UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Maestría en Ciencia en Inteligencia Artificial
Evaluación Semestral
4to. Semestre

REDUCCIÓN DE RUIDO PERIÓDICO EN IMÁGENES OBTENIDAS POR PERFILOMETRÍA USANDO TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO PARA RECONSTRUCCIÓN DE OBJETOS 3D

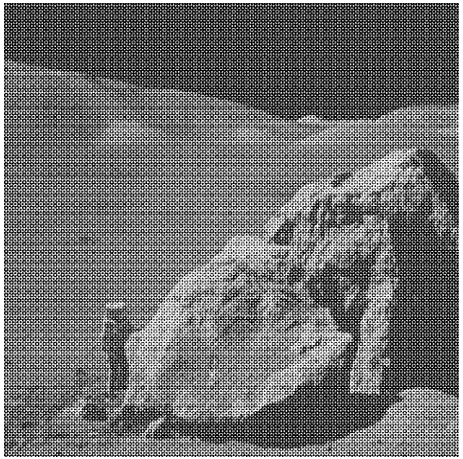
Alumno: Osmar Antonio Espinosa Bernal

Asesor: Dr. Jesús Carlos Pedraza Ortega

12 de diciembre de 2022

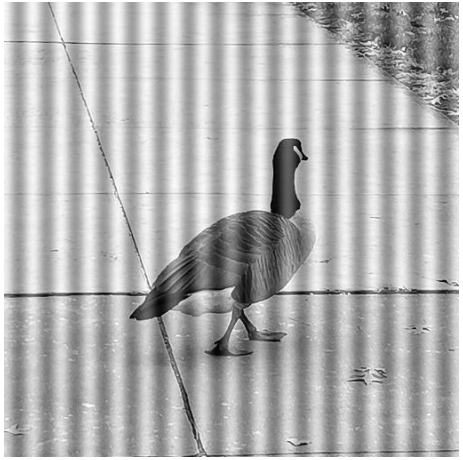
Introducción

Ruido o contaminación presente en imágenes degradan su calidad visual y son de diferente naturaleza.



a)

b)

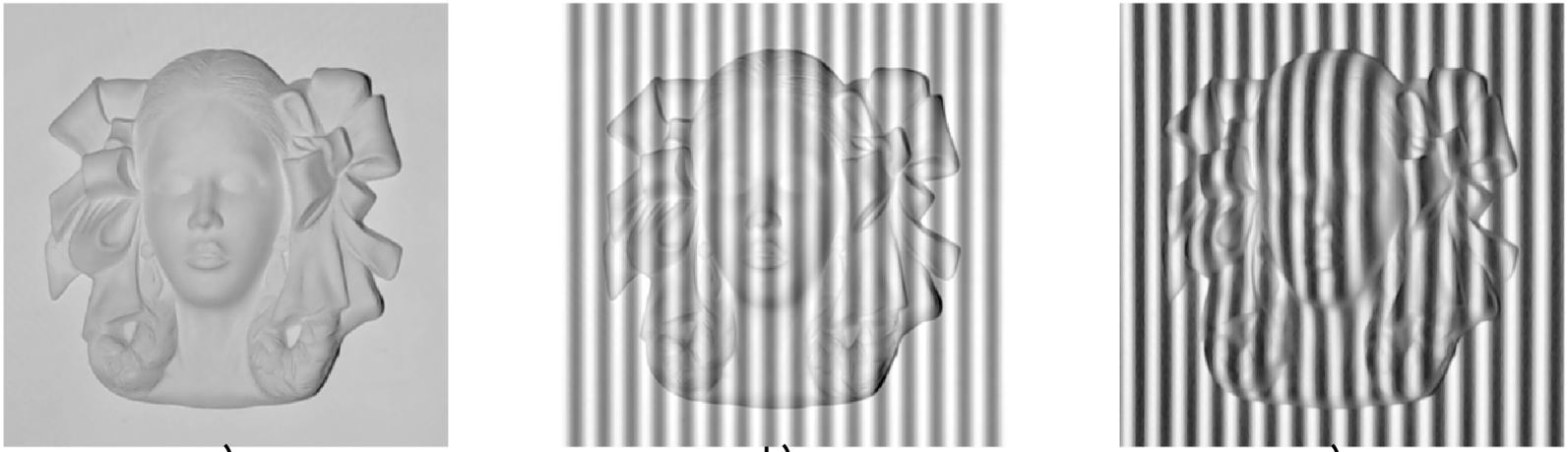


c)

Figura 1: Imágenes afectadas por ruido periódico.

Introducción

Ruido periódico producido por función sinusoidal y afectando de manera diferente a las imágenes conocido como ruido de Moire.

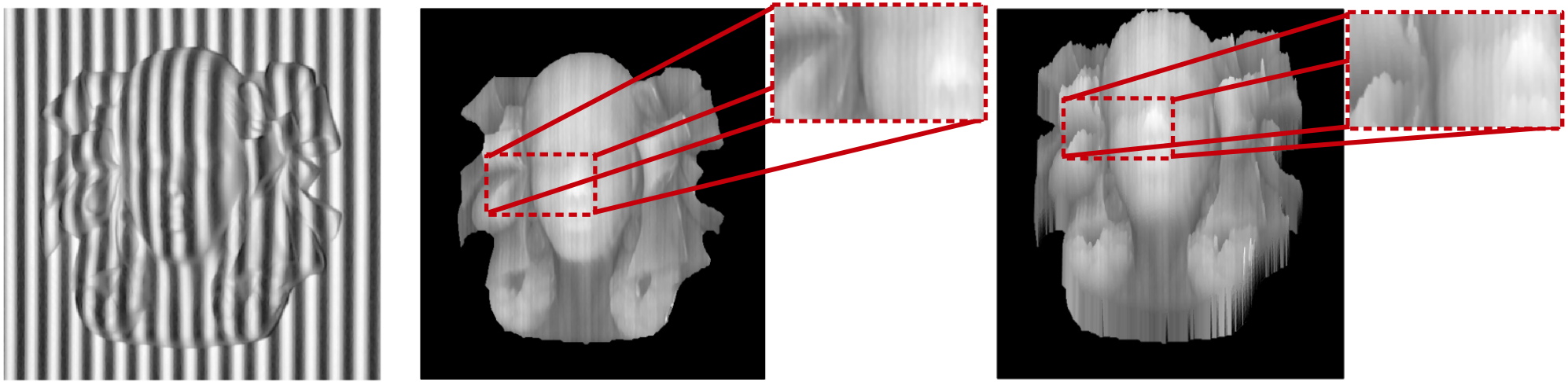


a) b) c)

Figura 2: a) Imagen original sin ruido, b) imagen contaminada digitalmente con ruido periódico y c) imagen con franjas proyectadas sobre el objeto, lo cual produce un ruido cuasi/periódico sobre el objeto.

Introducción

Técnica de perfilometría de franjas(PSP) permite generar objetos 3D a partir de imágenes con proyección de franjas, pero los objetos 3D son afectados por ruido cuasi/periódico.

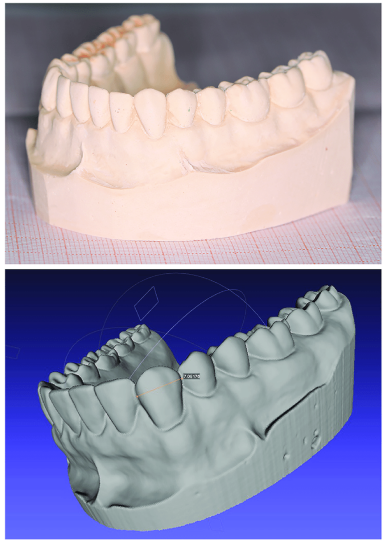


a) b) c)

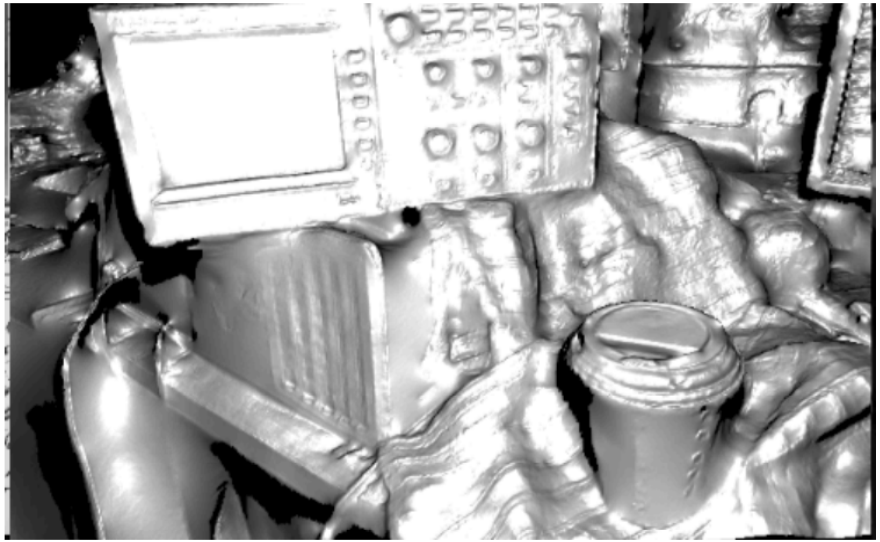
Fig. 3. a) Imagen con franjas proyectadas b) Adquisición de información 3D c) Reconstrucción del objeto en 3D

Justificación

Reconstrucción de prótesis medicas, objetos diversos, fósiles y entornos virtuales.



a)



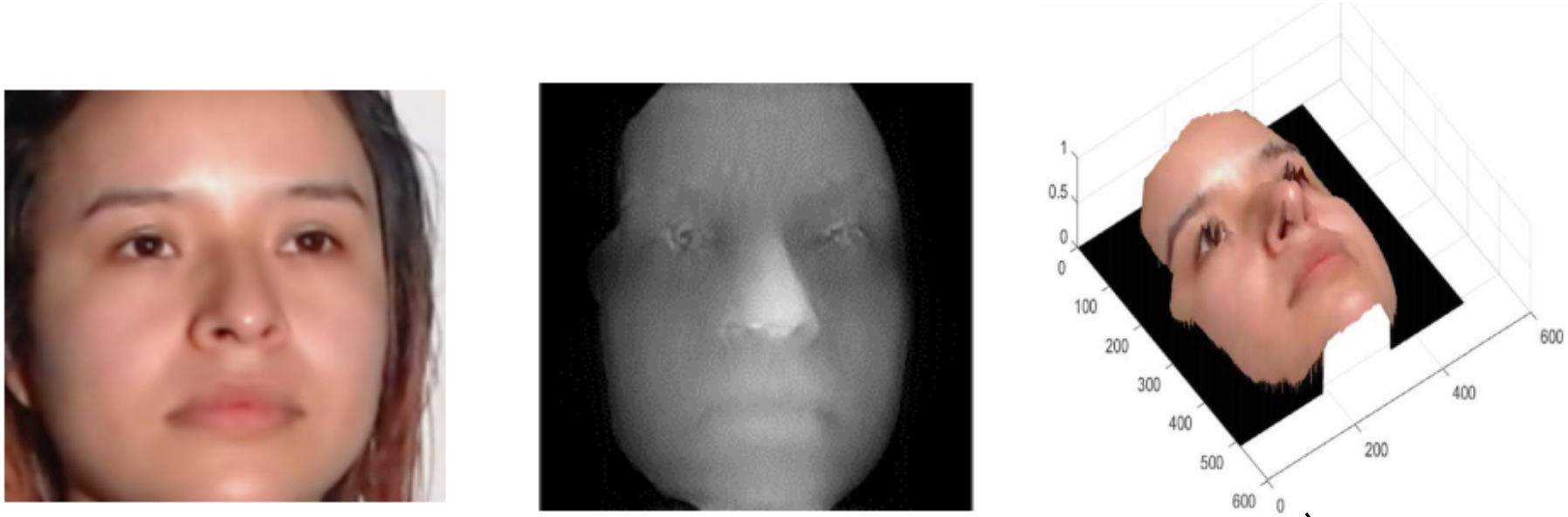
b)

Fig. 4. a) modelo de prótesis dental reconstruida en 3D, b) modelización virtual de entornos.

Justificación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Aplicaciones de reconocimiento facial en 3D.



a) b) c)

Fig. 5. a) rostro de persona en 2d, b) rostro reconstruido en 3D con con PSP y c) rostro reconstruido en 3D con PSP y textura de rostro colocado sobre superficie[1].

[1] Alvarado Escoto L.A., Ortega J.C.P., Ramos Arreguin J.M., Gorrostieta Hurtado E., Tovar Arriaga S. (2020) The Effect of Bilateral Filtering in 3D Reconstruction Using PSP. In: Mata-Rivera M.F., Zagal-Flores R., Barria-Huidobro C. (eds) Telematics and Computing. WITCOM 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1280. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62554-2_20

Antecedentes

Autor	Técnica	Uso de la técnica	Aportación
Sun, Y., (2018)	Uso de redes neuronales convolucionales multiresolución.	Remoción de patrones de Moiré en imágenes.	Reducción de patrones de Moiré mas significativas comparados con otros métodos.
Ji, Z., (2004)	Filtro de morfología suave.	Reducir el ruido periódico presente en el procesamiento de imágenes.	Diseño e implementación en computación mas eficiente que otros métodos convencionales en el dominio de la frecuencia.
Alvarado Escoto L. A. (2020)	Filtro bilateral.	Procesamiento de imágenes para reconstrucción de objetos 3D.	Reconstrucción de objetos mas suaves y mejor estimación de alturas de los objetos reconstruidos.

Antecedentes

Nah, S., (2017)	Aprendizaje residual y normalización por lotes de DeepCNN.	Eliminación de ruido en imágenes.	Alta efectividad para eliminar ruido e implementación eficiente haciendo uso de GPU (Graphics Processing Unit).
Wei, Z., (2012)	Filtro Gaussiano de la mediana	Remover ruido periódico	Detección y corrección de distorsiones en el espectro en imágenes causados por ruido periódico.
Varghese, J., (2016)	Filtro de dominio de frecuencia basado en umbral adaptativo	Reducción de ruido periódico presente en imágenes	Identificación de frecuencias con ruido en dominio de la frecuencia en imágenes y restauración de dichas frecuencias corruptas.
VanderJeught S, (2016)	Perfilometría	Estado del arte	Dar a conocer los métodos más comúnmente utilizados para la reconstrucción y la medición de superficies 3D.

Planteamiento del problema

Reconstrucciones de objetos 3D son imprecisas y poco confiables como consecuencia del ruido cuasi/periódico presente.

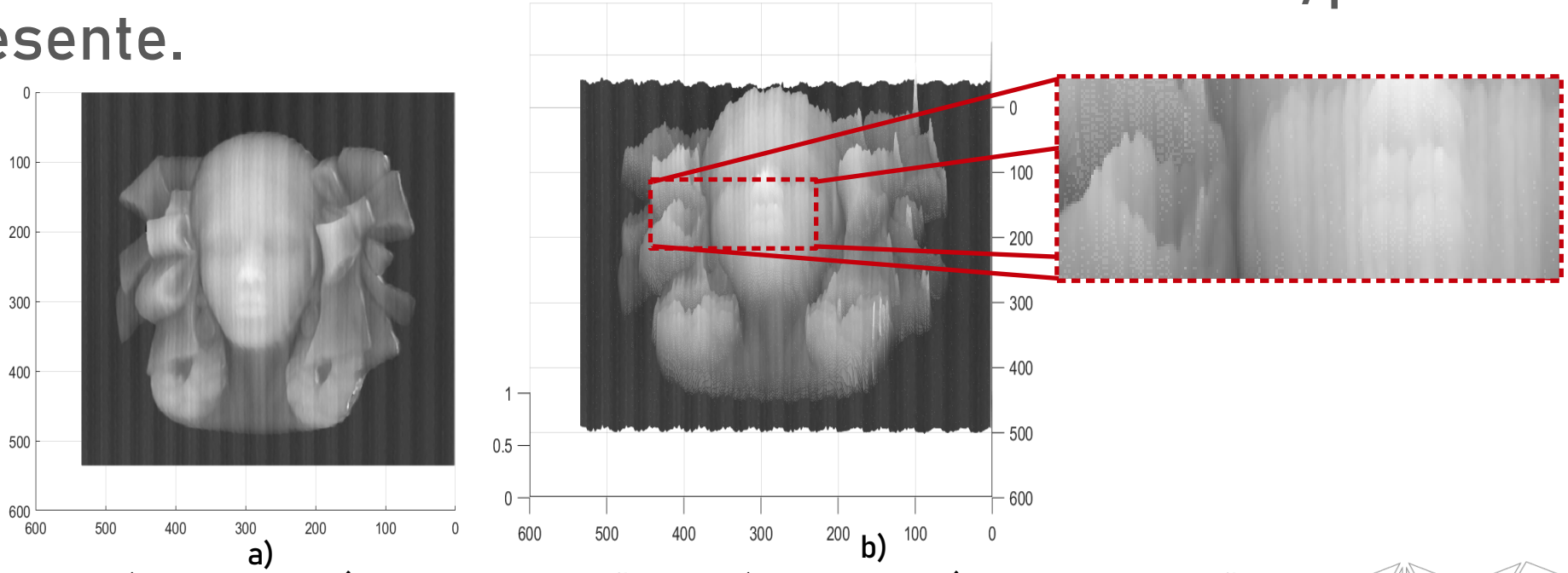


Fig. 6. a) Representación 2D de objeto “Señora” y b) reconstrucción 3D de objeto “Señora” usando PSP. Se puede apreciar discontinuidades en la superficie generada del objeto.

Hipótesis

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Un filtro basado en aprendizaje profundo reduce el ruido presente en imágenes adquiridas por perfilometría, permitiendo la reconstrucción 3D de objetos mas aproximadas.

Objetivo

Desarrollar e implementar un filtro de reducción de ruido periódico basado en aprendizaje profundo para la reconstrucción 3D de objetos con el objetivo de mejorar la exactitud.

Objetivos especificos

1) Realizar un análisis del tipo de ruido periódico presente en imágenes obtenidas por perfilometría para conocer sus características

2) Proponer un filtro basado en una arquitectura CNN para reducir el ruido periódico de las imágenes antes de su reconstrucción

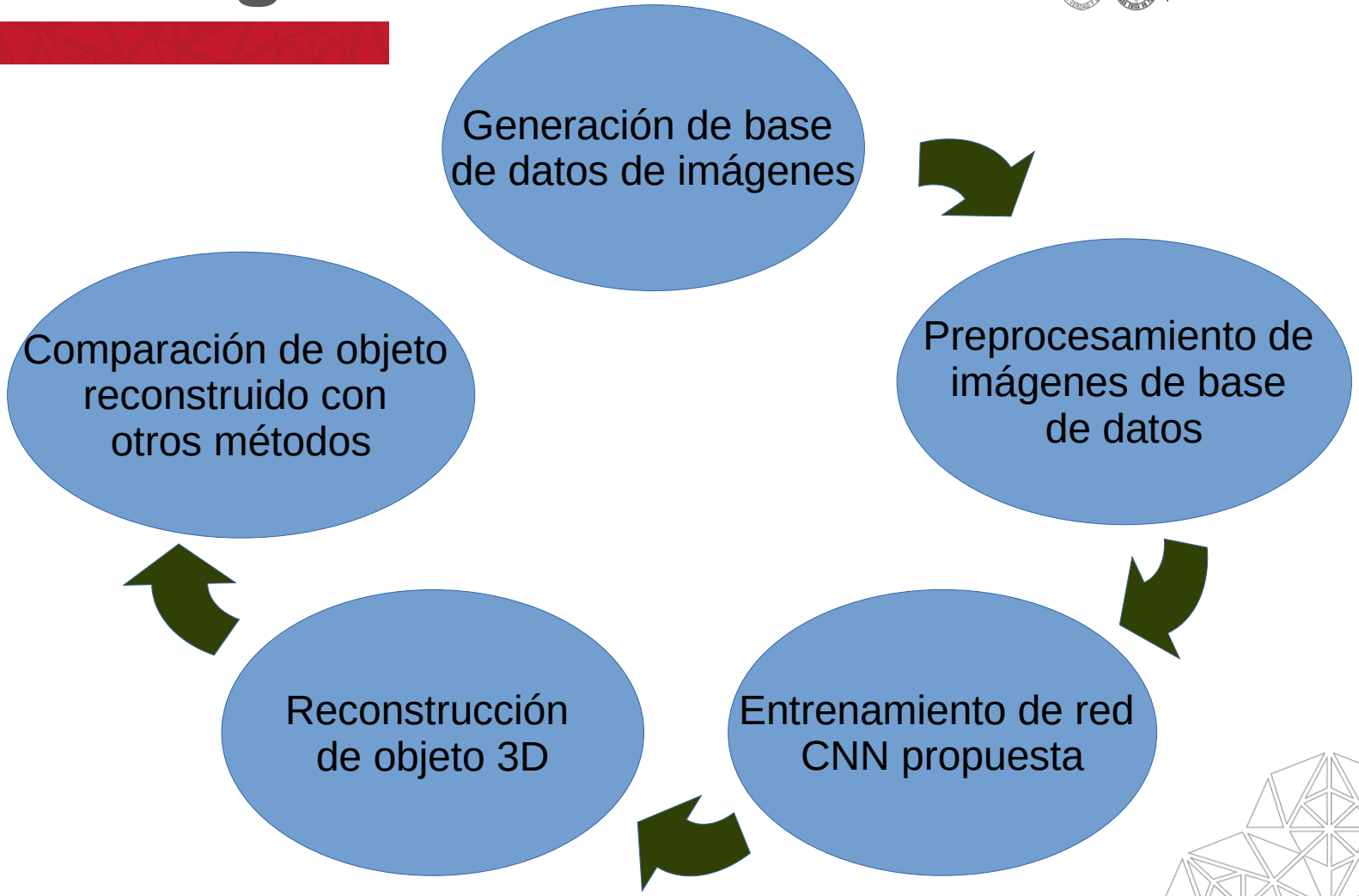
3) Realizar pruebas aplicando el filtro desarrollado a imágenes con ruido periódico para medir los resultados de la implementación y compararlo con otras metodologías del estado del arte.

Materiales

Características del equipo utilizado en esta tesis.

- Sistema de proyección PSP simulado y entrenamiento usando laptop personal con procesador I7-10750H y tarjeta grafica NVIDIA GeForce RTX 3060 con 6 Gb de memoria RAM.
- Y equipo de computación de escritorio entrenamiento para con CPU I7-7700K S-1151 a 4.2 Ghz y tarjeta grafica NVIDIA GeForce GTX 1060

Metodología



Resultados

Creación de sistema simulado de PSP con software libre BLENDER para obtención de imágenes con proyección de franjas desfasados 2π/3, mascara e imagen de objeto real.

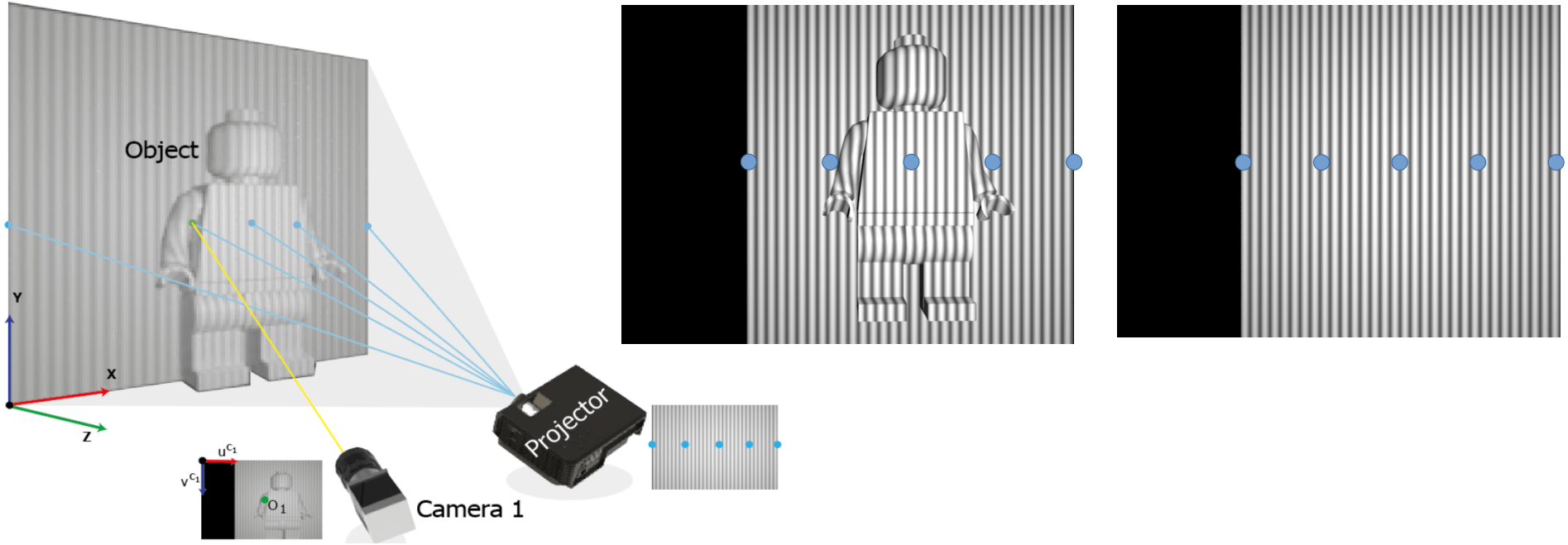


Fig. 7. Representación de sistema simulado de PSP desarrollado con software libre BLENDER. Consta de una cámara representado y un proyector representado por una lampara proyectando franjas con un cambio de fase de 2π/3.

Resultados

Con el simulador del sistema implementado, se establecen 3 patrones de franjas con un cambio de fase de 2π/3 bajo condiciones de luz ambiental y reflectante constante en el renderizado final, estos establecidos en las lamparas usadas. Las ecuaciones para cada patrón de franjas son las siguientes:

$$I_{L0} = A_L + B_L \cos\left(\Phi_L\right) \qquad \text{Ecu. 1)}$$

$$I_{L1} = A_L + B_L \cos\left(\Phi_L + 2\pi/3\right) \qquad \text{Ecu. 2)}$$

$$I_{L2} = A_L + B_L \cos\left(\Phi_L + 4\pi/3\right) \qquad \text{Ecu. 3)}$$

Resultados

Con el sistema emulado de PSP se genero un conjunto de 8 imágenes por objeto y por escena con el fin de generar una base de datos sinteticos.

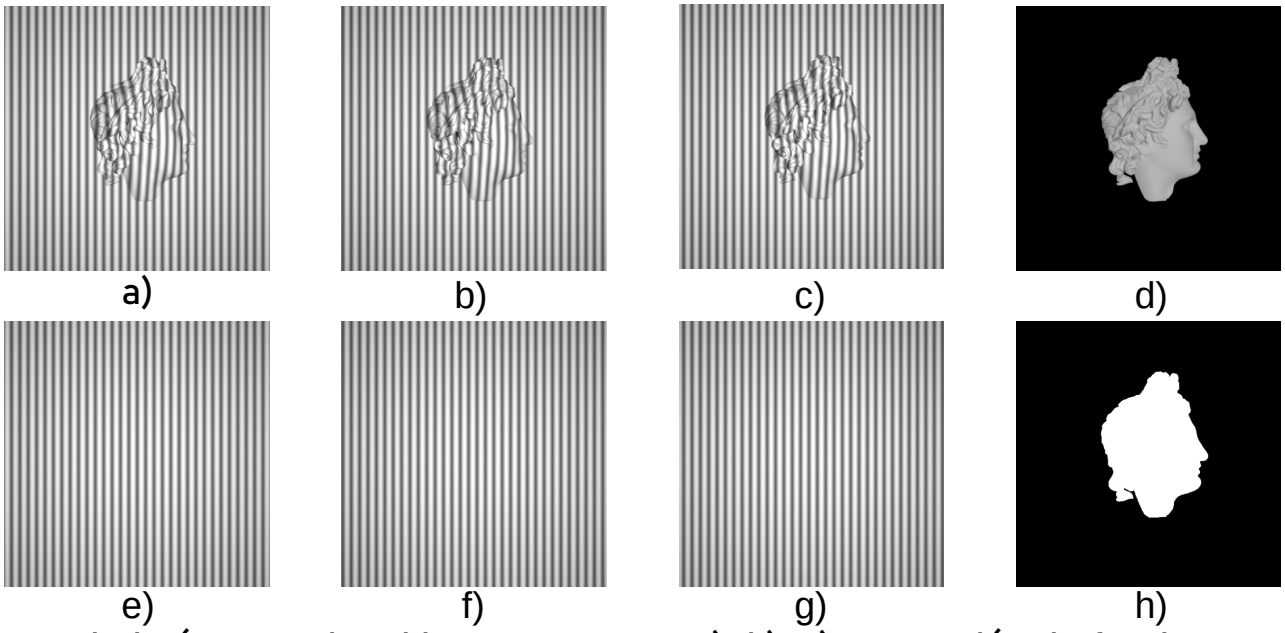


Fig. 8. Conjunto de imágenes obtenidos por escena: a), b), c) proyección de franjas con objeto y deslizamiento de fase de 2π/3, e), f), g) proyección de franjas de referencia y deslizamiento de fase de 2π/3, d) Groundtruth, h) Mascara con región de interés.

Resultados

La base de datos generada usando software libre BLENDER permite obtener una gran variedad de datos de imágenes sin embargo el tiempo es limitado. Los modelos de objetos son obtenidos de TurboSquid entre otros sitios encontrados en linea de acceso abierto.

- Se obtienen 3 imágenes con proyección de franjas sobre objeto con un total de 1035 imágenes
- Se obtienen 3 imágenes con proyección de franjas de referencia con un total de 1035 imágenes
- Se obtienen 1 imagen Groundthruth del objeto real con un total de 345 imágenes
- Se obtienen 1 imagen Mascara que contiene la región de interés del objeto real con un total de 345 imágenes.

- En total se genera una base de datos con un total de 2760 imágenes de 75 objetos diferentes en 345 escenas diferentes.

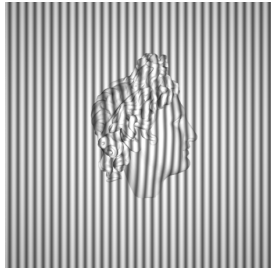
Resultados

Una vez obtenidos las imágenes con proyección de franjas desplazados 2π/3, se extraen los mapas envueltos tanto del objeto como de referencia usando el método de 3 pasos(3-Step).

a)

b)

c)



d)

Fig. 9. a) Objeto 3D original, b) proyección de franjas sobre objeto desplazado 0°, c) proyección de franjas sobre objeto desplazado 120°, d) proyección de franjas sobre objeto desplazado 240°.

Resultados

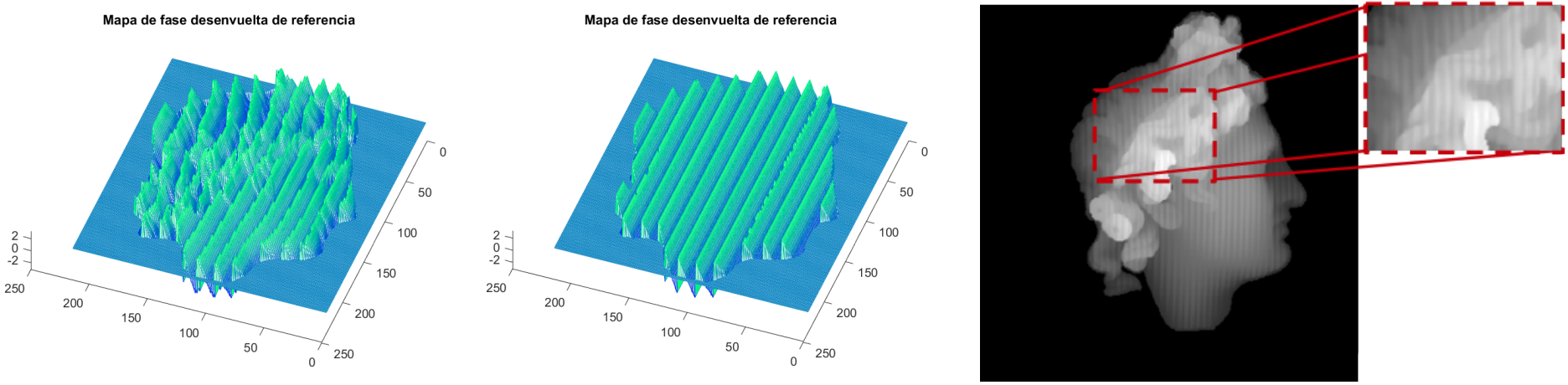
Aplicando la ecuación 1 se obtienen los mapas envueltos tanto del objeto como de la referencia. Mientras que para obtener el mapa de fase del objeto y de referencia desenvueltos se utilizan el algoritmo PUMA(Bioucas-Dias & G., 2007).

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\sqrt{3\frac{I_3(x,y)-I_1(x,y)}{2I_2(x,y)-I_1(x,y)-I_3(x,y)}}\right)$$

Ecu. 4)

Resultados

La resta de los mapas de fase de objeto y de referencia nos proporciona una representación 2D del objeto con ruido cuasi/periódico debido al patrón de franjas utilizado para obtener los mapas del objeto y de referencias.



a) b) c)

Fig. 10. a) mapa de fase envuelta de objeto, b) mapa de fase de referencia y c) resta de fase desenvuelta de mapa de fase de objeto y de referencia.

Resultados

Las imágenes adquiridas con el método de PSP de 3 pasos(3-Step) se usan como imágenes fuente para constituir una base de datos.

Se desarrollo un algoritmo que atenuá el ruido cuasi/periódico de las imágenes después de ser obtenidas mediante la técnica antes mencionada y es aplicada en el dominio de la frecuencia de las mismas para obtener las imágenes objetivo.

Resultados

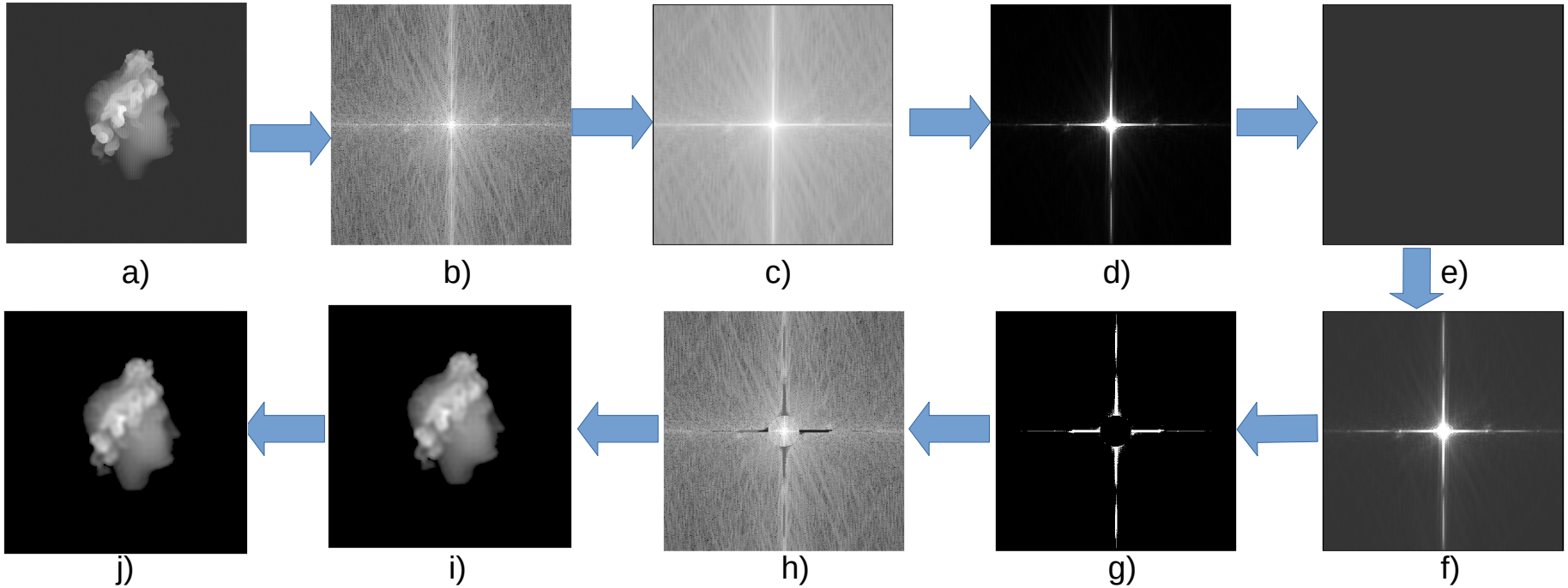


Fig. 11. A) Imagen corrompida original, b) Imagen corrompida en dominio de la frecuencia, c) Imagen en dominio de la frecuencia con convolución 5x5, d) Imagen convolucionada con ajuste de contraste, e) umbral ajustado en α=1.3, f) umbral con imagen convolucionada sobrepuesta, g) regiones con ruido identificadas, h) regiones atenuadas en dominio de la frecuencia, i) aplicación de filtro de suavizado, j) Imagen corrompida atenuada.

Resultados

- Generación de copia de imagen convolucionada T1 y T2 para obtención de ventanas con los cuales generar el nuevo valor de una frecuencia corrupta.
- Generación de imagen F_th para aplicación y remoción de frecuencias corruptas a partir de imagen original F.
- Generación de mascara para recuperar frecuencias centrales no corruptas de imagen F.
- Ajuste de valor alpha como factor multiplicativo para decidir si una frecuencia es corrupta de acuerdo a la media obtenida con su vecinos.

Resultados

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Comparación con aplicación de filtros diferentes para remover ruido.

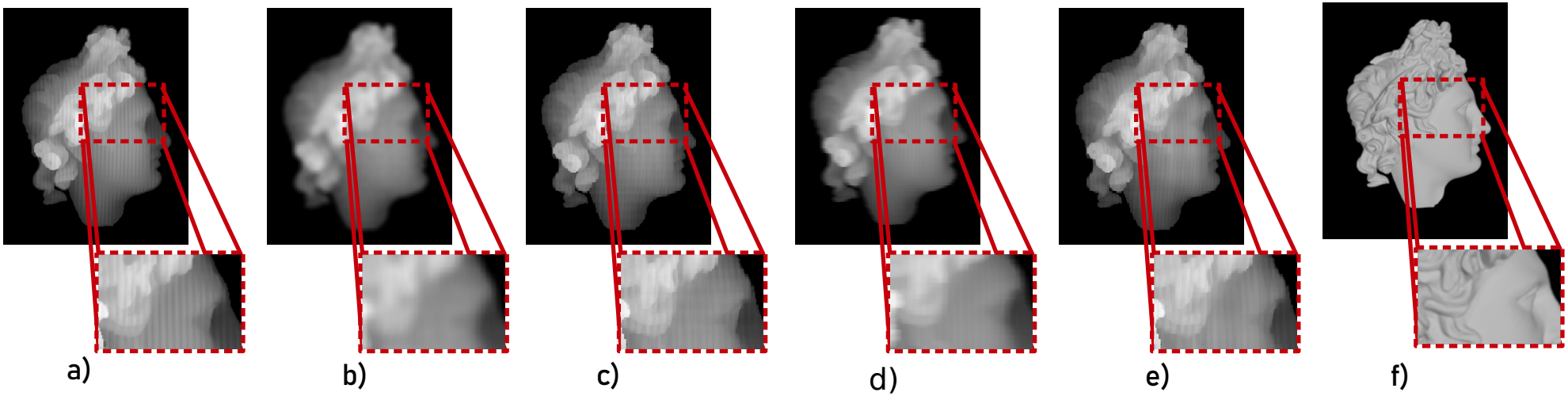


Fig. 12. a) Imagen corrompida original, b) filtro propio, c) filtro ATBF, d) filtro suavizado horizontal e) filtro de cruz y f) objeto original.

Resultados

Con el algoritmo desarrollado se crea una base de datos de imágenes para entrenamiento de una red neuronal convolucional propuesta.

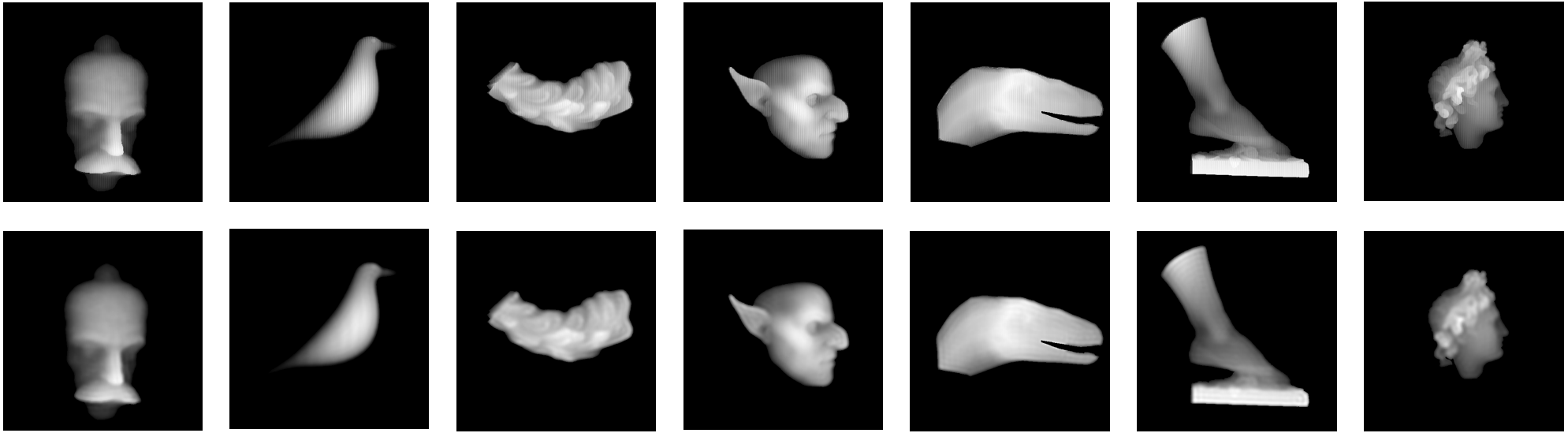


Fig. 13. Imágenes que conforman base de datos. Imágenes de fila superior contaminadas con ruido cuasi/periódico y fila inferior su correspondiente objetivo procesados por algoritmo desarrollado.

Resultados

Debido al numero limitado de imágenes en base de datos se hace un entrenamiento con diversos modelos encontrados en literatura tanto para atenuar y/o eliminar ruido en imágenes como para hacer un entrenamiento con buenos resultados utilizando un numero limitado de imágenes.

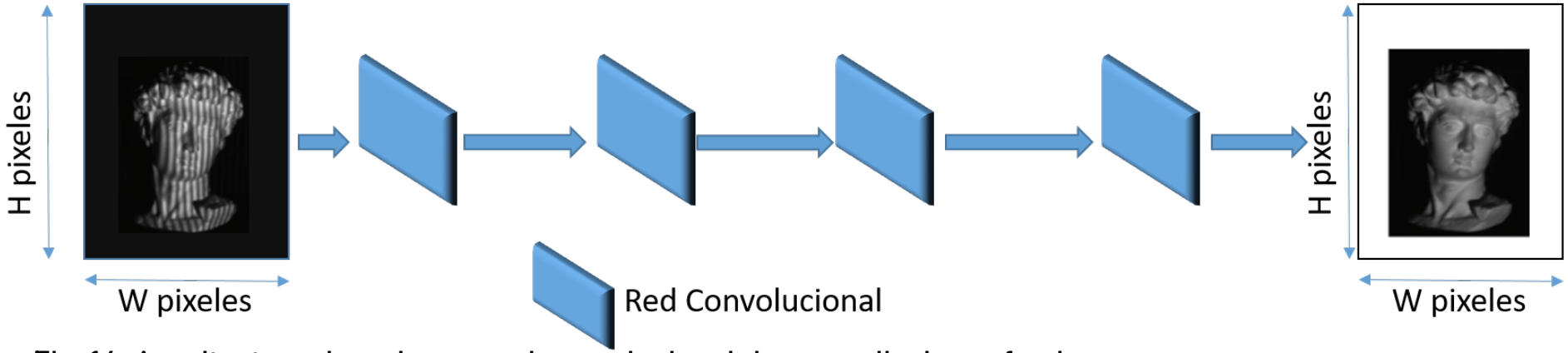


Fig. 14. Arquitectura de red neuronal convolucional de aprendizaje profundo.

Resultados

Una vez realizados los primeros entrenamientos se selecciono la arquitectura desarrollada por Sun(Sun, Yu, & Wang, 2018) como base de la nueva arquitectura desarrollada. Ademas de esta misma en su versión original, se selecciono la red U-Net(Ronneberger, Fischer, & Brox, 2015) y la red FCN32s(Long, Shelhamer, & Darrel, 2015) como CNN's para usar como comparación.

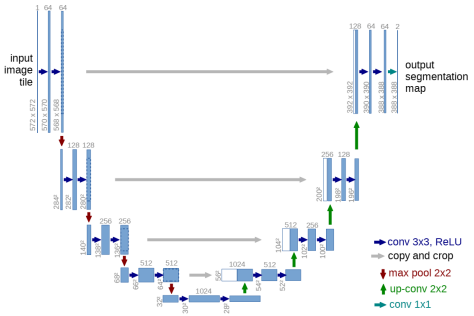


Fig. 15. Arquitectura de red U-NET(Ronneberger, Fischer, \& Brox, 2015).

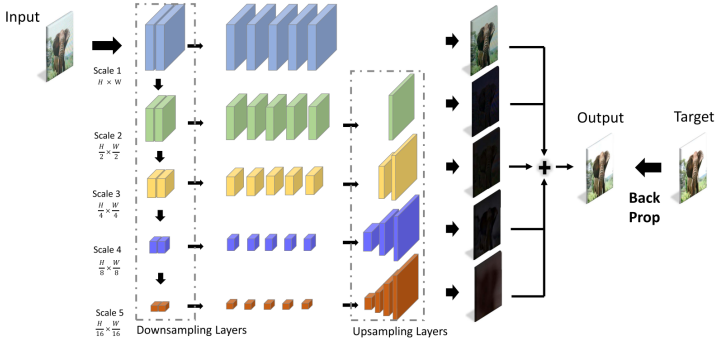


Fig. 16. Arquitectura de red Multiresolución(Sun, Yu, & Wang, 2018).

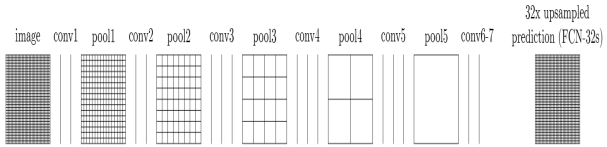


Fig. 17. Arquitectura de red FCN32s(Long, Shelhamer, & Darrel, 2015).

Resultados

Las arquitecturas seleccionadas arrojaron inferencias visualmente mas cercanas al objeto 3D original que se pretendía reconstruir ademas de características cuantitativas mas altas.

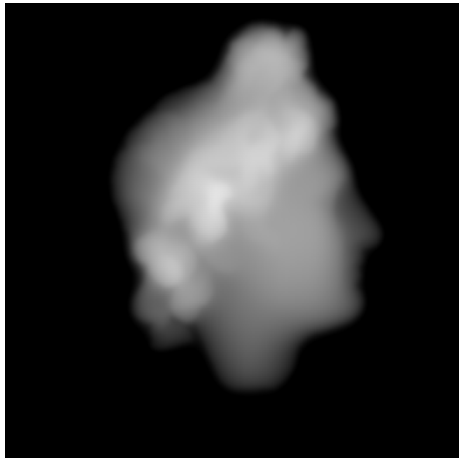


Fig. 18. Inferencia obtenida con red U-NET(Ronneberger, Fischer, \& Brox, 2015).

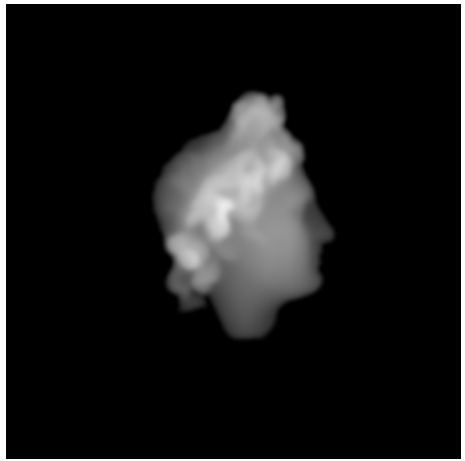


Fig. 19. Inferencia obtenida con red Multiresolución(Sun, Yu, & Wang, 2018).

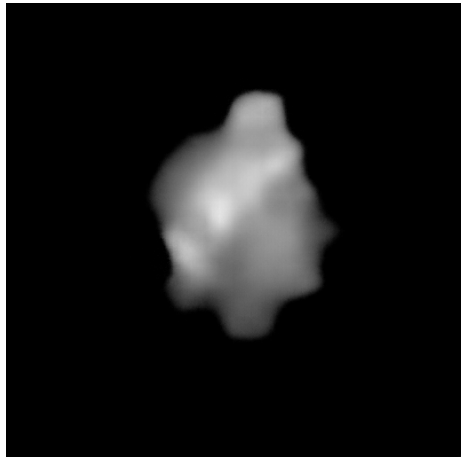


Fig. 20. Inferencia obtenida con red FCN32s(Long, Shelhamer, & Darrel, 2015).

Resultados

Se desarrolla la red neuronal convolucional multiresolución modificada con la cual se hace el entrenamiento usando la base de datos creada para atenuar ruido cuasi/periódico.

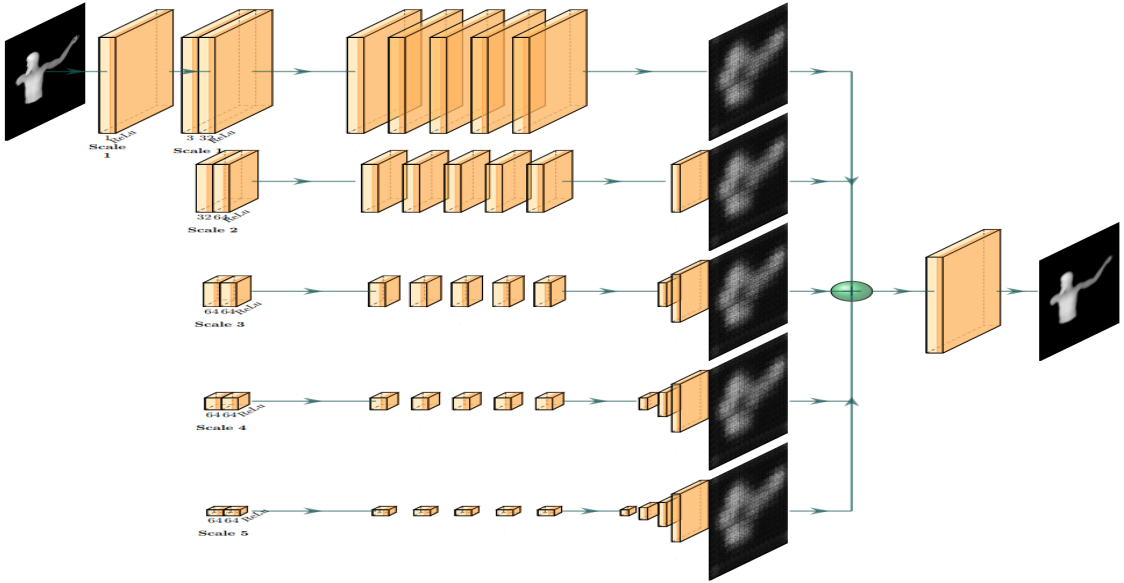


Fig. 21. Arquitectura de red propuesta e implementada para atenuación de ruido cuasi/periódico obtenidas mediante perfilometría de franjas.

Resultados

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Características de arquitectura de red neuronal convolucional multiresolución modificada.

Scale	Type	Kernel	Stride	Channels
1	conv	1x1	1x1	1
1	conv	3x3	1x1	3
1	conv	3x3	1x1	64
1	conv	3x3	1x1	64
2	conv	3x3	2x2	128
2	conv	3x3	1x1	128
3	conv	3x3	2x2	256
3	conv	3x3	1x1	256
4	conv	3x3	2x2	512
4	conv	3x3	1x1	512
5	conv	3x3	2x2	1024
5	conv	3x3	1x1	1024

Tabla 1. Capas de convolución.

Scale	Type	Kernel	Stride	Channels
1	conv	1x1	1x1	1
1	conv	3x3	1x1	3
2	deconv	4x4	2x2	128
	conv	3x3	1x1	64
	conv	3x3	1x1	64
3	deconv	4x4	2x2	256
	conv	3x3	1x1	128
	conv	3x3	1x1	128
4	deconv	4x4	2x2	512
	conv	3x3	1x1	256
	conv	3x3	1x1	256
5	deconv	4x4	2x2	1024
	conv	3x3	1x1	512
	conv	3x3	1x1	512

Tabla 2. Capas de deconvolución.

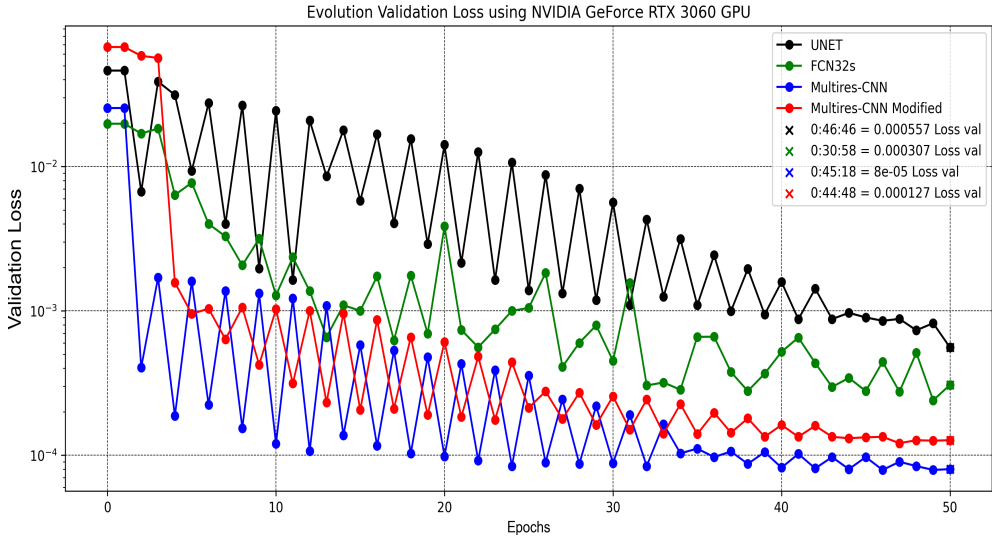
Resultados

Parámetros utilizados en el entrenamiento del modelo propuesto y los modelos usados para comparación.

- Tamaño de lote(batch-size): 4.
- Optimizador: Adam.
- Función de perdida: MSE.
- Pesos iniciales: Aleatorio Gaussiano con Mean=0.0, y Std=0.01.
- Tasa de aprendizaje: 0.0001.
- Plan de entrenamiento: 70% / 10% / 20%.
- # imágenes entrenamiento: 276.
- # imágenes validación: 27.
- # imágenes de prueba: 69.
- # épocas: 50
- Tamaño de imágenes: 512 x 512 pixeles.

Resultados

Evolución de perdida por entrenamiento y validación de los 4 modelos juntos.



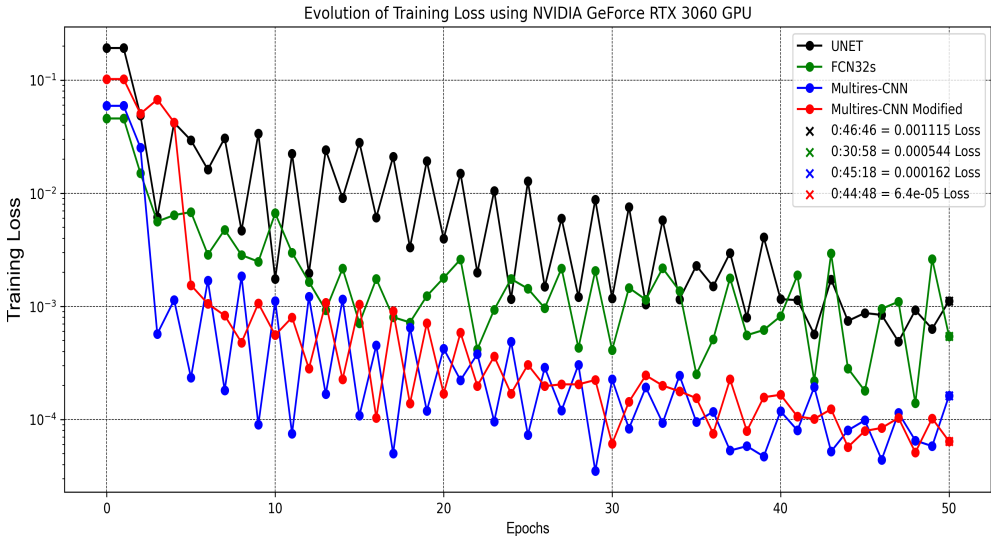


Fig. 22. Evolución de perdidas por entrenamiento y por validación obtenidos del entrenamiento del modelo propuesto y los 3 modelos de comparación.

Resultados

Evolución de perdida por entrenamiento y validación de los 4 modelos individuales.

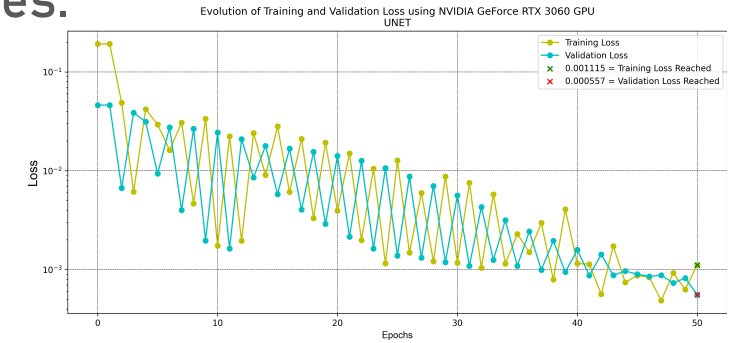


Fig. 23. Evolución de modelo U-Net.

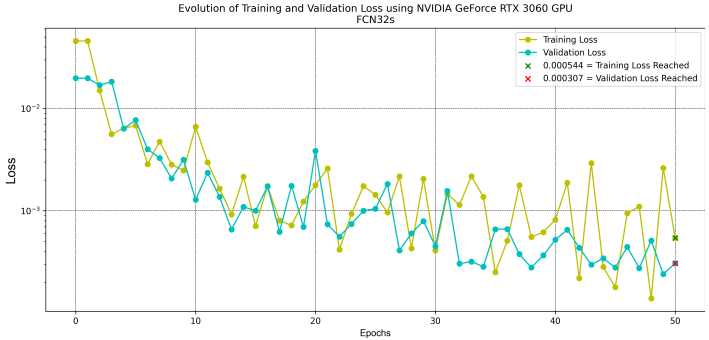


Fig. 24. Evolución de modelo FCN32s.

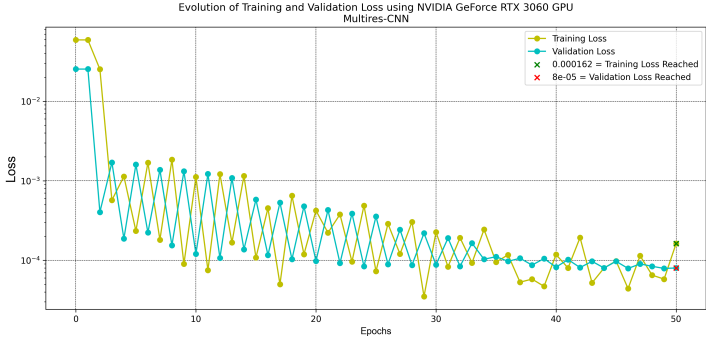


Fig. 25. Evolución de modelo Multiresolución-CNN.

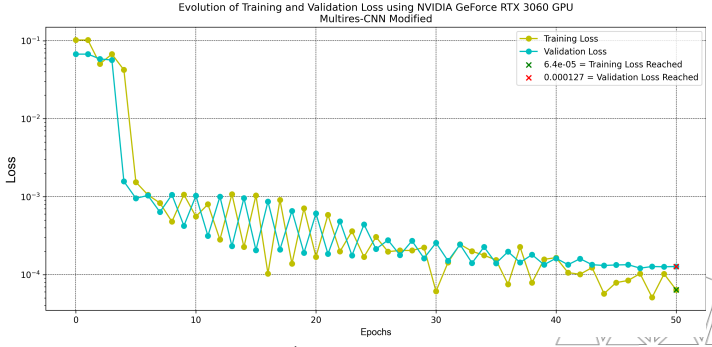


Fig. 26. Evolución de modelo Multiresolución-CNN Modified.

Resultados

Perdida por entrenamiento y por validación alcanzados convergen bien, sin embargo se muestra un mejor comportamiento del modelo propuesto y Multiresolución-CNN, y tiempos de entrenamiento similares entre si.

Resultados	UNet	FCN32s	Multires-CNN	Multires-CNN Modified
Perdida (Loss)	0.001115	0.000544	0.000162	6.4e-05
Perdida de validación (Loss val)	0.000557	0.000307	8e-05	0.000127
Tiempo de entre-namiento (HH:MM:SS)	00:46:46	00:30:58	00:45:18	00:44:48

Tabla 3. Resultados obtenidos de entrenamiento de modelos CNN y tiempos empleados.

Resultados

Los resultados al probar el conjunto de prueba con cada modelo entrenado son mostrados en la tabla 4. Para esto se utilizo la métrica PSNR y tiempo de inferencia promedio por imagen.

	U-Net	FCN32s	Mutilresolution-CNN	Multiresolution-CNN Modified
Tiempo promedio de inferencia	0.053s	0.035 s	0.065s	0.065s
PSNR promedio	30.7747 dB	34.6659 dB	40.3873 dB	38.2095 dB

Tabla 4. Resultados al probar el conjunto de entrenamiento con los modelos entrenados así como tiempo de inferencia promedio por imagen.

Resultados

Inferencias realizadas visualmente similares, con ruido cuasi/periódico completamente atenuado, sin embargo, algunas de ellas pierden detalles en el objeto así como afectación por corte de objeto, como ejemplo uno parecido a rostro humano.

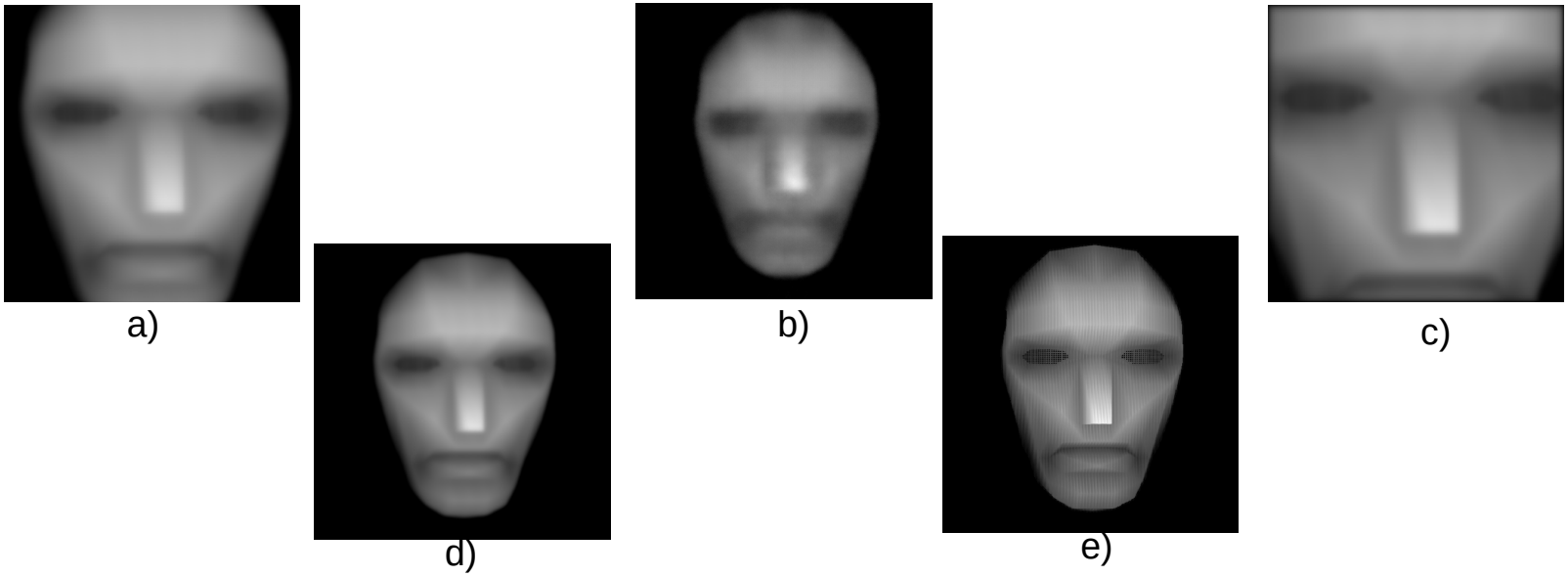


Fig. 27. a) Inferencia de modelo U-Net, b) inferencia de modelo FCN32s, c) Inferencia de modelo Multiresolution-CNN, d) Inferencia de modelo Multiresolution-CNN Modified, e) objeto “source”.

Resultados

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Reconstrucciones 3D de objetos obtenidos por modelos CNN.

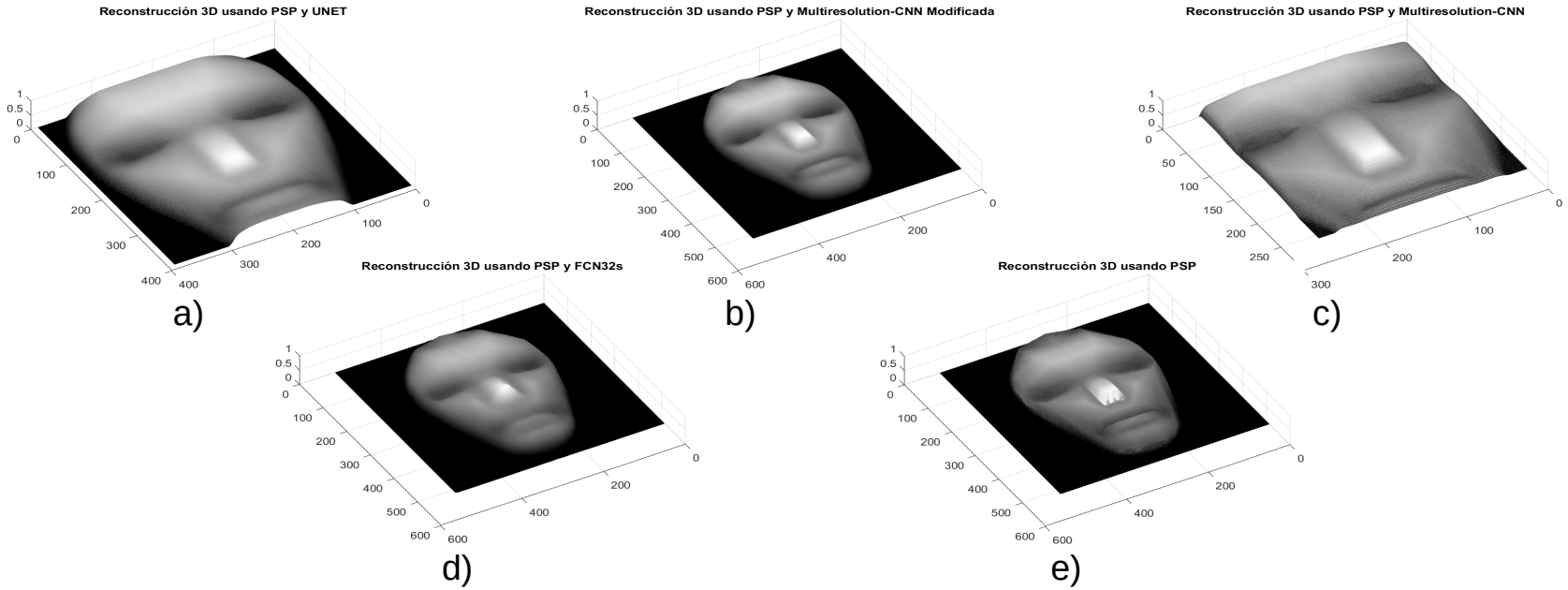


Fig. 28. a) reconstrucción 3D usando PSP y U-Net, b) reconstrucción 3D usando PSP y FCN32s, c) reconstrucción 3D usando PSP y Multiresolution-CNN, d) reconstrucción 3D usando PSP y Multiresolution-CNN Modified y e) reconstrucción 3D usando PSP.

Resultados

Inferencias realizadas con ruido cuasi/periódico completamente atenuado, en objeto simétrico se usa para obtener resultados cuantitativos mediante escalamiento desarrollado por Alfaro(Alfaro, Pedraza & Aceves, 2022) con el objeto 3D original.

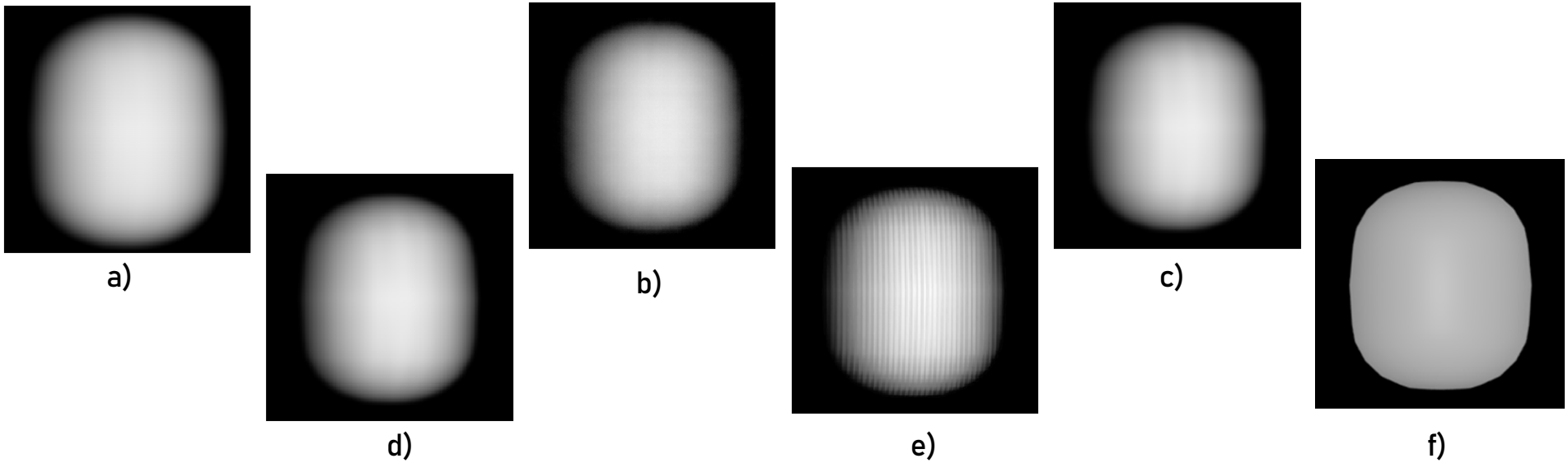


Fig. 29. a) Inferencia de modelo U-Net, b) Inferencia de modelo FCN32s, c) Inferencia de modelo Multiresolution-CNN, d) Inferencia de modelo Multiresolution-CNN Modified, e) Objeto con ruido cuasi/periódico y f) Objeto original.

Resultados

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Reconstrucciones 3D suaves y parecidos al objeto original.

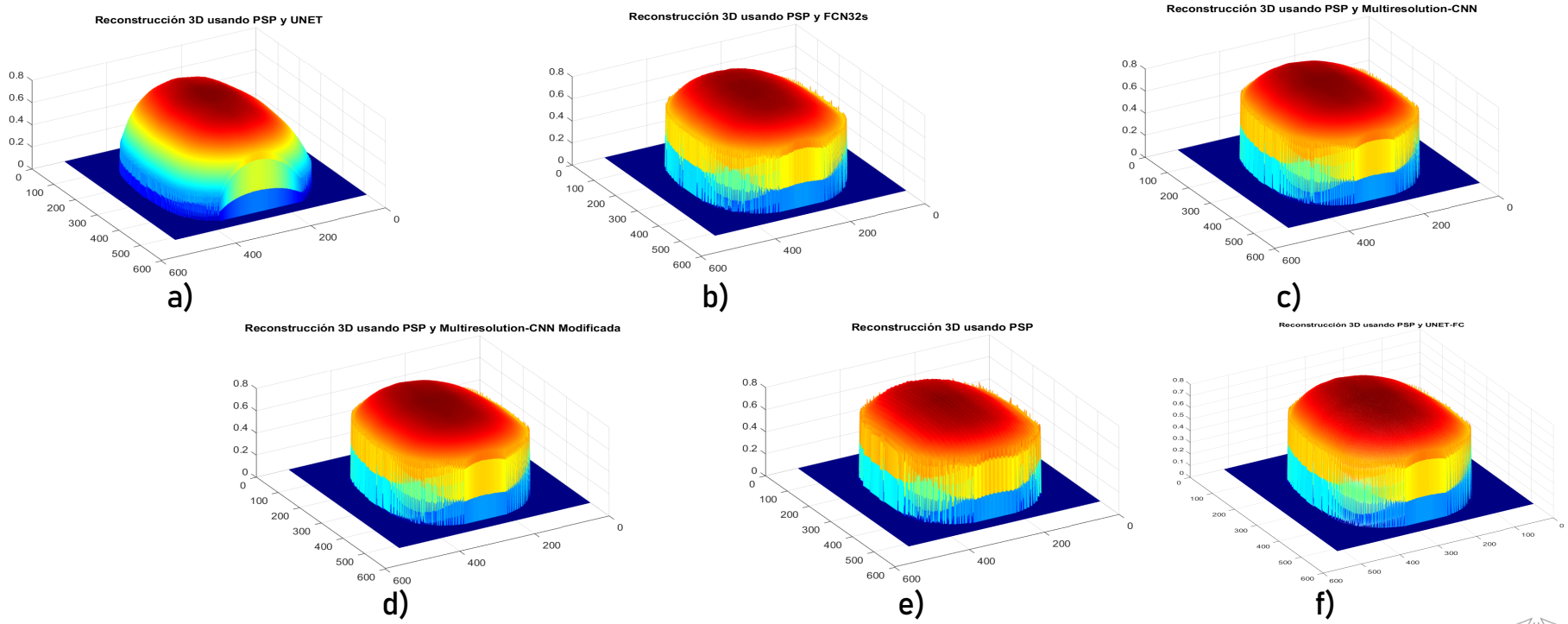


Fig. 30. Reconstrucciones de objetos 3D obtenidos mediante inferencia de modelos propuesto y seleccionados para comparación.

Resultados

Análisis de perfil permite observar la similitud entre las reconstrucciones realizadas y el objeto original, ademas de mostrar la forma reconstruida.

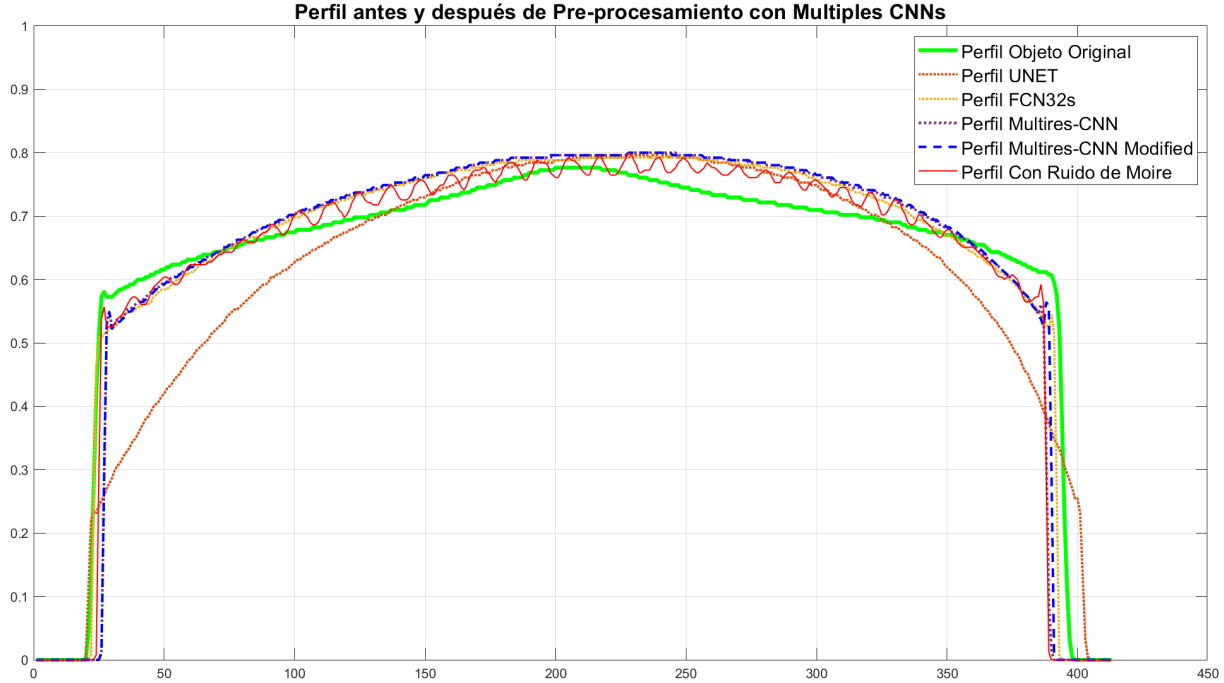


Fig. 31. Perfiles de objetos obtenidos mediante inferencia de diferentes modelos de CNN, perfil de objeto original y perfil de objeto con ruido cuasi/periódico.

Resultados

La métricas utilizadas para analizar los resultados de forma cuantitativas son el PSNR, IMMSE, SSIM y MSE proporcionados por MATLAB, los cuales se obtienen usando las siguientes formulas.

$$PSNR = 10\log_{10}(peakval^2/MSE)$$

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^{\alpha} \cdot [c(x,y)]^{\beta} \cdot [s(x,y)]^{\gamma}$$

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{N}\sum_{i}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$IMMSE = (A(:) - B(:))^2 / numel(A)$$

Resultados

Los resultados cuantitativos utilizando PSNR, IMMSE, SSIM y MSE obtenidos con el objeto simétrico se muestran en la tabla .

CNN	PSNR	IMMSE	SSIM	MSE(Perfil)
Multiresolution-CNN Modified	**23.8290**	**0.0041**	**0.9510**	**0.0054**
UNET	20.8971	0.0081	0.9084	0.0078
FCN32s	27.1734	0.0019	0.9659	0.0021
Multiresolution-CNN	23.7022	0.0043	0.9499	0.0065

Tabla 5. Resultados cuantitativos obtenidos de objeto simétrico

Conclusiones

Las inferencias realizadas con los modelos entrenados demuestran la capacidad de las arquitecturas seleccionadas para atenuar ruido en imágenes como lo es el ruido cuasi/periódico adquirido con PSP ademas de las tareas que generalmente son destinadas a realizar.

Por otro lado la atenuación del ruido en las imágenes adquiridas por PSP resulta en la reconstrucción de objetos 3D mas suaves y cercanos al objeto real, simplemente procesando las representaciones 2D de los objetos contaminados en menos de 1 segundo, por lo tanto consiguiendo que el uso de aprendizaje profundo ayude en el proceso de reconstrucciones 3D de objetos.

Referencias Bibliograficas

Sun, Y., Yu, Y., and Wang, W. (2018). Moiré Photo Restoration Using Multiresolution Convolutional Neural Networks, vol. 27, no. 8, pp. 4160-4172, Aug. 2018, doi: 10.1109/TIP.2018.2834737.

Alvarado Escoto L.A., Ortega J.C.P., Ramos Arreguin J.M., Gorrostieta Hurtado E., Tovar Arriaga S. (2020) The Effect of Bilateral Filtering in 3D Reconstruction Using PSP. In: Mata-Rivera M.F., Zagal-Flores R., Barria-Huidobro C. (eds) Telematics and Computing. WITCOM 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1280. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62554-2_20

Wei, Z., Wang, J., Nichol, H., Wiebe, S., Chapman, D. (2012) A median-Gaussian filtering framework for Moiré pattern noise removal from X-ray microscopy image. Micron. 43(2-3):170-6. doi: 10.1016/j.micron.2011.07.009. Epub 2011 Jul 19. PMID: 21803588; PMCID: PMC3858302.

Varghese, J. (2016). Adaptive threshold based frequency domain filter for periodic noise reduction. Int J Electron Commun (AEÜ), http://dx.doi.org/10.1016/j.aeue.2016.10.008

Gonzalez, C. R., Richard E. W. (2008). Digital Image Processing. Pearson Education; 4th ed. New Jersey.

Delphine, F., Parker H. K., Boutelle G. M. (2009). Practical methods for noise removal: applications to spikes, nonstationary quasi-periodic noise, and baseline drift. Anal Chem 81:4987–94.DOI: 10.1021/ac900161x

Fehrenbach, J. , Weiss, P. and Lorenzo, C. (2012). "Variational Algorithms to Remove Stationary Noise: Applications to Microscopy Imaging," in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 21, no. 10, pp. 4420-4430, 2012, doi: 10.1109/TIP.2012.2206037.

Ji, Z., Ming, Z., Li, Q. et al. (2004). Reducing periodic noise using soft morphology filter. J. of Electron. 21, 159–162 https://doi.org/10.1007/BF02687832

Referencias Bibliograficas

Rai, A. (2013). An empirical study of periodic noise filtering in Fourier domain: an introduction to novel autonomous periodic noise removal algorithms. Lap Lambert Academic Publishing.

Srinivasan, R., Cannon, M. \& White, J., (1988). Landsat Data Destriping Using Power Spectral Filtering, Opt. Eng. 27(11) 271193 https://doi.org/10.1117/12.7976791

Lebrun, M., Colom, M., Buades, A., \& Morel, J. (2012). Secrets of image denoising cuisine. Acta Numerica, 21, 475-576. doi:10.1017/S0962492912000062

Ronneberger, O., Fischer, P. and Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation

Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: NIPS. pp. 1106–1114

Zhang, K., Zuo, W., Gu, S. and Zhang, L. (2017). Learning deep CNN denoiser prior for image restoration, in Proc. CVPR, pp. 3929–3938

Milanfar, P. (2013). A Tour of Modern Image Filtering: New Insights and Methods, Both Practical and Theoretical, in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 30, no. 1, pp. 106-128, doi: 10.1109/MSP.2011.2179329.

Zhang, K., Zuo, W., Chen, Y., Meng, D. and Zhang, L. (2017). Beyond a Gaussian denoiser: Residual learning of deep CNN for image denoising, IEEE Trans. Image Process., vol. 26, no. 7, pp. 3142–3155.

Li, B., (2014). "High quality three-dimensional (3D) shape measurement using intensity-optimized dithering technique". Graduate Theses and Dissertations. 13678.

Referencias Bibliograficas

https://lib.dr.iastate.edu/etd/13678

Hanson, R. A. and Riseman, M. E., (1978) Computer Vision Sistems, Academic Press, Inc. New York.

Liu, F. (2012). Moire Pattern Removal From Texture Images via Low-rank and Sparse Matrix Decomposition. Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/VCIP.2015.7457907

Van der Jeught, S. (2016) Real-time structured light profilometry: A review. Optics and Lasers in Engineering 87. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2016.01.011

Rakesh Chowdary Machineni, Ch. R., (2020). End-to-end deep learning-based fringe projection framework for 3D profiling of objects. https://doi.org/10.1016/j.cviu.2020.103023

Feng, S., Chen, Q., Gu, G. (2019). Fringe pattern analysis using deep learning. Advanced Photonics, 1(2), 025001. DOI: 10.1117/1.AP.1.2.025001

Russakovsky, O. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. International Journal of Computer Vision (IJCV), vol. 115, No. 3, Pag. 211-252. DOI: 10.1007/s11263-015-0816-y

Larranaga P. et al. (2019). Tema 8. Redes Neuronales. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Larranaga2/publication/268\\291232_Tema_8_Redes_Neuronales/links/55b7b5c408ae9289a08c0c68.pdf.
Bioucas-Dias, J., & G., V. (2007).

Phase unwrapping via max flows. Image Processing, IEEE Transactions, 698-709 agregar esta bibliografia para algoritmo PUMA

Anexos

upiita-ipn

AUTHOR PAPER CERTIFICATE

OF CONFERENCE WITCOM 2022

The organization of WITCOM is pleased to extend this recognition to

Osmar Antonio Espinosa Bernal

For the keynote speech:**Adaptive based frequency domain filter for periodic noise reduction in images acquired by projection fringes**, in the 11th International Conference WITCOM 2022.

Dr. Miguel Félix Mata Rivera
Chairman WITCOM 2022

Awarded on November 9, 2022 in Cancún, Quintana Roo, México

MÓVIL

Anexos

upiita-ipn

AUTHOR PAPER CERTIFICATE

OF CONFERENCE WITCOM 2022

The organization of WITCOM is pleased to extend this recognition to

Osmar Antonio Espinosa Bernal

For the keynote speech:**Environment emulation in 3D graphics software for fringe projection profilometry**, in the 11th International Conference WITCOM 2022.

Dr. Miguel Félix Mata Rivera
Chairman WITCOM 2022

Awarded on November 9, 2022 in Cancún, Quintana Roo, México

MÓVIL

Anexos

Constancias de ingles.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE LENGUAS Y LETRAS

A QUIEN CORRESPONDA:

La que suscribe, Directora de la Facultad de Lenguas y Letras, hace **C O N S T A R** que

ESPINOSA BERNAL OSMAR ANTONIO

Presentó y acreditó el **Examen de Comprensión de Textos en Inglés** efectuado el día dieciocho de octubre de dos mil veintiuno.

Se extiende la presente a petición de la parte interesada, para los fines escolares y legales que le convengan, en el Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro, el día veinticinco de octubre de dos mil veintiuno.

A t e n t a m e n t e,
"Enlazar Culturas por la Palabra"

DRA. ADELINA VELÁZQUEZ HERRERA

AVH/japa*CL*FLL-C.-2019

SOMOS UAQ
EDUCAR CRECER CONSOLIDAR

Campus Aeropuerto, Anillo Vial Fray Junípero Serra S/N, Querétaro, Qro. C.P. 76140
Tel. 442 192 12 00 Dirección Ext. 61010, Secretaría Administrativa Ext.61300, Posgrado Ext. 61140,
Licenciatura Ext.61070, Centro de Lenguas Ext.61050, Secretaría Académica Ext.61100 y Planeación Ext.61110

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE LENGUAS Y LETRAS

A QUIEN CORRESPONDA:

La que suscribe, Directora de la Facultad de Lenguas y Letras, hace **C O N S T A R** que

ESPINOSA BERNAL OSMAR ANTONIO

Presentó el **Examen de Manejo de la Lengua** efectuado el día diecisiete de junio de dos mil veintidós, en el cual obtuvo la siguiente calificación:

8-

Se extiende la presente a petición de la parte interesada, para los fines escolares y legales que le convengan, en el Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro, el día veintiocho de junio de dos mil veintidós.

A t e n t a m e n t e,
"Enlazar Culturas por la Palabra"

DRA. ADELINA VELÁZQUEZ HERRERA

AVH/japa*CL*FLL-C.-1214

SOMOS UAQ
EDUCAR CRECER CONSOLIDAR

Campus Aeropuerto, Anillo Vial Fray Junípero Serra S/N, Querétaro, Qro. C.P. 76140
Tel. 442 192 12 00 Dirección Ext. 61010, Secretaría Administrativa Ext.61300, Posgrado Ext. 61140,
Licenciatura Ext.61070, Centro de Lenguas Ext.61050, Secretaría Académica Ext.61100 y Planeación Ext.61110

Anexos

Registro de protocolo de investigación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DIPFI POSGRADO INGENIERÍA

REGISTRO DEL PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIANTE DE POSGRADO

Los 2 Espacios obscuros exclusivos para la Dirección	No. Registro de Proyecto*:	12579
	Fecha de Registro*:	23-06-2021
	Fecha de inicio de proyecto:	11/ENE/2021
	Fecha de término de proyecto:	16/DIC/2022
1. DATOS DEL SOLICITANTE		
No. de expediente:	302396	
Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombre(s)
ESPINOSA	BERNAL	OSMAR ANTONIO
Dirección:		
Calle y número	Colonia	C.P.
Av. Hidalgo #137	Centro	76030
Estado	Teléfono (incluir lada)	Correo Electrónico
22	7151020886	antonio.be565@gmail.com
2. DATOS DEL PROYECTO		
Facultad:	INGENIERÍA	
Programa:	MAESTRIA EN CIENCIAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL	
Tema específico del proyecto:	Reduccion de ruido periódico en imágenes obtenidas por perfilometría usando tecnicas de aprendizaje profundo para reconstrucción de objetos 3D	
PEDRAZA ORTEGA JESUS CARLOS Director de tesis	TOVAR SARRIAGA SAUL Coordinador de programa	ESPINOSA BERNAL OSMAR ANTONIO Alumno
Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa Jefe de División de Investigación y Posgrado de la Fac. de Ing.	Dr.Manuel Toledano Ayala Director de Fac. Ing.	Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña Directora de Investigación y Posgrado UAQ

Universidad Autónoma de Querétaro
22 JUN. 2021
RECIBIDO
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Anexo 3 Manual de procedimientos Administrativos de Posgrado de la Facultad de Ingeniería

Anexos

Votos aprobatorios

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

VOTOS APROBATORIOS
DE PROTOCOLO DE TESIS

PROGRAMA DE ESTUDIOS: Maestría en Ciencias en Inteligencia Artificial

NOMBRE: ESPINOSA BERNAL OSMAR ANTONIO

NOMBRE DE LA TESIS: Reduccion de ruido periódico en imágenes obtenidas por perfilometría usando tecnicas de aprendizaje profundo para reconstrucción de objetos 3D

Elemento del protocolo	Requerimiento
Redacción y Estilo	El documento es legible, coherente y está libre de errores gramaticales. El estilo es directo, impersonal y se enfoca en las evidencias, análisis, hallazgos y resultados.
Formato	El documento se apega a la estructura y lineamientos del formato aprobado por la DIPFI.
- Título del proyecto de tesis	El título describe la esencia del trabajo en 20 palabras o menos.
- Línea de investigación	El trabajo se inserta en una de las Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento del programa de estudios correspondiente.
II Antecedentes	Los antecedentes describen la evaluación del conocimiento acerca del fenómeno o hecho a investigar. Se identifican el estado del arte y de la técnica relacionados con el problema bajo estudio.
III Justificación	Se aporta evidencia que demuestra la pertinencia del trabajo en el contexto de la(s) disciplina(s) del programa y la viabilidad económica y técnica del proyecto.
IV Descripción del problema	Se identifican los fenómenos, hechos o situaciones, que puestos en relación presentan incongruencia, obstáculos, desconocimiento o discrepancia y que constituyen el objeto de estudio.
V Fundamentación teórica	La Fundamentación Teórica plantea la perspectiva desde donde se desarrollará el estudio (modelo teórico, básico), los elementos del tema que consideramos más significativos (variable con las cuales va a interactuar el investigador), y los instrumentos teóricos de análisis de los datos obtenidos.
VI Hipótesis y objetivos	La hipótesis es un enunciado a renglón corrido, que plantea una posible respuesta a la pregunta de investigación basada en la teoría y en la práctica, estableciendo relaciones entre las variables del problema y que al contrastarse proporcionará conocimiento nuevo en la disciplina de estudio.
(de acuerdo al tipo de programa)	Los objetivos son alcanzables, específicos, medibles, realistas y tienen un plazo. Existe congruencia entre el título de la tesis, la hipótesis y los objetivos.
VII Metodología y cronograma	La metodología describe los materiales, herramientas y métodos que se usarán para verificar la hipótesis y lograr los objetivos del trabajo de investigación, a un nivel de detalle suficiente para permitir la réplica del trabajo. El cronograma está desarrollado en un diagrama de Gantt y el proyecto se puede concluir dentro de los tiempos establecidos en el programa de posgrado correspondiente.
VIII Resultados esperados, posibles aplicaciones y uso del proyecto	Se especifican los productos del trabajo, su impacto científico, tecnológico y económico.
IX Referencias bibliográficas	Las referencias son recientes, pertinentes, están citadas en el texto y se apegan al formato que sugiere la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAQ, o el Journal of Animal Science Style and Form (Revised 2005).
Elementos Éticos del Protocolo	**Requerimiento para ser Evaluado por el Comité de Ética para la Investigación**
1.Aspectos generales	¿Incluye el protocolo las aclaraciones respecto Anexo II del comité de ética: Formato de Registro ante el Comité de Ética para la Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro?
2.Seguridad	¿Se incluye en el protocolo una sección sobre seguridad y buenas prácticas de laboratorio que garanticen la integridad de los investigadores y participantes involucrados?

Nombre: TOVAR ARRIAGA SAUL
Puesto de sinodal: VOCAL
Fecha: 23/05/2021 17:40

Nota: La obtención del voto aprobatorio se realiza por medio de la plataforma SAIP

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

VOTOS APROBATORIOS
DE PROTOCOLO DE TESIS

PROGRAMA DE ESTUDIOS: Maestría en Ciencias en Inteligencia Artificial

NOMBRE: ESPINOSA BERNAL OSMAR ANTONIO

NOMBRE DE LA TESIS: Reduccion de ruido periódico en imágenes obtenidas por perfilometría usando tecnicas de aprendizaje profundo para reconstrucción de objetos 3D

Elemento del protocolo	Requerimiento
Redacción y Estilo	El documento es legible, coherente y está libre de errores gramaticales. El estilo es directo, impersonal y se enfoca en las evidencias, análisis, hallazgos y resultados.
Formato	El documento se apega a la estructura y lineamientos del formato aprobado por la DIPFI.
- Título del proyecto de tesis	El título describe la esencia del trabajo en 20 palabras o menos.
- Línea de investigación	El trabajo se inserta en una de las Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento del programa de estudios correspondiente.
II Antecedentes	Los antecedentes describen la evaluación del conocimiento acerca del fenómeno o hecho a investigar. Se identifican el estado del arte y de la técnica relacionados con el problema bajo estudio.
III Justificación	Se aporta evidencia que demuestra la pertinencia del trabajo en el contexto de la(s) disciplina(s) del programa y la viabilidad económica y técnica del proyecto.
IV Descripción del problema	Se identifican los fenómenos, hechos o situaciones, que puestos en relación presentan incongruencia, obstáculos, desconocimiento o discrepancia y que constituyen el objeto de estudio.
V Fundamentación teórica	La Fundamentación Teórica plantea la perspectiva desde donde se desarrollará el estudio (modelo teórico, básico), los elementos del tema que consideramos más significativos (variable con las cuales va a interactuar el investigador), y los instrumentos teóricos de análisis de los datos obtenidos.
VI Hipótesis y objetivos	La hipótesis es un enunciado a renglón corrido, que plantea una posible respuesta a la pregunta de investigación basada en la teoría y en la práctica, estableciendo relaciones entre las variables del problema y que al contrastarse proporcionará conocimiento nuevo en la disciplina de estudio.
(de acuerdo al tipo de programa)	Los objetivos son alcanzables, específicos, medibles, realistas y tienen un plazo. Existe congruencia entre el título de la tesis, la hipótesis y los objetivos.
VII Metodología y cronograma	La metodología describe los materiales, herramientas y métodos que se usarán para verificar la hipótesis y lograr los objetivos del trabajo de investigación, a un nivel de detalle suficiente para permitir la réplica del trabajo. El cronograma está desarrollado en un diagrama de Gantt y el proyecto se puede concluir dentro de los tiempos establecidos en el programa de posgrado correspondiente.
VIII Resultados esperados, posibles aplicaciones y uso del proyecto	Se especifican los productos del trabajo, su impacto científico, tecnológico y económico.
IX Referencias bibliográficas	Las referencias son recientes, pertinentes, están citadas en el texto y se apegan al formato que sugiere la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAQ, o el Journal of Animal Science Style and Form (Revised 2005).
Elementos Éticos del Protocolo	**Requerimiento para ser Evaluado por el Comité de Ética para la Investigación**
1.Aspectos generales	¿Incluye el protocolo las aclaraciones respecto Anexo II del comité de ética: Formato de Registro ante el Comité de Ética para la Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro?
2.Seguridad	¿Se incluye en el protocolo una sección sobre seguridad y buenas prácticas de laboratorio que garanticen la integridad de los investigadores y participantes involucrados?

Nombre: PEDRAZA ORTEGA JESUS CARLOS
Puesto de sinodal: DIRECTOR DE TESIS
Fecha: 23/05/2021 21:47

Nota: La obtención del voto aprobatorio se realiza por medio de la plataforma SAIP

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

VOTOS APROBATORIOS
DE PROTOCOLO DE TESIS

PROGRAMA DE ESTUDIOS: Maestría en Ciencias en Inteligencia Artificial

NOMBRE: ESPINOSA BERNAL OSMAR ANTONIO

NOMBRE DE LA TESIS: Reduccion de ruido periódico en imágenes obtenidas por perfilometría usando tecnicas de aprendizaje profundo para reconstrucción de objetos 3D

Elemento del protocolo	Requerimiento
Redacción y Estilo	El documento es legible, coherente y está libre de errores gramaticales. El estilo es directo, impersonal y se enfoca en las evidencias, análisis, hallazgos y resultados.
Formato	El documento se apega a la estructura y lineamientos del formato aprobado por la DIPFI.
- Título del proyecto de tesis	El título describe la esencia del trabajo en 20 palabras o menos.
- Línea de investigación	El trabajo se inserta en una de las Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento del programa de estudios correspondiente.
II Antecedentes	Los antecedentes describen la evaluación del conocimiento acerca del fenómeno o hecho a investigar. Se identifican el estado del arte y de la técnica relacionados con el problema bajo estudio.
III Justificación	Se aporta evidencia que demuestra la pertinencia del trabajo en el contexto de la(s) disciplina(s) del programa y la viabilidad económica y técnica del proyecto.
IV Descripción del problema	Se identifican los fenómenos, hechos o situaciones, que puestos en relación presentan incongruencia, obstáculos, desconocimiento o discrepancia y que constituyen el objeto de estudio.
V Fundamentación teórica	La Fundamentación Teórica plantea la perspectiva desde donde se desarrollará el estudio (modelo teórico, básico), los elementos del tema que consideramos más significativos (variable con las cuales va a interactuar el investigador), y los instrumentos teóricos de análisis de los datos obtenidos.
VI Hipótesis y objetivos	La hipótesis es un enunciado a renglón corrido, que plantea una posible respuesta a la pregunta de investigación basada en la teoría y en la práctica, estableciendo relaciones entre las variables del problema y que al contrastarse proporcionará conocimiento nuevo en la disciplina de estudio.
(de acuerdo al tipo de programa)	Los objetivos son alcanzables, específicos, medibles, realistas y tienen un plazo. Existe congruencia entre el título de la tesis, la hipótesis y los objetivos.
VII Metodología y cronograma	La metodología describe los materiales, herramientas y métodos que se usarán para verificar la hipótesis y lograr los objetivos del trabajo de investigación, a un nivel de detalle suficiente para permitir la réplica del trabajo. El cronograma está desarrollado en un diagrama de Gantt y el proyecto se puede concluir dentro de los tiempos establecidos en el programa de posgrado correspondiente.
VIII Resultados esperados, posibles aplicaciones y uso del proyecto	Se especifican los productos del trabajo, su impacto científico, tecnológico y económico.
IX Referencias bibliográficas	Las referencias son recientes, pertinentes, están citadas en el texto y se apegan al formato que sugiere la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAQ, o el Journal of Animal Science Style and Form (Revised 2005).
Elementos Éticos del Protocolo	**Requerimiento para ser Evaluado por el Comité de Ética para la Investigación**
1.Aspectos generales	¿Incluye el protocolo las aclaraciones respecto Anexo II del comité de ética: Formato de Registro ante el Comité de Ética para la Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro?
2.Seguridad	¿Se incluye en el protocolo una sección sobre seguridad y buenas prácticas de laboratorio que garanticen la integridad de los investigadores y participantes involucrados?

Nombre: ACEVES FERNANDEZ MARCO ANTONIO
Puesto de sinodal: SECRETARIO
Fecha: 24/05/2021 08:10

Nota: La obtención del voto aprobatorio se realiza por medio de la plataforma SAIP

Anexos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPF POSGRADO INGENIERÍA

Dictamen de Ética

FACULTAD DE INGENIERÍA
COMITÉ DE ÉTICA

C.U., 10 de junio de 2021

Osmar Antonio Espinosa Bernal
Estudiante de Maestría en Ciencias en Inteligencia Artificial
Expediente 302396

Presente

El Comité de Ética Aplicada para la Investigación de la Facultad de Ingeniería ha revisado el protocolo del trabajo de tesis:

CEAIFI-095-2021-TP

Reducción de ruido periódico en imágenes obtenidas por perfilometría usando técnicas de aprendizaje profundo para reconstrucción de objetos 3D

Con apego a los lineamientos éticos de beneficencia, no maleficencia, justicia y autonomía, este comité ha dado el siguiente dictamen:

Exento de dictamen ético

El presente dictamen tiene vigencia de un año a partir de su fecha de emisión.

Sirva esta carta para los fines académicos que al interesado convengan.

Atentamente
"El Ingenio para Crear, No para Destruir"

Dra. Aurora Femat Díaz
Presidente del CEAIFI
afemat@uaq.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
CERRO DE LAS CAMPANAS S/N, COL. LAS CAMPANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
C.P. 76010 QUERÉTARO, QRO. TEL. 192 12 00 EXT. 6023

Introducción

Bioucas-Dias, J ., & G., V. (2007). Phase unwrapping via max flows. *Image Processing, IEEE Transactions*, 698-709 agregar esta bibliografia para algoritmo PUMA

Introducción

Bioucas-Dias, J ., & G., V. (2007). Phase unwrapping via max flows. *Image Processing, IEEE Transactions*, 698-709 agregar esta bibliografia para algoritmo PUMA