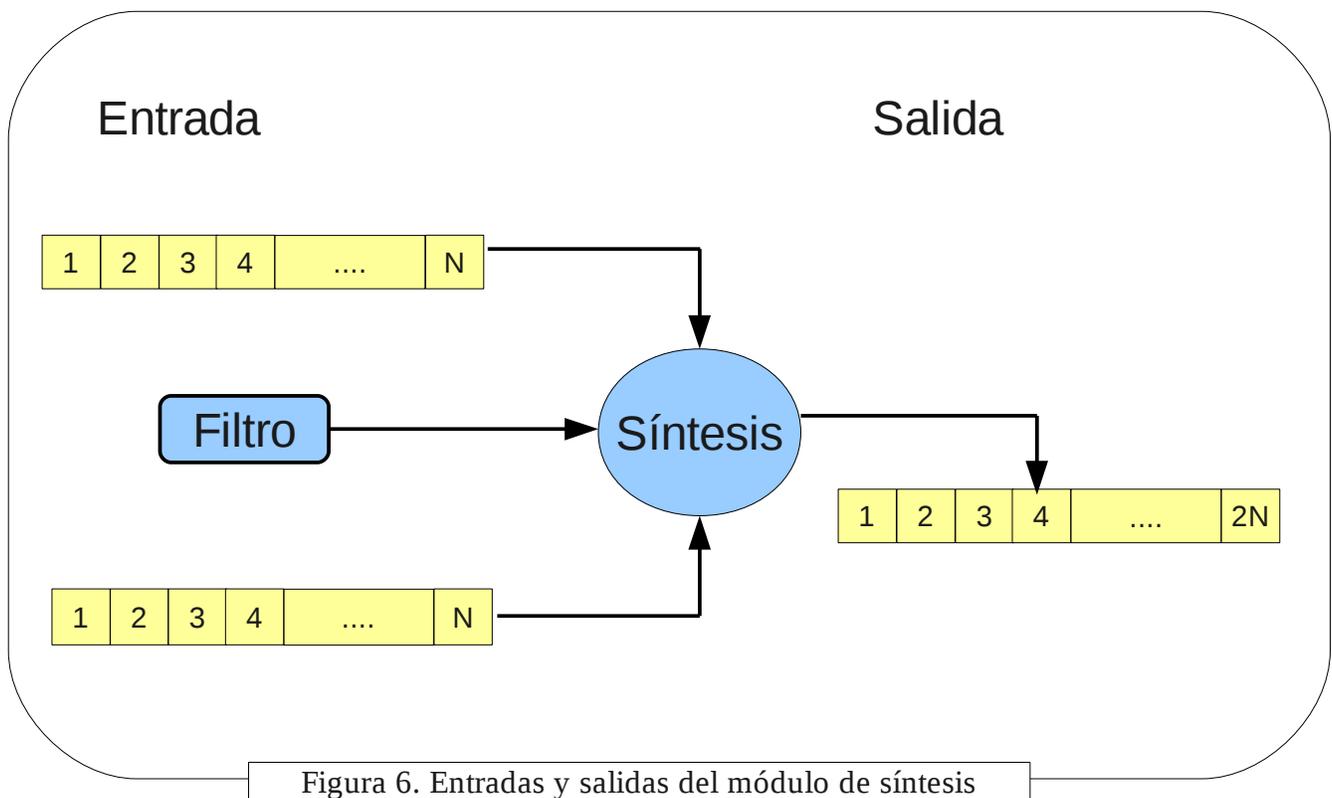
Módulo de síntesis con filtros digitales

Este módulo se encarga de reconstruir una señal a partir de dos señales (generadas por el análisis).

Recibe dos vectores de tamaño N . También recibe una matriz $F_{[i][h]}$ donde i es el tamaño del filtro, y $j = 2$, la cual contiene dos filtros digitales de reconstrucción perfecta.

Este módulo arroja como salida un vector de tamaño N^2 .

Aquí se utiliza el módulo de convolución, utilizando las funciones de submuestreo y convolución.

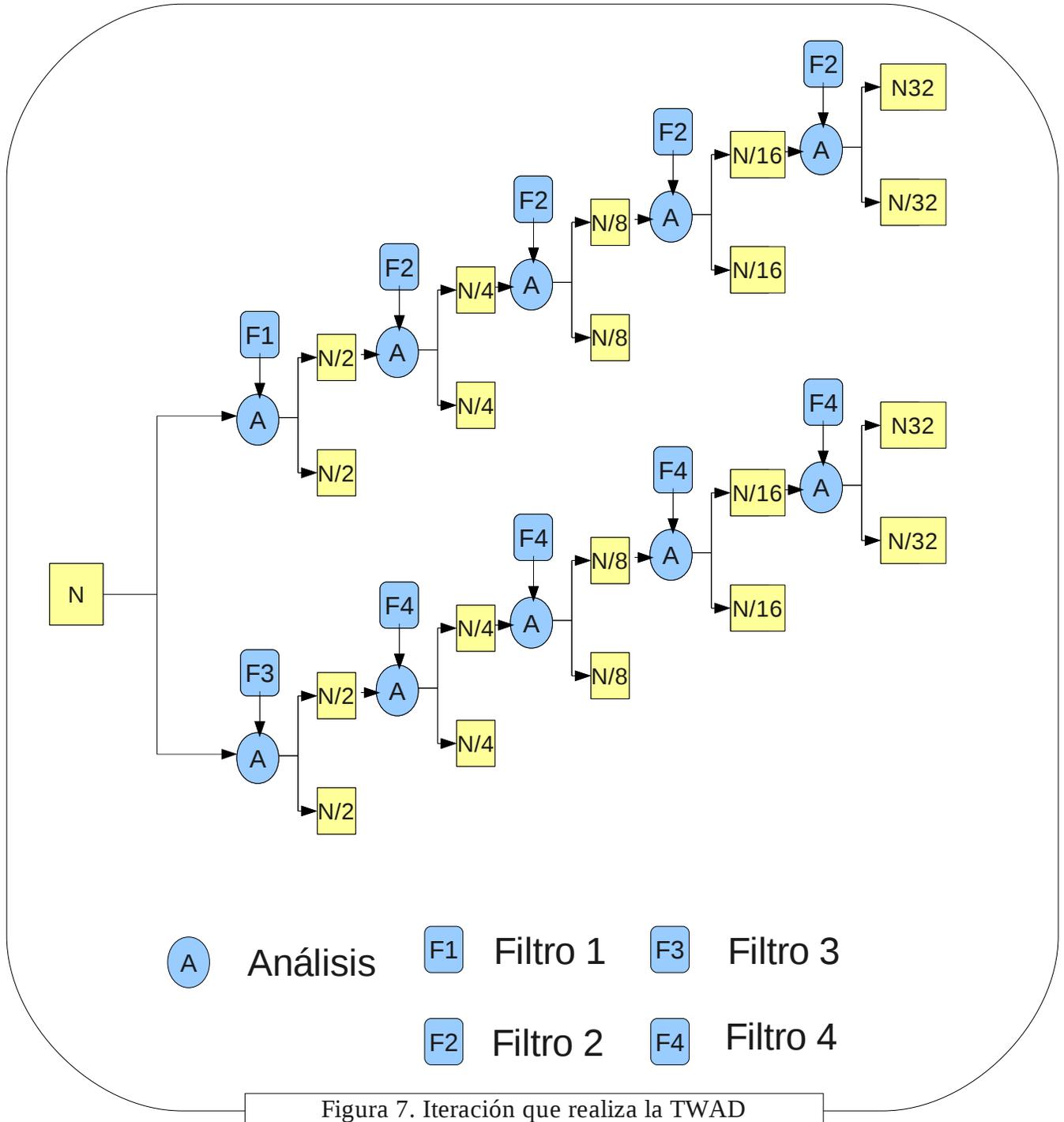


Módulo TWAD

El módulo de la TWAD recibe un vector en donde están almacenados los valores de cada píxel de la imagen, con valores que van de 0 a 255. Este vector es de tamaño 512^2 .

Este módulo, aparte de realizar otros cálculos, usa iterativamente el módulo de análisis, utilizando 4 filtros digitales distintos, Figura 7.

Después del procesar el vector con la TWAD se genera una señal del doble de tamaño que se introdujo almacenado en una matriz $W_{[512^2][2]}$.



Como se puede observar en la Figura 7, cada iteración de la TWAD se van generando dos vectores, uno el cual es almacenado en W y el otro es usado para la siguiente iteración, al final almacena los dos vectores en W .

Módulo TWIAD

Se encarga de la reconstrucción de la imagen que se generó con la TWAD. Recibe una matriz $W_{[512^2][2]}$, y regresa la imagen reconstruida en un vector de tamaño 512^2

Este módulo cíclicamente utiliza el módulo de síntesis, y utiliza 4 diferentes filtros de reconstrucción para realizar sus cálculos.

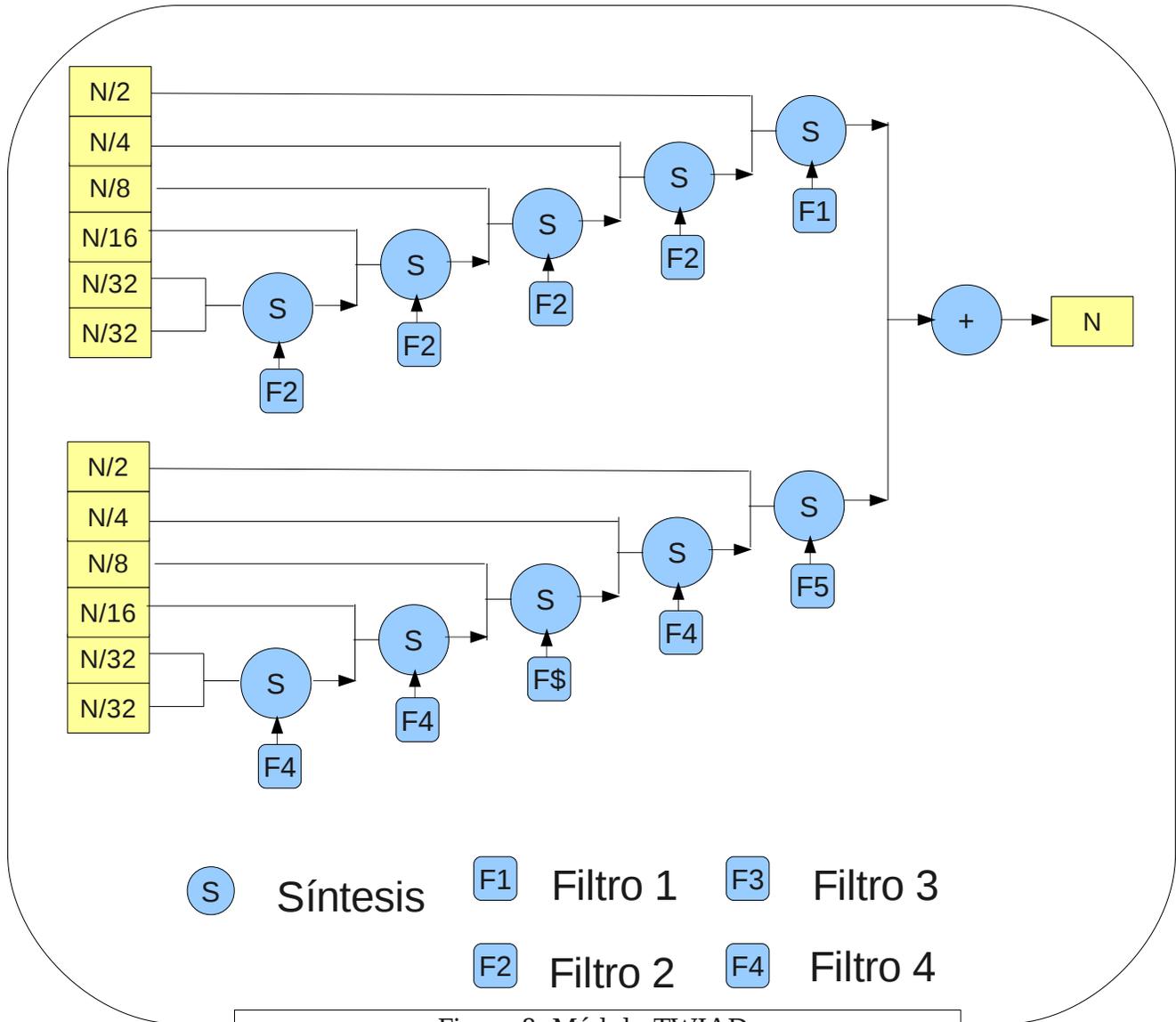


Figura 8. Módulo TWIAD.

Módulo de adición de ruido

Este módulo se encarga de añadir ruido a una distribución Gaussiana.

Como entrada recibe un número del tipo doble, que es usada como la intensidad del ruido, y una matriz $W_{[512^2][2]}$ que es la misma matriz que devuelve el módulo de TWAD y le añade ruido con una distribución de Gauss. Regresa la matriz W con ruido.

En Java existe una función que implementa a la distribución de Gauss:

```
Random r = new Random();  
  
valor_ruido = (sigma*(r.nextGaussian()));
```

Sigma es utilizado para la intensidad del ruido. Para este proyecto se utilizó un valor de sigma que va desde -200 hasta 200.

Módulo de comparación de imágenes

Como entrada recibe las dos imágenes, imagen original almacenada en un vector y la imagen procesada con la TWIAD almacenada en otro vector, del mismo tamaño, y las compara calculando el coeficiente de relación señal a ruido PSNR dado por:

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{RMSE} \right)$$

donde

$$RMSE = \frac{1}{512^2} \sum_{i,j=1}^{i,j=512} (p_{ij} - p'_{ij})^2$$

p_{ij} es el valor del píxel en la imagen original

p'_{ij} es el valor del píxel en la imagen recuperada

Como salida devuelve el valor calculado, PSNR.

Interfaz Gráfica.

Para tener una visualización de la aplicación se desarrolló una interfaz gráfica, en la cual se puede comparar a simple vista la imagen original y la imagen recuperada con la TWIAD, así como poder agregar diferentes coeficientes de ruido. En esta aplicación sólo se tuvieron que reunir los módulos expuestos anteriormente.

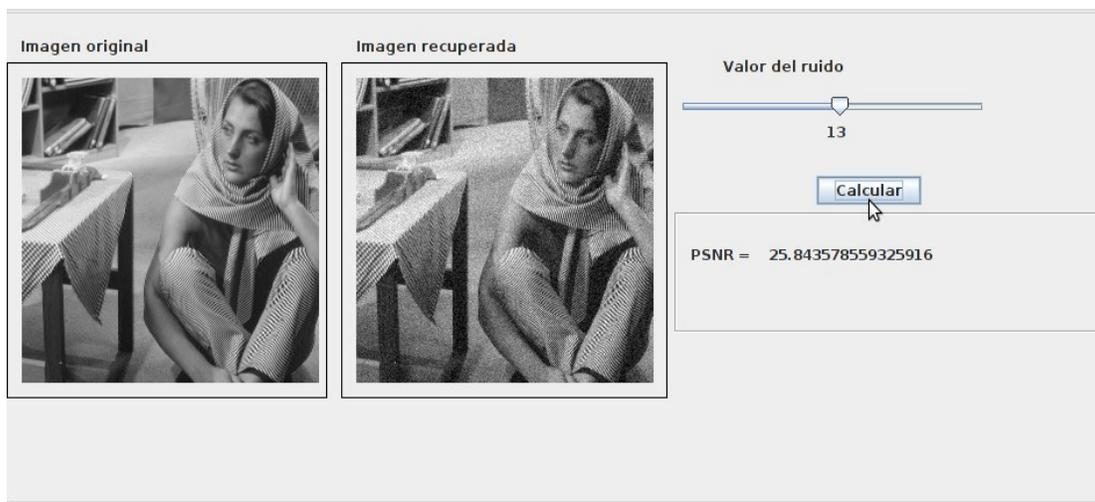


Figura 9. Pantalla de la aplicación.

También se puede observar el valor PNSR de las dos imágenes.

Análisis estadístico

El estudio experimental consistió en aplicar la TWAD a una imagen, como resultado nos da otra señal del doble de tamaño que la original, a esta señal procesada se le añade ruido a diferentes magnitudes a la imagen procesada, recuperarla con la TWIAD y compararla con la imagen original, esto para diferentes imágenes, y elaborar tablas y gráficas, con la finalidad de obtener información de que tanta tolerancia al ruido se logra aplicando la TWAD en una imagen.

Para comparar las imágenes se utilizó el coeficiente de relación señal a ruido PSNR. PSNR se mide por decibels.

“Mayor semejanza entre imágenes implica menor RMSE, como consecuencia, mayor PSNR” [2] esto implica que entre mas alto sea el valor de PSNR, mayor similitud tienen las imágenes. “PSNR no tiene significado absoluto. Es decir, que un PSNR de, por ejemplo, 25 es bueno”[2].

Cuando las imágenes son idénticas, el valor de PSNR es infinito.

Para la primera imagen (lena):

Como se pueden observar en la Figura 10, se utilizó la imagen de lena, en la cual en (d) y (e) se empieza a observar el ruido generado, donde se utilizó una magnitud de ruido de 5 y 10 respectivamente.

En (b) y (c) es casi imperceptible a simple vista el ruido.

Ahora comparando el valor de PSNR en la Tabla 1, se puede observar que un ruido de magnitud 1 (b) es muy bueno, incluso hasta 10 (e). Esto significa que no hay mucha pérdida de la información al procesar una imagen con la TWAD y añadirle mucho ruido.

IMAGEN	PSNR
b	46.869062408
c	38.437277491
d	34.105211367
e	28.115426352

Tabla 1. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Lena.

En la Tabla 2 se muestra los valores de PSNR para magnitudes de ruido desde 1 hasta 40.

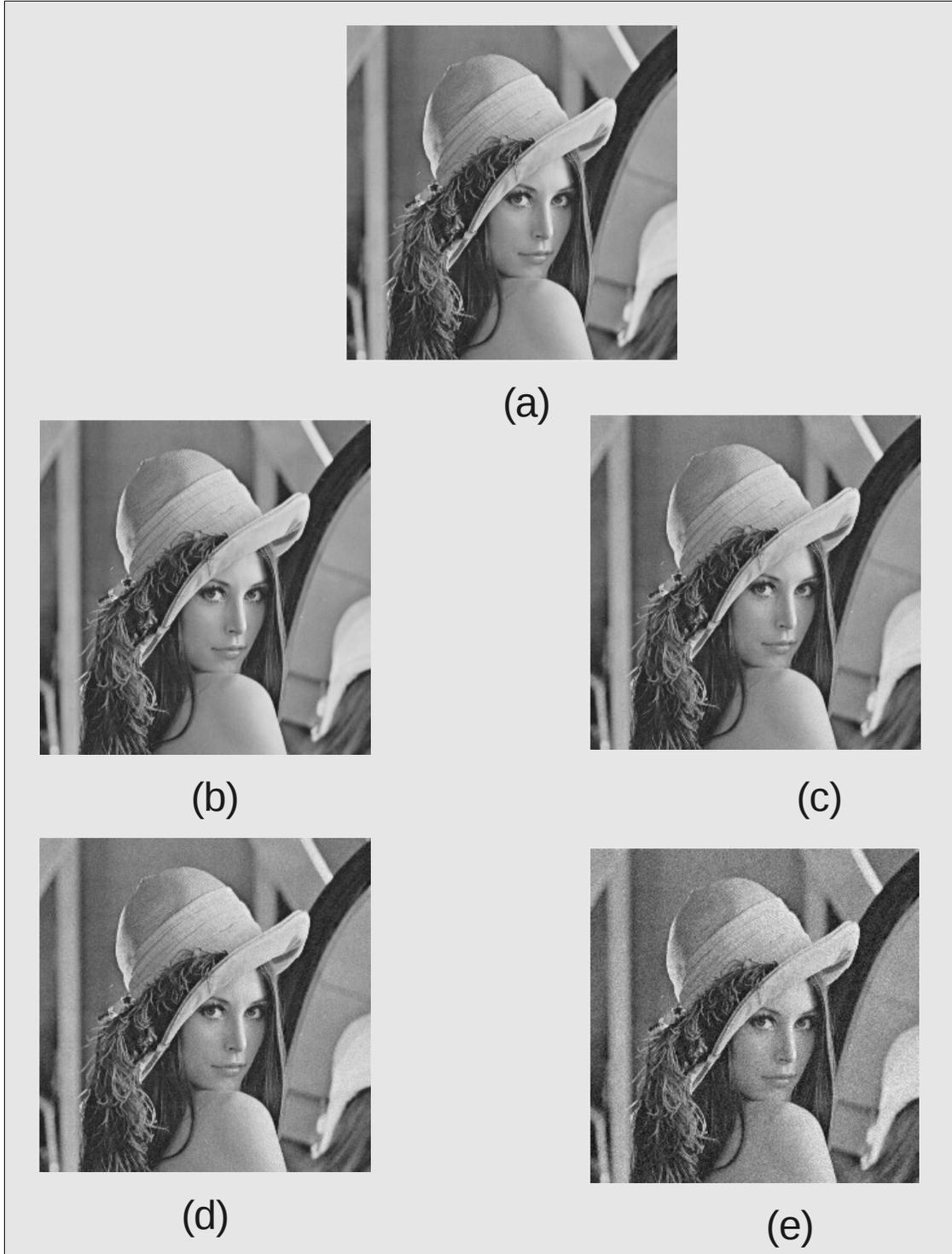


Figura 10. Imagen Lena. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 1, (c)Imagen con un ruido a magnitud 3, (d)Imagen con un ruido a magnitud 5. (e)Imagen con un ruido a magnitud 10.

Magnitud del ruido	PSNR
1	46.869062408
2	41.769670177
3	38.437277491
4	35.988463445
5	34.105211367
6	32.53667065
7	31.19829307
8	30.0488645
9	29.036614352
10	28.115426352
11	27.300926599
12	26.530755622
13	25.852340954
14	25.193519935
15	24.608833966
16	24.057804322
17	23.533642408
18	23.040039765
19	22.568755843
20	22.133639983
21	21.672034674
22	21.317836551
23	20.912835339
24	20.575503552
25	20.23844393
26	19.900371452
27	19.590774692
28	19.281671473
29	18.998677335
30	18.700303326
31	18.417074024
32	18.164884146
33	17.927911697
34	17.654565703
35	17.424726582
36	17.205264327
37	16.974934156
38	16.780095386
39	16.546363414
40	16.353449724

Tabla 2. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Lena.

El promedio PSNR de la Tabla 2 es de **24.189088357**.

Una tabla más completa se encuentra con los archivos adjuntos a este reporte.

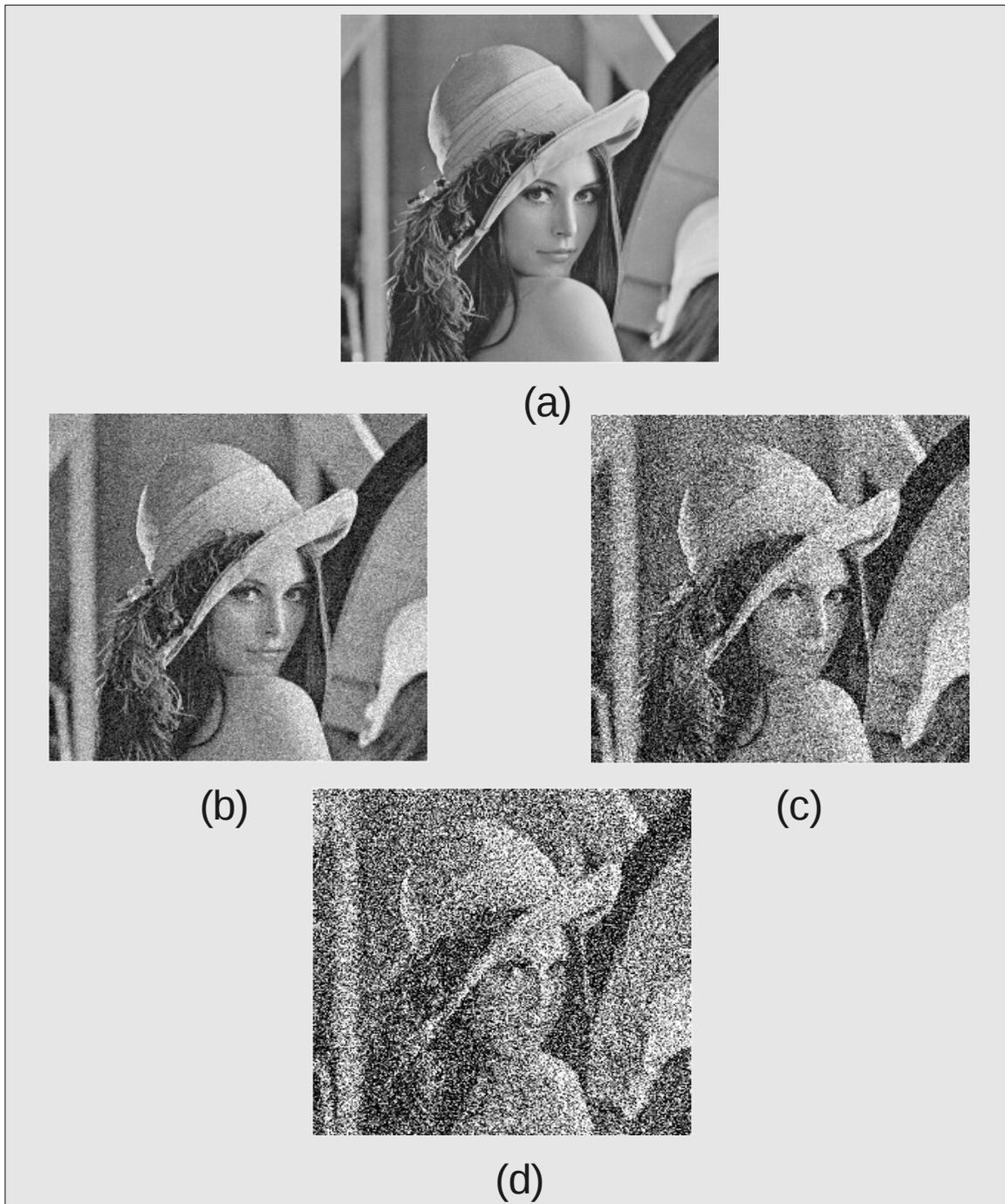
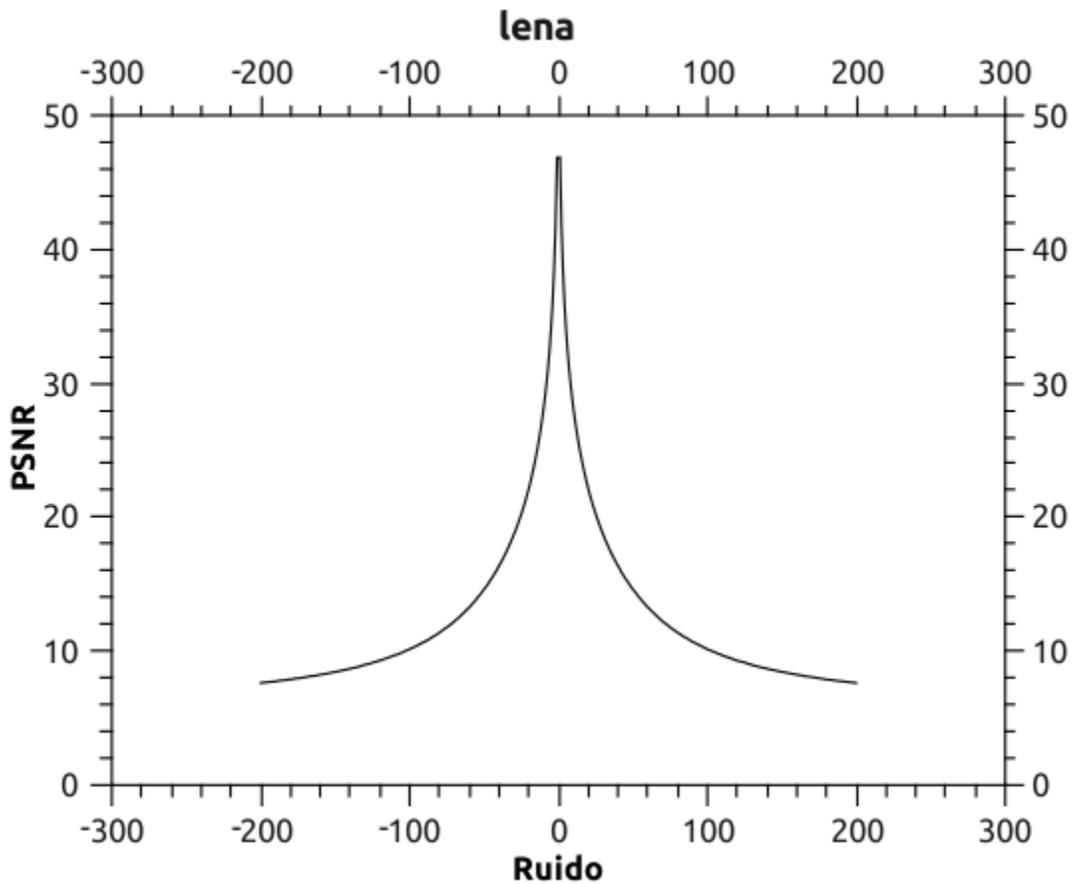


Figura 11. Imagen Lena. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 20, (c)Imagen con un ruido a magnitud 50, (d)Imagen con un ruido a magnitud 100.

En la Figura 11 podemos observar que en (b) se empieza a distorsionar la imagen, su valor PSNR corresponde a 22.1336399832559. En (c) y (d) la imagen esta ya muy distorsionada con mucho ruido, sus valores PSNR son de 14.6185096135599 y 10.1375075972268 respectivamente.

Para magnitudes de ruido mayores a 14 el valor de PSNR empieza a bajar de los 25db. Aunque se pierde mucha información con valores de ruido mayores a 14 todavía se puede apreciar la imagen. Inclusive en la Figura 11 en (b) el ruido que se le esta agregando a la TWAD es bastante, pero al recuperarla con la TWIAD todavía se puede apreciar muy bien la imagen.

En la gráfica 1, se puede comparar el valor de PSNR para magnitudes de ruido que van de -200 a 200.



Gráfica 1. Gráfica de Ruido vs PSNR para la imagen de lena



(a)



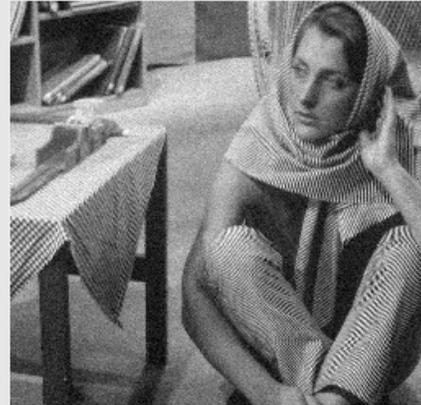
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 12. Imagen Barbara. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 1, (c)Imagen con un ruido a magnitud 3, (d)Imagen con un ruido a magnitud 5. (e)Imagen con un ruido a magnitud 10.

Para la imagen “Barbara”, Figura 12, tenemos resultados parecidos que en la de “Lena”, Figura 10. En (b), (c) y (d), a simple vista, son muy parecidos, por no decir idénticos, pero tienen diferentes valores PSNR, superiores a 30 db. Por lo que la TWAD cumple muy bien su trabajo para generar información redundante. En (e), aunque su valor PSNR es de 28db, se empieza a observar pérdida de información.

IMAGEN	PSNR
b	46.892941459
c	38.449217838
d	34.096911966
e	28.126749895

Tabla 3. Valores PSNR correspondientes a la Figura 12.

Los valores PSNR para ruidos de hasta magnitud 10 son muy buenos, Tabla 3.

En la Tabla 4 se pueden comparar con más magnitudes de ruido, para la imagen de “Barbara”. Para valores PSNR mayores a 25db se encuentran con magnitudes de ruido menores a 14. Donde la TWAD y la TWAID funcionan correctamente.

Para magnitudes de ruido de hasta 40, todavía es muy buena la TWAD, en donde hay un promedio de **24.2422 db**.

Con magnitudes de ruido superiores a los 15 el valor PSNR empieza a decrecer.

En la figura 13, para magnitudes de ruido superiores a 50, la imagen empieza a generar bastante ruido, por lo que hay pérdida de información.

Magnitud del ruido	PSNR
1	46.892941459
2	41.756616234
3	38.449217838
4	35.978943568
5	34.096911966
6	32.495995199
7	31.182254232
8	30.050070526
9	29.01071473
10	28.126749895
11	27.283774148
12	26.549809614
13	25.867162236
14	25.231435144
15	24.637943832
16	24.090634877
17	23.538615739
18	23.08024887
19	22.598239036
20	22.172602695
21	21.758727631
22	21.378005916
23	20.988199323
24	20.65019963
25	20.323278976
26	19.95733837
27	19.676653958
28	19.360762506
29	19.083901826
30	18.805167371
31	18.533429926
32	18.277989007
33	18.019094565
34	17.789007551
35	17.527625469
36	17.324523686
37	17.086476102
38	16.900141284
39	16.681852683
40	16.475737617

Tabla 4. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Lena.



(a)



(b)



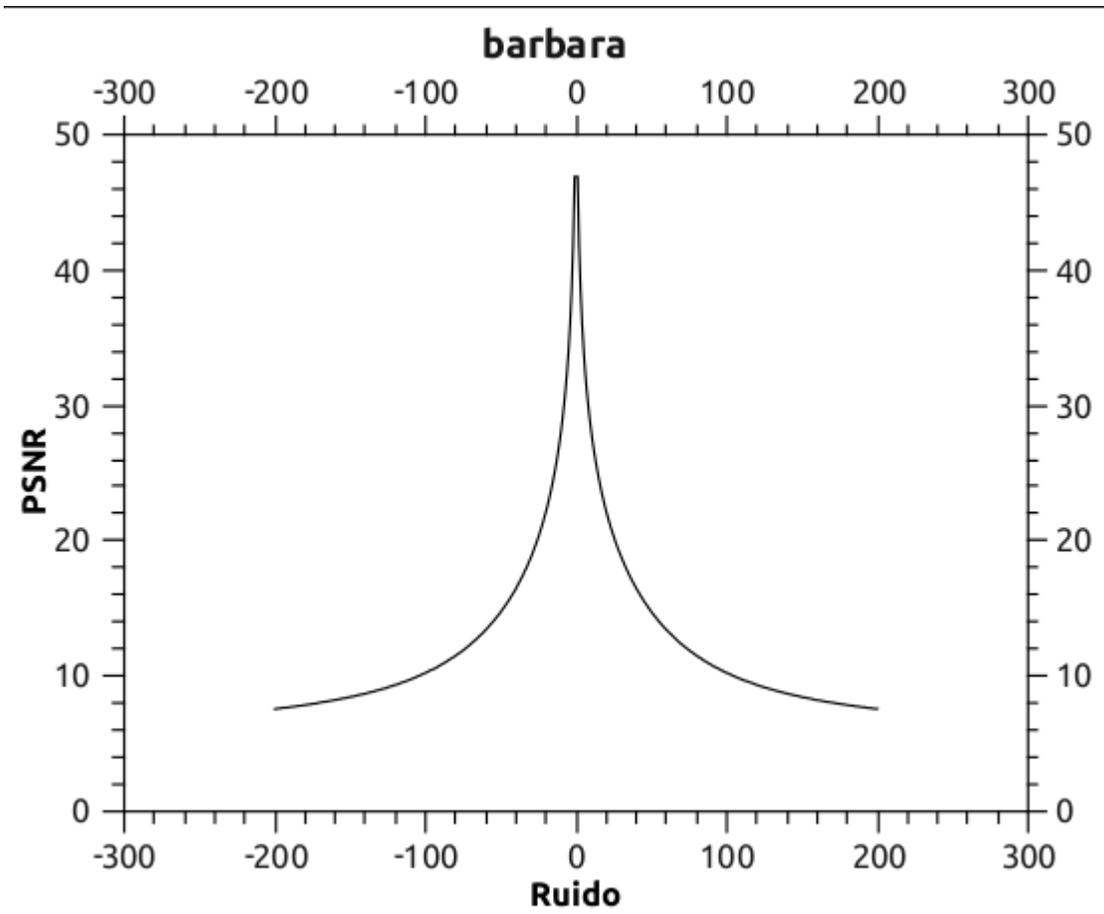
(c)



(d)

Figura 13. Imagen Barbara. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 20, (c)Imagen con un ruido a magnitud 50, (d)Imagen con un ruido a magnitud 100.

Graficando magnitudes de ruido de -200 hasta 200 para la imagen Barbara obtenemos la Gráfica 2, que es muy parecida a la Gráfica 1, correspondiente a la imagen Lena.



Gráfica 2. Gráfica de Ruido vs PSNR para la imagen de Barbara

Para la imagen Frutas.pgm tenemos los mismos resultados. En la Figura 14 con ruido de magnitud 10, la imagen se ve muy parecida a la original. Incluso sus valores correspondientes de PSNR son levemente mejores. Tabla 5

IMAGEN	PSNR
b	46.909455123
c	38.43405014
d	34.076035246
e	28.167705928

Tabla 5. Valores PSNR correspondientes a la Figura 14.

En la Tabla 6, se encuentran mayores magnitudes de ruido con sus correspondientes valores PSNR, en donde el promedio del valor PSNR para esos valores es de **24.3391db**, que es ligeramente superior a los otros dos.

En la Figura 15, también se puede observar que magnitudes de ruido 50 y 100 se pierde mucha información en la imagen.

La Gráfica 3 también es muy parecida a la de las imágenes anteriores.

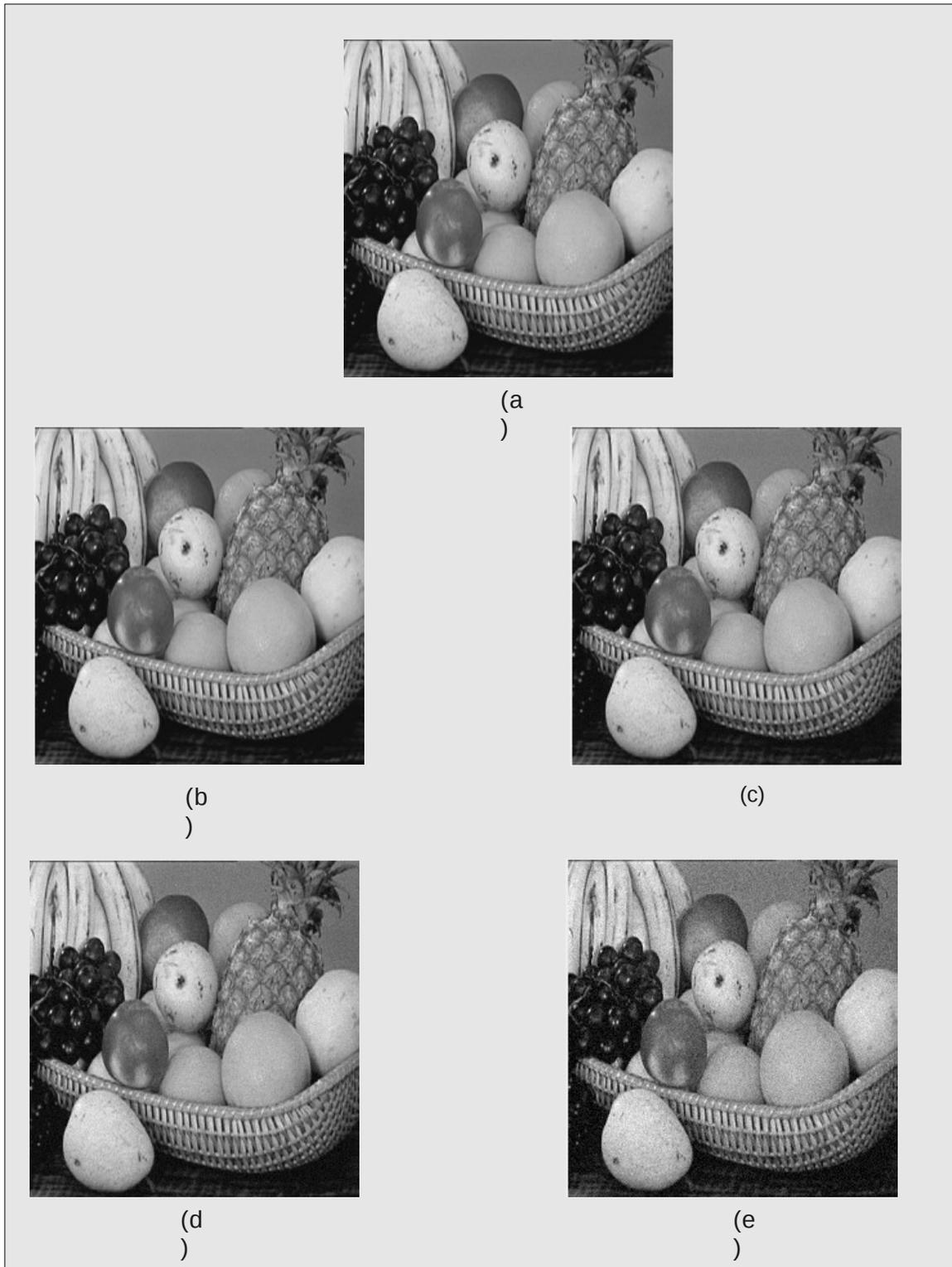


Figura 14. Imagen Frutas. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 1, (c)Imagen con un ruido a magnitud 3, (d)Imagen con un ruido a magnitud 5. (e)Imagen con un ruido a magnitud 10.

Magnitud del ruido	PSNR
1	46.909455123
2	41.757578454
3	38.43405014
4	35.992844886
5	34.076035246
6	32.530322866
7	31.202112699
8	30.060687685
9	29.06179437
10	28.167705928
11	27.334882125
12	26.601978072
13	25.930135426
14	25.311516501
15	24.745120011
16	24.157851153
17	23.670978046
18	23.171046482
19	22.749116264
20	22.304811471
21	21.890386557
22	21.513859922
23	21.141781375
24	20.79290505
25	20.448685714
26	20.102572165
27	19.804955413
28	19.497166003
29	19.209591604
30	18.940473251
31	18.685477326
32	18.399730914
33	18.152800183
34	17.907466979
35	17.706714052
36	17.465244381
37	17.257880483
38	17.028961539
39	16.842975329
40	16.611812089

Tabla 6. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Frutas.

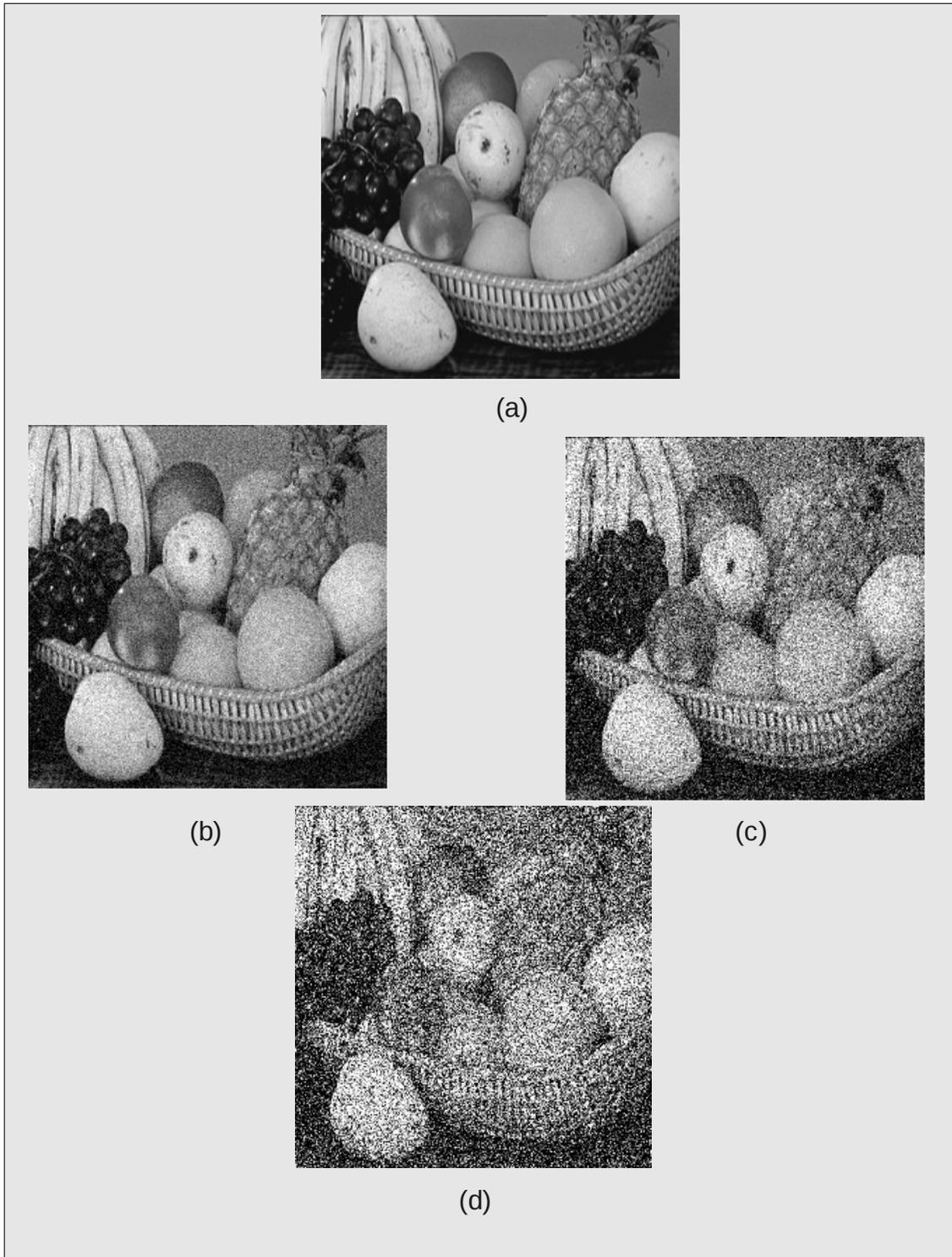
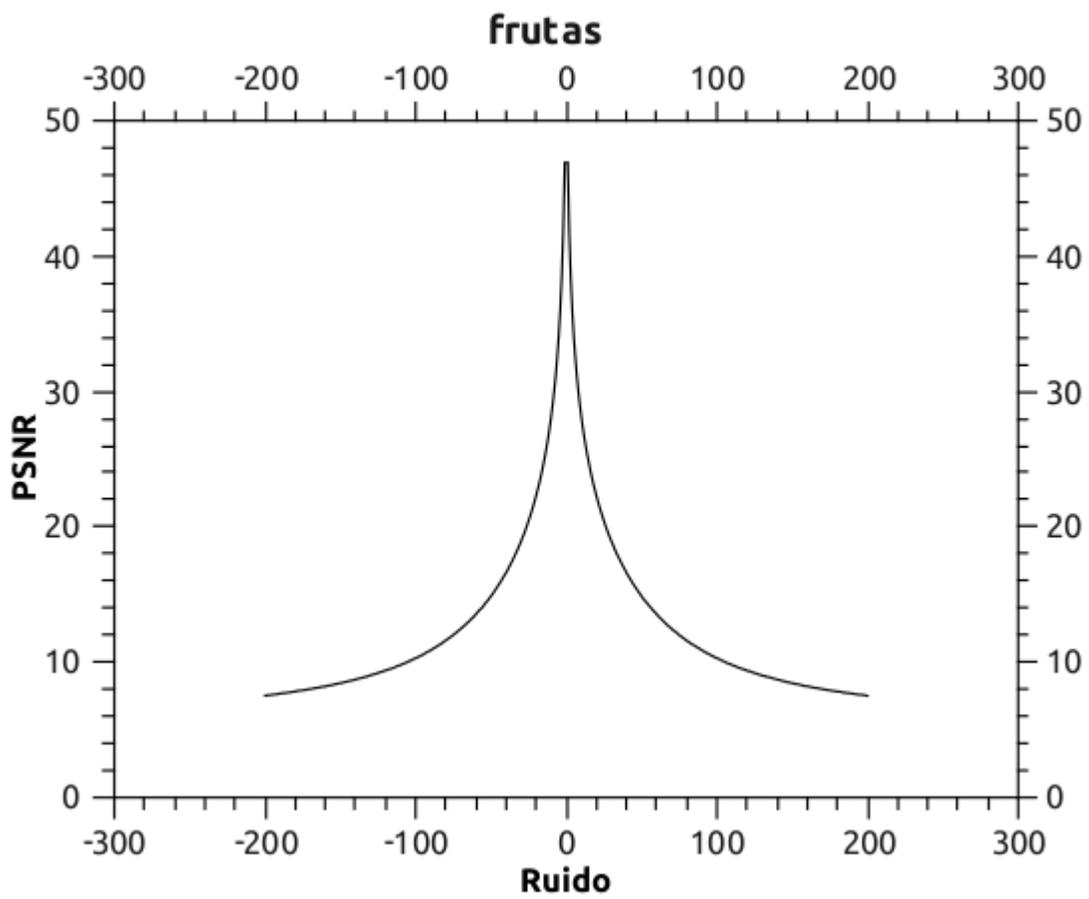


Figura 15. Imagen Frutas. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 20, (c)Imagen con un ruido a magnitud 50, (d)Imagen con un ruido a magnitud 100.



Gráfica 3. Gráfica de Ruido vs PSNR para la imagen de Frutas

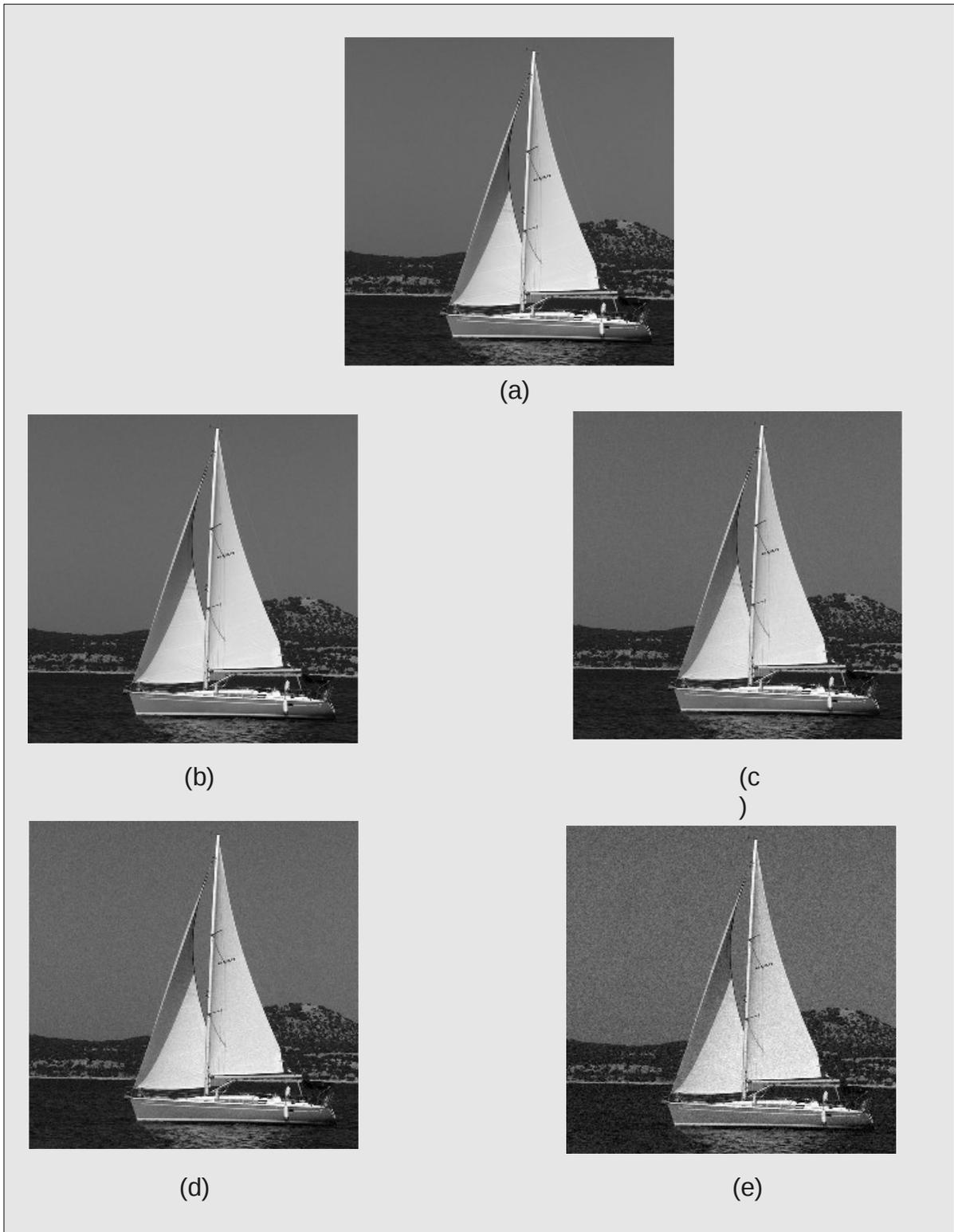


Figura 16. Imagen Barco. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 1, (c)Imagen con un ruido a magnitud 3, (d)Imagen con un ruido a magnitud 5. (e)Imagen con un ruido a magnitud 10.

En la Figura 16 se utilizó la imagen barco.pgm, y se le aplicó las mismas magnitudes de ruido, se puede observar que con magnitud de ruido de hasta 5 (d) la imagen se conserva muy bien, y en con un ruido de magnitud 10(e) se puede ver que la pérdida de información es mínima. Así la TWAD puede conservar muy bien la información, aún en un ambiente muy ruidoso.

Los valores PSNR correspondientes a la Figura 16 están en la Tabla 7. Los valores PSNR todavía se encuentran muy altos.

IMAGEN	PSNR
b	46.879991713
c	38.438746232
d	34.098671398
e	28.146366687

Tabla 7. Valores PSNR correspondientes a la Figura 16.

En la Tabla 8, se encuentran mayores magnitudes de ruido con sus correspondientes valores PSNR, en donde el promedio del valor PSNR para esos valores es de **24.2854db**

En la Figura 17, también se puede observar que magnitudes de ruido 50 y 100 se pierde mucha información en la imagen.

Magnitud del ruido	PSNR
1	46.879991713
2	41.754184906
3	38.438746232
4	36.030109915
5	34.098671398
6	32.53848085
7	31.214632308
8	30.057412342
9	29.041760512
10	28.146366687
11	27.319482084
12	26.576114253
13	25.887820246
14	25.243716718
15	24.658438234
16	24.119052098
17	23.586221437
18	23.096681316
19	22.662121128
20	22.237057132
21	21.832652264
22	21.430061449
23	21.061657881
24	20.711878954
25	20.365752993
26	20.047600053
27	19.745723701
28	19.430545648
29	19.161126486
30	18.869652972
31	18.599300293
32	18.326704168
33	18.08152528
34	17.857785823
35	17.594576493
36	17.383845862
37	17.153281436
38	16.931144832
39	16.721981364
40	16.523092671

Tabla 8. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Barco.pgm.

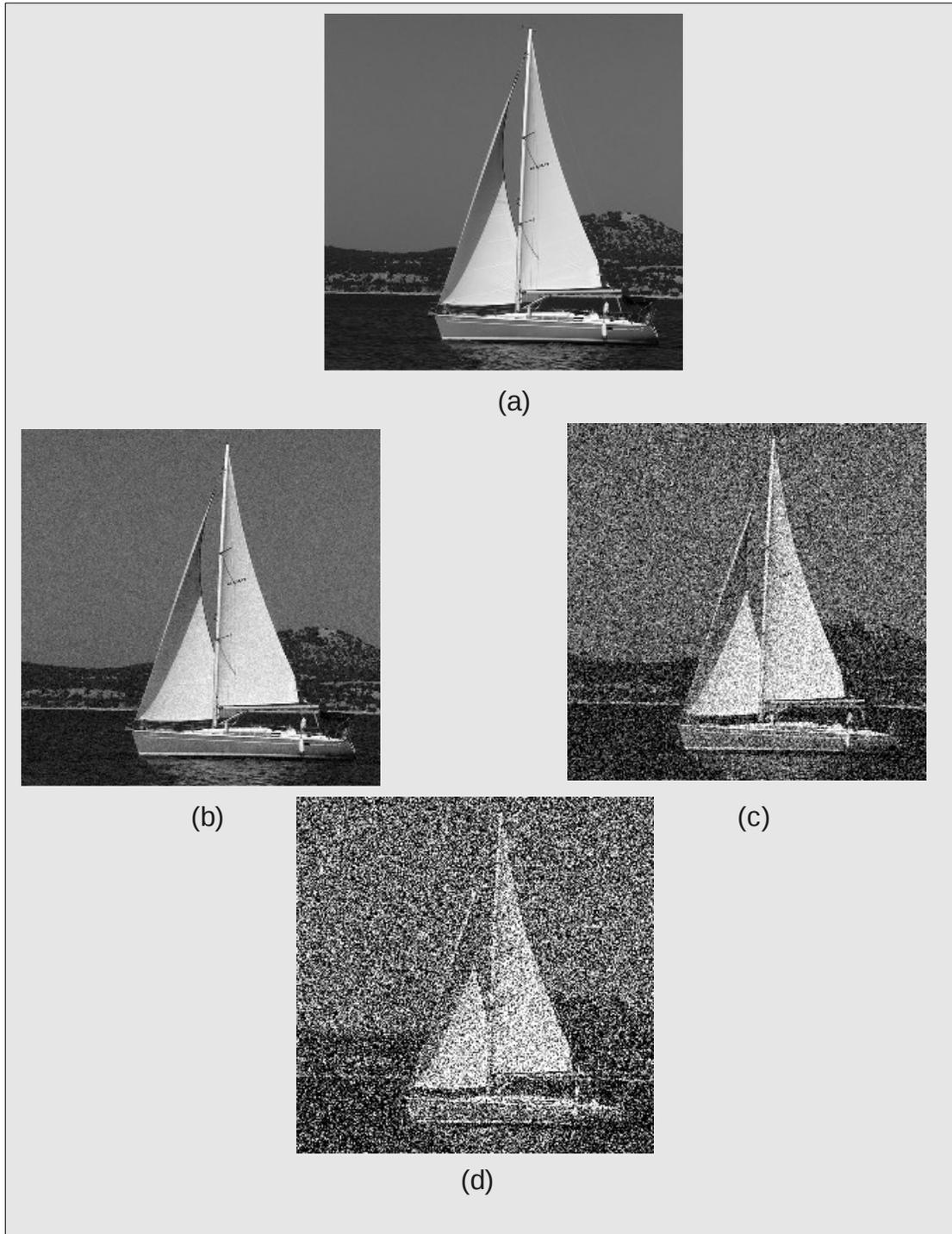
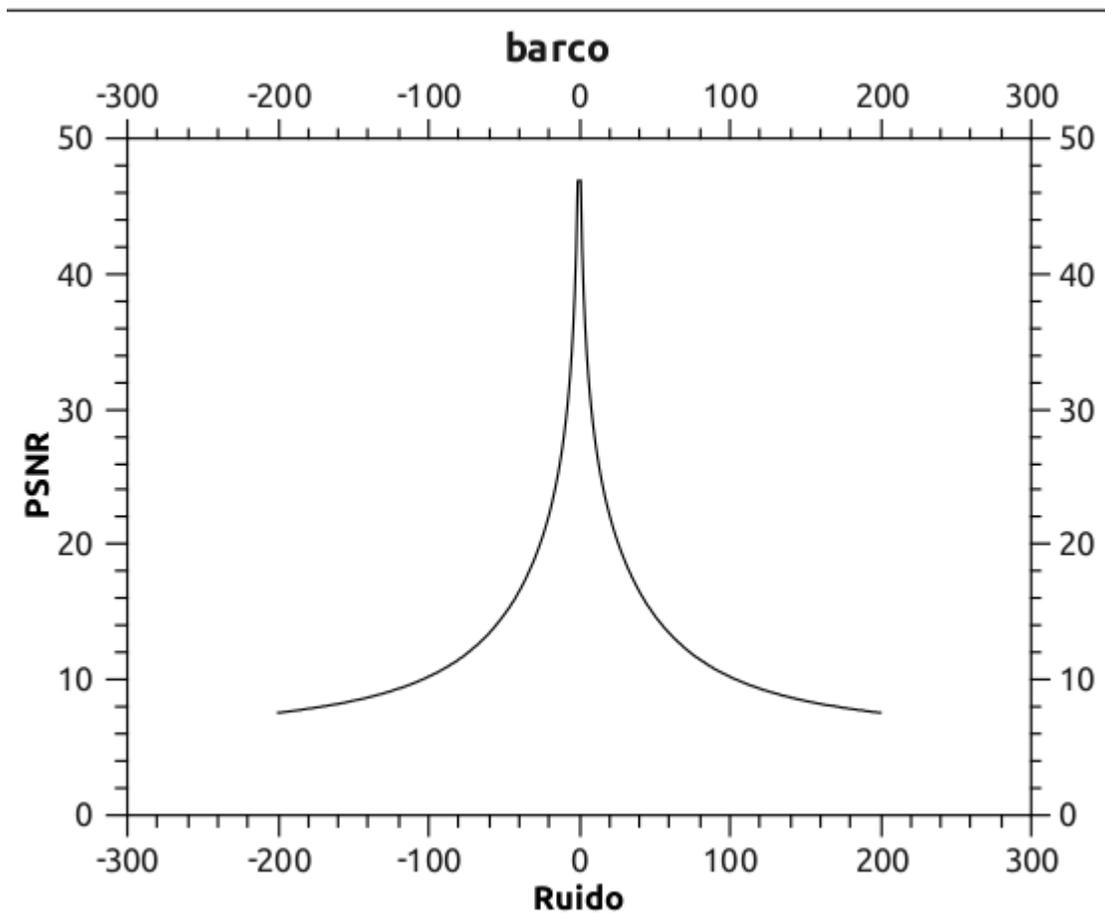


Figura 15. Imagen Frutas. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 20, (c)Imagen con un ruido a magnitud 50, (d)Imagen con un ruido a magnitud 100.

La Gráfica 4 corresponde a los valores PSNR de la imagen barco.pgm, es muy similar a las anteriores.



Gráfica 4. Gráfica de Ruido vs PSNR para la imagen Barco.pgm

La imagen Grises.pgm (Figura 16) el comportamiento es parecido a las anteriores, pero los valores PSNR son un poco más altos, como se puede observar en la Tabla 9.

IMAGEN	PSNR
b	47.119720796
c	38.660327211
d	34.30472079
e	28.405152339

Tabla 9. Valores de PSNR correspondientes a la Figura 16.

En la tabla 10 también se puede observar que los valores de PSNR son un poco más altos que la de las imágenes anteriores, cuyo promedio para esas magnitudes de ruido es de 24.6178db

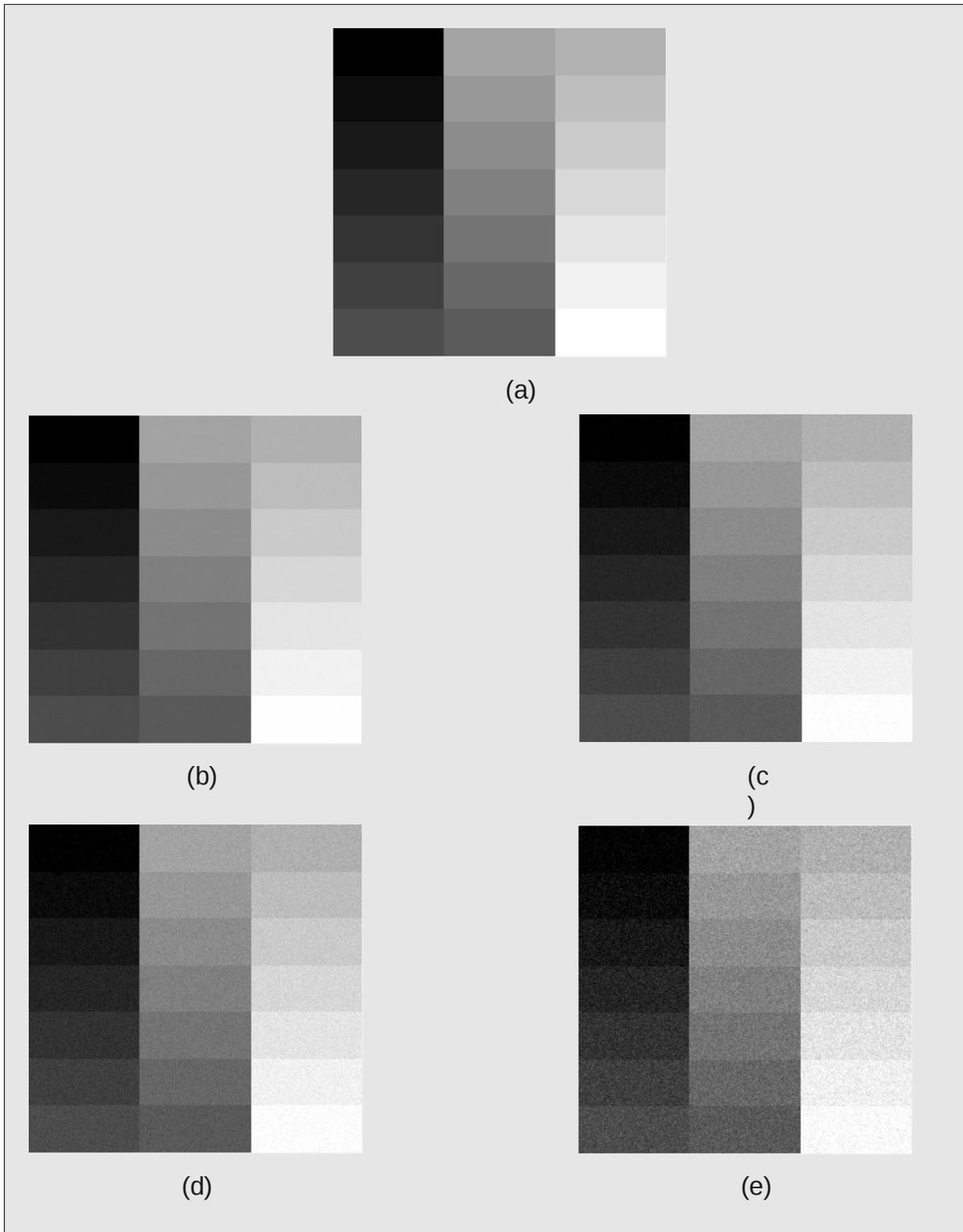


Figura 16. Imagen Grises.pgm. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 1, (c)Imagen con un ruido a magnitud 3, (d)Imagen con un ruido a magnitud 5. (e)Imagen con un ruido a magnitud 10.

Magnitud del ruido	PSNR
1	47.119720796
2	41.966350733
3	38.660327211
4	36.208827413
5	34.30472079
6	32.76727157
7	31.445262611
8	30.309798722
9	29.301377927
10	28.405152339
11	27.593690348
12	26.853713363
13	26.173723056
14	25.587099827
15	24.97410815
16	24.449956194
17	23.917352767
18	23.456878381
19	23.005203796
20	22.579649387
21	22.157499783
22	21.778874972
23	21.43800912
24	21.07720046
25	20.74861473
26	20.407323996
27	20.10383863
28	19.818423274
29	19.526060942
30	19.240080214
31	19.006636845
32	18.748874133
33	18.486038774
34	18.239638124
35	18.021207647
36	17.800317987
37	17.580082043
38	17.370671657
39	17.138588346
40	16.947805401

Tabla 10. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Grises.pgm.

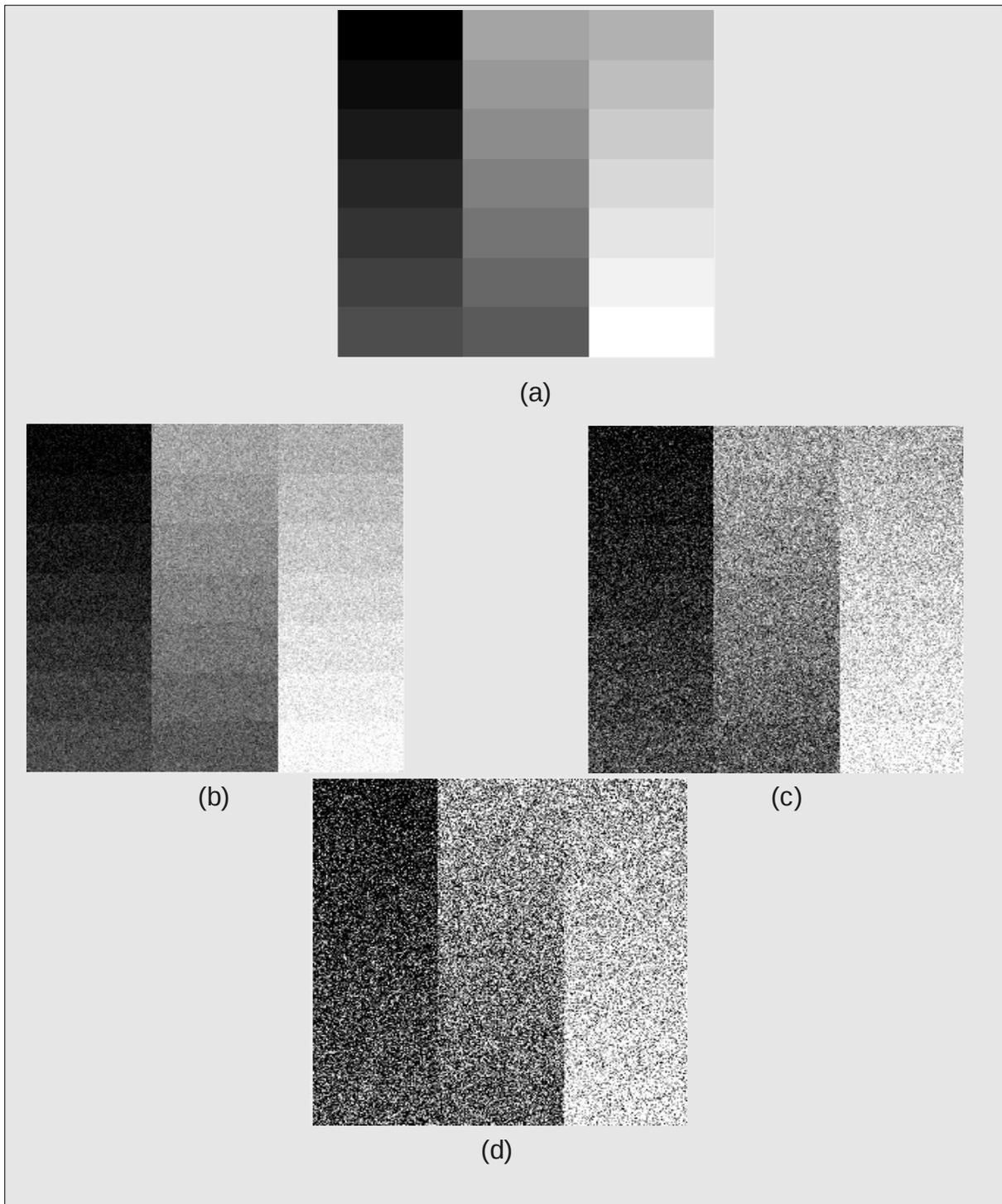
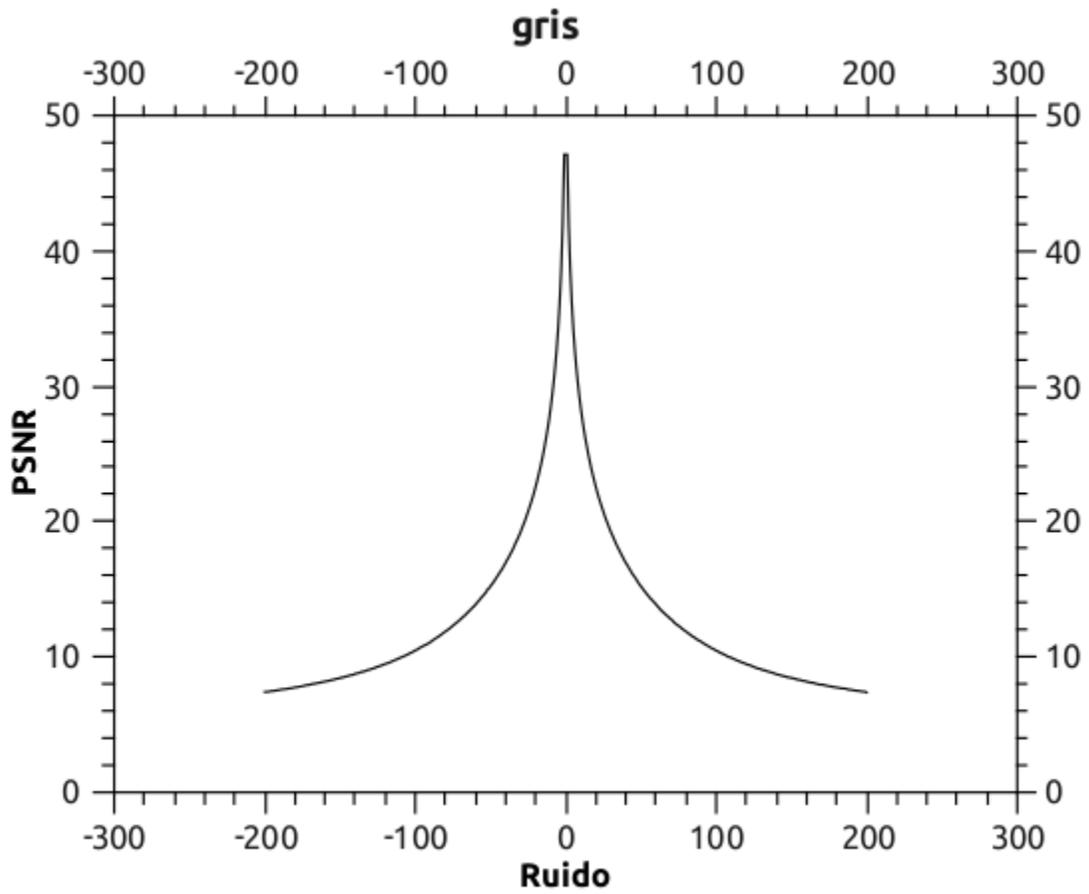


Figura 17. Imagen Grises. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 20, (c)Imagen con un ruido a magnitud 50, (d)Imagen con un ruido a magnitud 100.

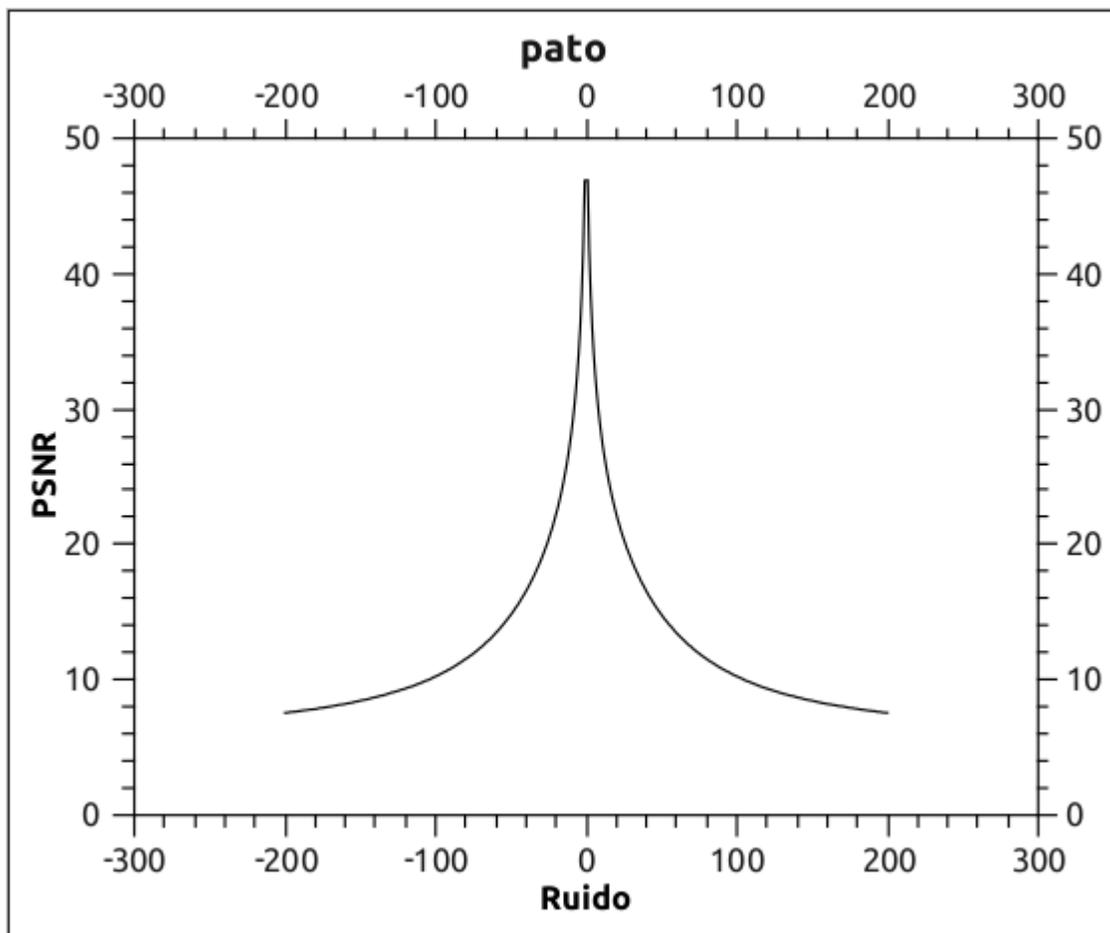


Gráfica 5. Gráfica de Ruido vs PSNR para la imagen Barco.pgm

Para la imagen pato.pgm, Figura 18, se tienen resultados muy similares a los anteriores, ya que los valores PSNR no varían mucho.

Igual los valores PSNR, con magnitudes de ruido de 0 hasta 40 en la Tabla, son muy parecidas a las anteriores con un promedio de 24.2907db.

La Gráfica 6 muestra los valores de PSNR obtenidas con magnitudes de ruido de -200 hasta 200



Gráfica 6. Gráfica de Ruido vs PSNR para la imagen Pato.pgm

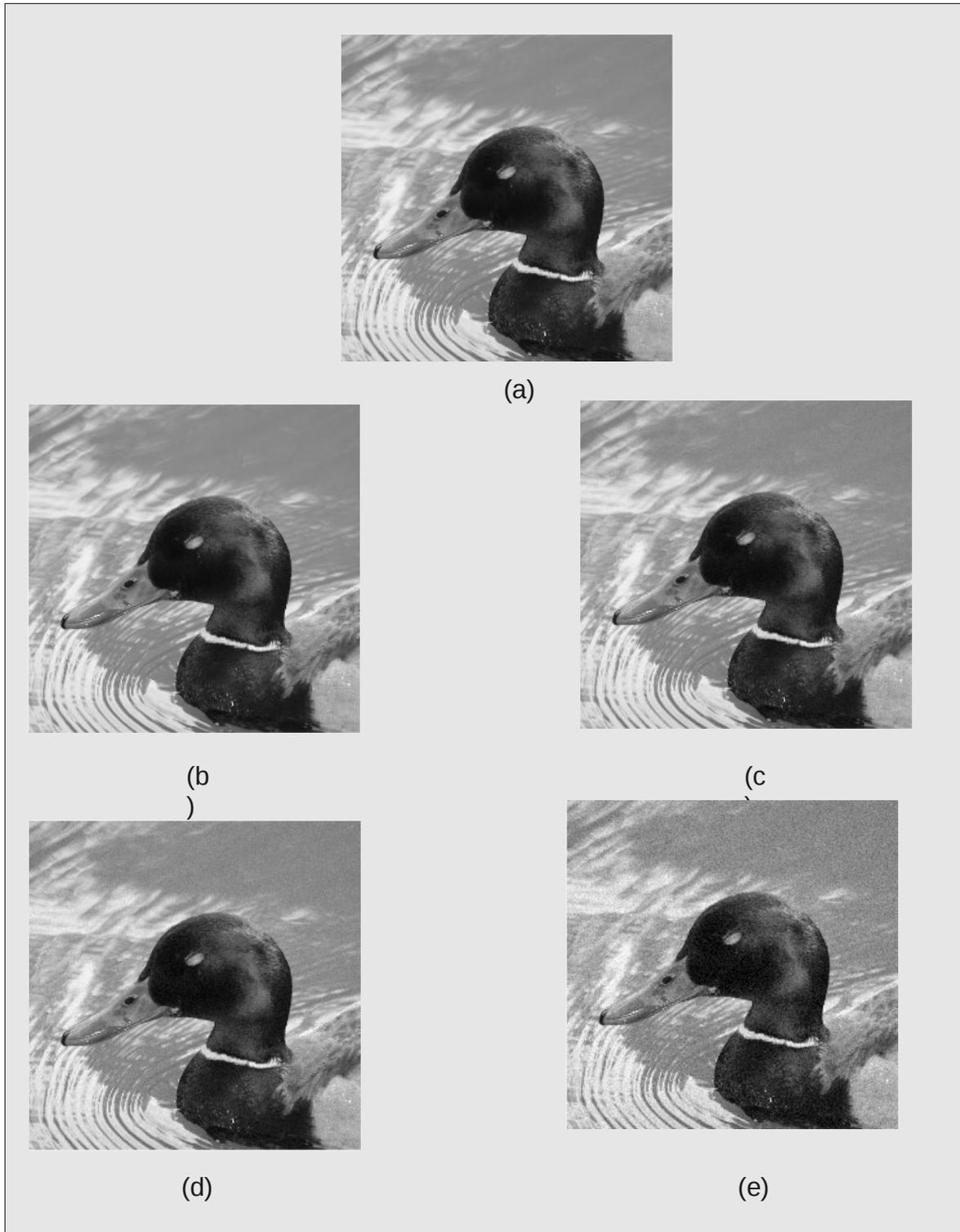


Figura 18. Imagen Pato.pgm. (a)Imagen Original. (b)Imagen con un ruido a magnitud 1, (c)Imagen con un ruido a magnitud 3, (d)Imagen con un ruido a magnitud 5. (e)Imagen con un ruido a magnitud 10.

Magnitud del ruido	PSNR
1	46.905417645
2	41.74801537
3	38.437761089
4	36.002034044
5	34.089592582
6	32.523096971
7	31.212688939
8	30.037804537
9	29.029574812
10	28.135740735
11	27.294194783
12	26.569393682
13	25.893346813
14	25.256224131
15	24.668623913
16	24.129147851
17	23.606504662
18	23.135077631
19	22.671133685
20	22.246426051
21	21.816306386
22	21.455665204
23	21.052997859
24	20.709634282
25	20.37149553
26	20.055610459
27	19.721638615
28	19.44726918
29	19.170529604
30	18.871717176
31	18.619870055
32	18.336523933
33	18.1010698
34	17.866484865
35	17.625586368
36	17.387075488
37	17.155054328
38	16.978012131
39	16.755473927
40	16.541868007

Tabla 11. Valores de PSNR para diferentes magnitudes de ruido de la imagen Pato.pgm.

Conclusiones

El objetivo de este proyecto fue realizar una aplicación software que permitiera calcular la Transformada Wavelet de Árbol Dual (TWAD) y su inversa (TWIAD), y analizar que tan tolerante al ruido son estas transformadas. El objetivo se cumplió satisfactoriamente.

En este proyecto se realizó un estudio de la tolerancia al ruido lograda con la TWAD, en imágenes. El cual consistió en procesar una imagen con la TWAD, añadir ruido a diferentes magnitudes, recuperarla con la TWIAD y comparar ambas imágenes para ver que tanta pérdida hubo. Tras analizar diferentes imágenes y pasarlas por todo este proceso se pudo apreciar que la TWAD es muy tolerante al ruido, trabajando con los filtros digitales que se utilizaron en este proyecto.

Se pudo comparar la TWAD a magnitudes de ruido muy altas, y aunque el valor PSNR era muy bajo aún se podía distinguir parte de la imagen. Con magnitudes de ruido muy bajas, menores a 15 los valores PSNR eran muy altos, tanto que había poca diferencia a simple vista entre la imagen original y la procesada.

En este proyecto se trabajó con imágenes, pero bien podría funcionar para otro tipo de señales o archivos digitales. La TWAD también podría utilizarse para el almacenamiento de información, aunque se necesitaría más espacio, se podría recuperarse la información si se llegase a dañar parte de los datos.

En resumen la TWAD es una muy buena opción si se quiere trabajar en ambientes muy ruidosos y no perder mucha información. Ya que la TWAD genera información redundante en el proceso de transformación, lo que permite recuperar la señal sin tanta pérdida de información.

Bibliografía

- [1] I. W. Selesnick, R. G. Baraniuk, N. Kingsbury. “The dual-tree complex wavelet transform - A coherent framework for multiscale signal and image processing”, IEEE Signal Processing Magazine, 22(6) pp 123-151, Noviembre 2005.
- [2] D. Salomon, G. Motta, D. Bryant. “Data compression the complete reference”, Springer, 2007.