



# DIFU 100CI@



## REVISTA DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA

### INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS



DIFU100ci@ (léase difuciencia) Vol. 13, No.2, Mayo - Agosto 2019, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, “Francisco García Salinas”, a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: [jflorest@uaz.edu.mx](mailto:jflorest@uaz.edu.mx).

**Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100-203, ISSN: 2007-3585**, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 20 de agosto de 2019. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas” a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

Producción

Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"

Diseño y Producción

Jorge Flores Troncoso

Diseño de Portada

José Ricardo Gómez Rodríguez

D.R. de la Presente Edición

Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"

López Velarde 801, Centro

98010 Zacatecas, Zac. México

ISSN 2007-3585

DIFU100ci@ (léase difucencia) Vol. 13, No.2, Mayo - Agosto 2019, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://www.uaz.edu.mx>, <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: [jflorest@uaz.edu.mx](mailto:jflorest@uaz.edu.mx).

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100-203, ISSN: 2007-3585, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 20 de agosto de 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas" a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

Hecho en México  
Made in Mexico

### Directorio

Dr. Antonio Guzmán Fernández Rector  
Dr. Rubén de Jesús Ibarra Reyes Secretario General  
Dr. Luis Alejandro Aguilera Galavíz Secretario Académico  
Dr. Agustín Serna Aguilera Secretario Administrativo  
Dr. Manuel Reta Hernández Coord. Investigación y Posgrado  
Dra. Georgia Aralu González Pérez Coord. Depto. Editorial

### Editores Ejecutivos

Jorge Flores Troncoso, Editor en Jefe, UAZ, México  
Manuel Reta Hernández, UAZ, México  
Remberto Sandoval Aréchiga, UAZ México  
Claudia Sifuentes Gallardo, UAZ, México

### Editores Asociados

Salvador Ibarra Delgado, UAZ, México  
Israel Alejandro Arriaga Trejo, CONACyT-UAZ, México  
Juvenal Villanueva Maldonado, CONACyT-UAZ, México  
Jorge Simón Rodríguez, CONACyT-UAZ, México  
Viktor Iván Rodríguez Abdalá, UAZ México  
José Ricardo Gómez Rodríguez, UAZ México

### Grupo Revisor

Oliver Joekisch, University of Applied Sciences, Germany  
Ding Hongwei, Tongji University, China  
Robert Weissbach, Penn State Erie, The Behrend College  
Naim Logic, Arizona Public Service  
Leonardo Acho Zuppa, U Politècnica de Catalunya, España  
Miguel Andrés, U. de Valencia, España  
Manuel Hernández Calviño, Universidad de La Habana, Cuba  
Luis C. García Santander, Universidad de Concepción, Chile  
José Ángel González Fraga, UABC, México  
Omar Álvarez Xochihua, UABC, México  
Ramón Parra Michel, CINVESTAV, México  
Leonel Soriano Equigua, FIME-UColima, México  
José Luis Álvarez Flores, FIME-UColima, México  
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México  
Jaime Sánchez García, CICESE México  
Salvador Villarreal Reyes, CICESE, México  
Enrique Pacheco Cabrera, AEM, México  
Ernesto García Domínguez, UAZ México  
Rafael Villela Varela, UAZ México  
Jorge de la Torre y Ramos, UAZ México

## Contenido

---

Editorial	p. <a href="#">1</a>
Impacto del síndrome de Burnout en el sector industrial de Baja California	pp. <a href="#">2-6</a>
Análisis de desempeño de un filtro FIR en RFNoC	pp. <a href="#">7-12</a>

## Editorial

---

La revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@ es una revista cuatrimestral que comenzó su publicación oficial en 2005. En mayo del 2012, la revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@ adquirió el ISSN.

Desde entonces, se pretende contribuir a la difusión del conocimiento de la comunidad académica tanto nacional como internacional mediante la difusión de resultados de investigación de alta calidad. La Revista se centra en obras originales, que incluyen principalmente los estudios experimentales, análisis numéricos, estudios de casos y revisiones bibliográficas que proporcionan una significativa contribución a las áreas de ingeniería y tecnología en todas las disciplinas (Electrónica, Eléctrica, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Robótica, Telecomunicaciones, Procesamiento de señales, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Control, y Bioingeniería).

Desde el comienzo, la revista ha buscado la mejora de los artículos aceptados para su publicación por un proceso de evaluación por pares o árbitro de los manuscritos recibidos. Estas evaluaciones son llevadas a cabo por expertos de reconocido prestigio por sus conocimientos y logros académicos, con el objetivo de asegurar que las publicaciones seleccionadas están contribuyendo al estado del arte en diferentes áreas de interés. Además, desde su inicio, la revista se ha abierto a los estudiantes y académicos a través del Sistema Open Journal, facilitando todo el proceso de presentación y publicación.

Agradezco a los autores y revisores, que se esfuerzan para mejorar la calidad de los manuscritos. Exhorto a todos los investigadores, académicos y estudiantes en las áreas de ingeniería y tecnología para que continúen sometiendo sus artículos en nuestra revista y contribuir a la noble difusión de la ciencia y la tecnología.

Jorge Flores Troncoso  
Editor en Jefe, Revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@  
Universidad Autónoma de Zacatecas

# Impacto del síndrome de Burnout en el sector industrial de Baja California

Sharon Macias-Velasquez<sup>a</sup>, Yolanda Baez-Lopez<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño,  
Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana, 3917, Colonia Playitas, 22860, Ensenada, Baja California, México  
[idalii.macias@uabc.edu.mx](mailto:idalii.macias@uabc.edu.mx)  
[yolanda@uabc.edu.mx](mailto:yolanda@uabc.edu.mx)

2019 Published by DIFU<sub>100ci</sub>@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

## Resumen

Los problemas de salud mental en el trabajo generalmente se manifiestan como problemas de desempeño impactando negativamente en la economía de una empresa. El enfoque del presente trabajo fue conocer la incidencia del estrés laboral crónico (Burnout) en mandos medios y superiores del sector de la industria maquiladora, manufacturera y de servicios de exportación (IMMEX) en Baja California, México; por la creciente importancia que adquiere este problema de salud mental en la población mexicana con el 75 % de trabajadores padeciendo estrés. La muestra piloto indicó que el 76.3 % de los trabajadores presentan Burnout en algún nivel de bajo hasta extremo; cifra cercana a lo reportado a nivel nacional

*Palabras clave:* Burnout, Sector Industrial, Mandos medios y superiores

## 1. Introducción

En la actualidad la Organización Internacional del Trabajo (OIT) reconoce que el estrés laboral es uno de los principales problemas para mantener la salud de los trabajadores y como consecuencia el buen funcionamiento de las empresas donde laboran. México ocupa el primer lugar a nivel mundial en esta categoría con un 75 % de trabajadores mexicanos padeciendo estrés; el segundo lugar lo ocupa China con un 73 % y finalmente Estados Unidos con 59 % [1].

Los factores del lugar de trabajo que pueden causar estrés se denominan factores de riesgo psicosocial o peligros psicosociales [2]. La OIT definió los factores de riesgo psicosocial en 1984, en términos de “las interacciones entre el medio ambiente de trabajo, el

contenido del trabajo, las condiciones de organización y las capacidades, necesidades, cultura del trabajador, y consideraciones personales externas al trabajo que pueden, en función de las percepciones y la experiencia, tener influencia en la salud, rendimiento del trabajo y satisfacción laboral” [2].

La carencia de desarrollo de políticas relacionadas a los riesgos psicosociales que desencadenan en estrés laboral, hace difícil a las compañías de cualquier tamaño llevar a cabo estrategias de control efectivas para tratar con estos asuntos. La situación empeora por la falta de cobertura de los servicios de salud ocupacional.

La OMS estima que a nivel mundial sólo entre el 5 % y 10 % de los trabajadores en los países en desarrollo y entre el 20 % y 50 % de los trabajadores en países industrializados (con pocas excepciones) tienen acceso

a servicios de salud ocupacional adecuados [3]. Los problemas relacionados con los aspectos psicosociales en el trabajo son atendidos en raras ocasiones aun cuando los servicios están disponibles [3].

Las investigaciones sobre el tema de estrés laboral han ido en aumento y los resultados obtenidos muestran claramente que existe relación entre el estrés relacionado con el trabajo y los trastornos de la salud, tanto físicos como mentales.

El impacto del estrés en la salud varía de un individuo a otro; elevados niveles de estrés pueden originar problemas tales como: síndrome de Burnout (o síndrome del quemado), ansiedad, depresión, enfermedades cardiovasculares y trastornos musculoesqueléticos [2].

### 1.1. Síndrome Burnout

Estudios relacionados con el síndrome Burnout tuvieron sus inicios en los años 70 aproximadamente, con la investigación del psiquiatra Herbert Freudenberger quien analizó la conducta de voluntarios en una clínica para toxicómanos de New York. En un periodo comprendido entre uno a tres años la mayoría presentaba pérdida de energía, desmotivación, falta de interés por el trabajo acompañados de síntomas de ansiedad y depresión [4].

Para [5], el síndrome Burnout es un “estado de fatiga o de frustración que se produce por la dedicación a una causa, forma de vida o de relación que no produce el esperado refuerzo”.

Por otro lado, la psicóloga Cristina Maslach en el año 1976 denomina el término Burnout para describir las respuestas emocionales que presentaban empleados cuyas profesiones se enfocaban en ayuda a personas [6].

Más tarde en [7] lo definieron como respuesta al estrés laboral crónico que conlleva la vivencia de encontrarse emocionalmente agotado, el desarrollo de actividades y sentimientos negativos hacia las personas con las que se trabaja (actividades de despersonalización), y la aparición de procesos de devaluación del propio rol profesional.

En la actualidad el Burnout se puede entender como un síndrome psicológico que implica una respuesta prolongada a estresores interpersonales crónicos en el trabajo. Las tres dimensiones claves de esta respuesta son un agotamiento extenuante, sentimiento de cinismo y desapego por el trabajo, además de una sensación de ineficacia y falta de logros [8]. Es un tipo de estrés crónico en el ámbito laboral del individuo; se caracteriza por desarrollar ideas de fracaso profesional, actitudes negativas hacia las personas con las que se trabaja,

además de sentirse emocionalmente agotado [9]. Al igual que el estrés laboral, el síndrome Burnout impacta en las organizaciones por las consecuencias que tiene sobre la salud física y mental del trabajador [10].

El estudio del Burnout se ha extendido fuera de los servicios de salud donde tuvo sus inicios, poblaciones como: docentes [11, 12, 13], supervisores de seguridad [14], profesionales de la salud [15, 16, 17], funcionarios públicos [18] y trabajadores en general [19] se han analizado, por mencionar algunos. En lo que respecta a México, entre las ciudades donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de estudios en el tema son Guadalajara y Ciudad de México [20].

## 2. Desarrollo

Con el fin de conocer la incidencia del síndrome Burnout en la zona noroeste de México, se realizó un muestreo en el sector industrial, que fue dirigido a mandos medios y superiores por la responsabilidad de estos puestos. La muestra piloto fue de 121 trabajadores de los cuales 42 fueron de la ciudad de Tijuana y 79 de la ciudad de Mexicali como lo muestra la Figura 1.

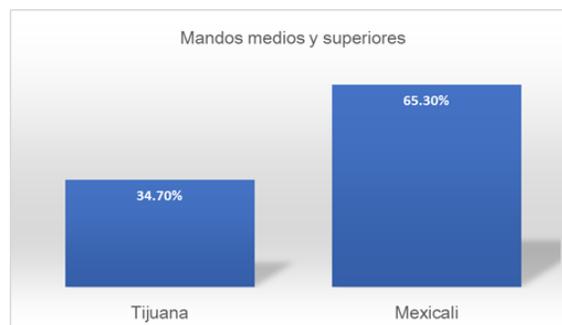


Figura 1. Distribución en porcentaje de la muestra piloto

### 2.1. Instrumento Maslach Burnout Inventory (MBI)

El instrumento utilizado para la recolección de los datos fue el Maslach Burnout Inventory de Maslach y Jackson; considerado como el más utilizado para la evaluación del síndrome del Burnout en diversas profesiones.

Cuenta con 3 versiones oficiales, el MBI Human Services Survey (HSS) está orientado a profesionales de la salud, está compuesto de 22 ítems tipo Likert y se divide en las tres dimensiones más utilizadas para definir al Burnout [21] que son: cansancio emocional, despersonalización y baja realización personal, con resultados bajo-medio-alto.

El MBI Educators Survey (ES) está estructurado de la misma forma que el MBI HSS, la diferencia radica en que se aplica de manera específica a profesores y en la redacción del instrumento únicamente se sustituye la palabra pacientes por estudiantes [22].

En el año de 1996 se publica una nueva versión de este instrumento, transformándose al MBI-General Survey (MBI-GS) con una visión más genérica a fin de incluir a más profesiones fuera del ámbito de servicios humanos; fue elaborado en conjunto con Leiter y Schaufeli.

Este nuevo instrumento (MBI-GS) fue el utilizado para el presente trabajo, consta de 16 preguntas relacionados principalmente con la interacción individuo-trabajo dejando en un segundo plano los sentimientos generados por el mismo en el trabajo, como por ejemplo si las personas con las que interactúa pudieran ser causa del desgaste ocupacional [21]. Conserva dos de las dimensiones del instrumento original: agotamiento y baja eficiencia profesional, la dimensión de despersonalización cambia su nombre por la de cinismo, que se manifiesta en actitudes negativas, de indiferencia o de distancia hacia el trabajo en general. El formato de respuesta de este instrumento consta de 7 opciones y se muestra en escala tipo Likert que va de 0 con "Nunca" hasta 6 con "Cada día".

La Figura 2 muestra las tres dimensiones que caracterizan al síndrome Burnout [23]: la dimensión de agotamiento se refiere al sentir de carecer de fuerza mental y física para cumplir con los niveles demandantes de la actividad asignada. Considera que no existe fuente de reposición de energía lo que desencadena una debilidad mayor en el individuo; la dimensión del cinismo se manifiesta con actitudes negativas y apáticas hacia la gente y hacia las actividades del trabajo. El individuo reduce el desempeño al mínimo considerando factores como menos tiempo en el lugar de trabajo o bien la cantidad de energía utilizada en el mismo; la dimensión de ineficiencia se refiere al sentimiento de carencia de productividad en el trabajo que conlleva a que el individuo desarrolle ideas de fracaso profesional, actitudes negativas hacia las personas con las que trabaja, además de sentirse emocionalmente agotado.

El instrumento MBI además de contar con la ventaja de ser breve en tiempo de respuesta pues solo lo componen 16 reactivos, ya ha sido validado para el sector de mandos medios y superiores en población mexicana [24].

## 2.2. Recolección de datos

Para la aplicación de los cuestionarios primeramente se enviaron correos por medio de la Secretaria del

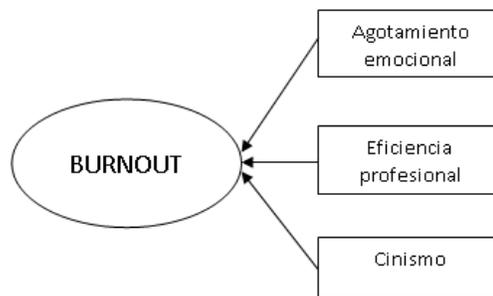


Figura 2. Caracterización del burnout (elaboración propia)

Trabajo y Previsión Social (STPS) de Ensenada a las distintas empresas para dar a conocer el proyecto. Posteriormente, con las empresas interesadas se concertó una cita para exponer el proyecto a la directiva o departamentos interesados; se tuvo un total de 11 empresas interesadas y la participación final de 6 empresas de las ciudades de Tijuana y Mexicali.

Las muestras fueron recolectadas de manera presencial en las empresas, por medio de un cuestionario impreso; a todo el personal de mandos medios y superiores participante se le informó sobre el aviso de confidencialidad de sus datos. Todo el proceso de recolección de datos y seguimiento fue apegado a los lineamientos de la declaración de Helsinki [25].

## 3. Resultados

Los resultados de las muestras obtenidas se presentan en la Tabla 1, dividiéndose estas por nivel de Burnout, género y ciudades participantes.

Se observa que más de la mitad de la población encuestada (con un 76.3 %) presentan la condición de estrés en algún nivel de intensidad lo cual debe alertar al sector para minimizar los daños que se presenten por tener personal con dicha condición.

Se encontró que la prevalencia en el sexo masculino es mayor en la industria con mayores niveles de Burnout en la población muestreada; por otro parte la ciudad de Mexicali presentó mayores niveles de Burnout respecto a la ciudad de Tijuana. De la muestra representativa se observa un mayor número de personal que presenta el nivel medio de Burnout; lo que sugiere que los empleados no cuentan con una salud mental deseable. Solo el 19.7 % se encuentran fuera de padecer este síndrome.

La región fronteriza y en especial el estado de Baja California es representativa para el país debido a que es la región que cuenta con más establecimientos industriales, la segunda con más personal ocupado considerando datos históricos y con mayor monto de valor agregado en el país. En este estado, la actividad ma-

Tabla 1. Resultados de niveles de Burnout.

Nivel de Burnout	Muestra en hombres †	Muestra en mujeres ‡	Muestra en Tijuana ★	Muestra en Mexicali ○	Muestra total *
Bajo	14.8	8.2	8.2	15	3.7
Medio	16.5	7.4	10.7	13.2	23.8
Alto	10	10	5.7	14	19.7
Extremo	7.4	5.8	3.3	10	13.1
No padece	13.2	6.6	6.6	13.2	19.7

\* Los datos representan el 100 % de la muestra.  
 † Los datos representan el 61.9 % de la muestra total.  
 ‡ Los datos representa el 38 % de la muestra total.  
 ★ Los datos representa el 34.5 % de la muestra total.  
 ○ Los datos representa el 65.4 % de la muestra total.

quiladora ha tenido mucho éxito, están representadas importantes empresas mundiales que tienen operaciones de manufactura, dentro de las cuales se destacan: Toyota, LG Electronics, Honeywell, Hyundai, Samsung, Thomson, Sharp, Greatbatch, Carefusion, Rockwell Collins, Emerson, Kenworth, Gulfstream, UTC Aerospace Systems, Lockheed Martin, Panasonic, Skyworks, Smiths, Tyco, entre otros [26].

En dicha región, la actividad maquiladora se inició al amparo del régimen de zona libre que regía en los años 60's y que permitía la libre importación de maquinaria y equipo, materias primas e insumos; de aquí se extendió al resto de la frontera norte, posteriormente a las costas y otras fronteras y finalmente a todo el país [26]. De ahí deriva la importancia de conocer las estadísticas respecto al sector de mandos medios y superiores que soportan esta importante actividad.

#### 4. Conclusiones

El personal que ocupa mandos medios y superiores en una organización requiere cada vez de mayor habilidad, flexibilidad, conocimiento, disponibilidad y capacidad para enfrentar los retos de la globalización.

El rol de los mandos medios es sumamente importante, ya que este nivel es el enlace entre los niveles jerárquicos altos, donde se desarrolla la estrategia organizacional y donde se toman las decisiones trascendentes; y los niveles jerárquicos bajos donde se lleva a cabo la operación y ejecución de la estrategia [27]. Lo que respecta a los mandos superiores en el mercado laboral, la mayoría de las veces recaen las decisiones más importantes de toda la organización.

La detección del estrés laboral coincide con el porcentaje a nivel nacional lo que indica que el sector de mandos medios y superiores no esta exento de este padecimiento; para tratar cualquier padecimiento es importante la detección de los niveles en los que se

encuentra el personal.

Los estudios han sido enfocados en poblaciones de trabajadores operativos dando por hecho que será posible encontrar el padecimiento de Burnout por las condiciones de trabajo y largas jornadas laborales, por mencionar algunas; sin embargo, el enfocarnos en mandos medios sugiere que hay un problema que atacar desde la administración de las organizaciones. Un estado de salud integral desde los mandos superiores ayudará a reflejar el bienestar a toda la empresa.

Hasta el momento, los esfuerzos más conscientes por mejorar las condiciones de trabajo son insuficientes para que el estrés sea eliminado completamente para todos los trabajadores. Por esa razón, una combinación de los enfoques organizacional e individual suele ser la mejor forma de prevenir el estrés en el trabajo y mantenerse a la vez enfocados en las medidas organizacionales y en las medidas trabajo-organización. Si está disponible el servicio de salud ocupacional que incluye psicólogos o profesionistas con experiencia relacionada, se puede aconsejar al empleador sobre medidas preventivas o intervenciones que sean las más indicadas para las situaciones de riesgo identificadas [3].

La muestra piloto tuvo como objetivo identificar a la población, sin embargo, como trabajo futuro la recolección de muestras continúa con el fin de llegar a conclusiones finales y aportar sugerencias de mejora para el sector industrial de Baja California.

#### Referencias

[1] Instituto Mexicano del Seguro Social. (2019). Estrés Laboral. Recuperado el 22, mayo, 2019, de <http://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/estres-laboral>

[2] Organización Internacional del Trabajo. (2016). Estrés en el trabajo: Un reto colectivo. Recuperado de [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms\\_473270.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_473270.pdf)

- [3] Houtman, I., Jettinghoff, K., & Cedillo, L. (2008). Sensibilizando sobre el estrés laboral en los países en desarrollo. World Health Organization. Recuperado de [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43770/9789243591650\\_spa.pdf;jsessionid=F8D2EAE03D8BA9C334388A9661E9A3C2?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43770/9789243591650_spa.pdf;jsessionid=F8D2EAE03D8BA9C334388A9661E9A3C2?sequence=1)
- [4] Mingote, A. (1998). Síndrome burnout o síndrome de desgaste profesional. *Formación Médica Continuada*, 5(8), 493. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000144&pid=S1657-9267200500010000900015&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000144&pid=S1657-9267200500010000900015&lng=en)
- [5] Freudenberger, H. J. (1974). Staff Burn-Out. *Journal of Social Issues*, 30(1), 159–165. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1974.tb00706.x>
- [6] Maslach, C., Jackson, S. E., & Leiter, M. (1986). *The Maslach Burnout Inventory Manual* second edition. Consulting Psychologists Press, (January). <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- [7] Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. *Journal of Organizational Behavior*, 2(2), 99–113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- [8] Maslach, C. (2009). Comprendiendo el Burnout. *Ciencia y Trabajo*, 32, 37–43. Recuperado de [cienciaytrabajo.cl](http://cienciaytrabajo.cl)
- [9] Gil-Monte, P. R., & Peiró, J. M. (1999). Perspectivas teóricas y modelos interpretativos para el estudio del síndrome de quemarse por el trabajo. *Anales de Psicología*, 15(2), 261–268. Recuperado de [http://www.um.es/analesps/v15/v15\\_2pdf/12v98\\_05Llag2.PDF](http://www.um.es/analesps/v15/v15_2pdf/12v98_05Llag2.PDF)
- [10] Lazarus, R. (1991). Psychological stress in the workplace. *Journal of Social Behavior & Personality*, 7(6), 1–13. Recuperado de <https://psycnet.apa.org/record/1992-03575-001>
- [11] Yu, X., Wang, P., Zhai, X., Dai, H., & Yang, Q. (2015). The Effect of Work Stress on Job Burnout Among Teachers: The Mediating Role of Self-efficacy. *Social Indicators Research*, 122(3), 701–708. <https://doi.org/10.1007/s11205-014-0716-5>
- [12] Guerrero, E. (2002). Modos de afrontamiento de estrés laboral en una muestra de docentes universitarios. *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, (43), 93–112. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=250583&info=resumen&idioma=SPA>
- [13] Ramírez, M., & Zurita, R. (2010). Variables organizacionales y psicosociales asociadas al síndrome de burnout en trabajadores del ámbito educacional. *Revista de La Universidad Bolivariana*, 9(25), 515–534. <https://doi.org/10.4067/S0718-65682010000100029>
- [14] Arias Gallegos, W. L., & Núñez Cohello, A. L. (2015). Síndrome de Burnout en supervisores de seguridad industrial de Arequipa. *Ciencia & Trabajo*, 17(52), 77–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-24492015000100013>
- [15] de Lima, G., Lerch, V., Lerch, G., Devos, E. L., & Silva da, R. (2014). Moral distress and burnout syndrome: are there relationships between these phenomena in nursing workers? *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 22(1), 35–42. <https://doi.org/10.1590/0104-1169.3102.2393>
- [16] Bria, M., Spânu, F., Baban, A., & Dumitrascu, D. L. (2014). Maslach Burnout Inventory - General Survey: Factorial validity and invariance among Romanian healthcare professionals. *Burnout Research*, 1(3), 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.burn.2014.09.001>
- [17] González-Gancedo, J., Fernández-Martínez, E., & Rodríguez-Borrego, M. A. (2019). Relationships among general health, job satisfaction, work engagement and job features in nurses working in a public hospital: A cross-sectional study. *Journal of Clinical Nursing*, (July 2018), 1–16. <https://doi.org/10.1111/jocn.14740>
- [18] Uribe, F. J., López, P. R., Galicia, C. P., & García, A. (2014). Síndrome de Desgaste Ocupacional (Burnout) y su Relación con Salud y Riesgo Psicosocial en Funcionarios Públicos que Imparten Justicia en México, D.F. *Acta de Investigación Psicológica*, 4(2), 1554–1571.
- [19] Uribe, J. F., & García, A. (2013). La Escala de Desgaste Ocupacional (EDO) y sus propiedades psicométricas con trabajadores en precariedad laboral de la Ciudad de México I. *Investigación y Análisis*, 32, 38–55.
- [20] Juárez-garcía, A., Idrovo, A. J., Camacho-ávila, A., & Placencia-reyes, O. (2014). Burnout syndrome in Mexican population: A systematic review. 37(2), 157–174.
- [21] Martínez, A. (2010). El síndrome de Burnout. Evolución conceptual y estado actual de la cuestión. *Vivat Academia*, (112), 1–40. Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/vivataca/numeros/n112/PDFs/Anbelacop.pdf>
- [22] Grajales, T. (2000). Estudio de la validez factorial del Maslach Burnout Inventory versión Española en una población de profesionales mexicanos. *Linea de Investigación: Instrumentos de Medición*, 1–10.
- [23] Maslach, C. (2003). Job burnout: New directions in research and intervention. *American Psychological Society*, 12, 189–192.
- [24] Macias-Velasquez, S., Baez-Lopez, Y., Maldonado-Macias, A. A., Limon-Romero, J., Tlapa, D., (2019). Burnout Syndrome in Middle and Senior Management in the Industrial Manufacturing Sector of Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8), 1467. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081467>
- [25] Asociación Médica Mundial. (2017). Declaración de Helsinki de la AMM – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Recuperado el 17, agosto, 2019, de <https://www.wma.net>
- [26] Gobierno del Estado. (n.d.). Home Invest in Baja. Recuperado el 17, mayo, 2019 de <http://www.investinbaja.gob.mx/en/home>
- [27] Amozorrutia, J. (2014). Mandos medios: factor clave en las organizaciones. *Great Place to Work*, p. 8.

# Análisis de desempeño de un filtro FIR en RFNoC

Grecia Montoya-Zúñiga<sup>a</sup>, Víktor I. Rodríguez-Abdalá<sup>a</sup>, Salvador Ibarra-Delgado<sup>a</sup>, Remberto Sandoval-Aréchiga<sup>a</sup>, Jorge Flores-Troncoso<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones  
Av. López Velarde 801, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México, 98000.  
[grecia.montoya.zu@gmail.com](mailto:grecia.montoya.zu@gmail.com)  
{[abdala](mailto:abdala@uaz.edu.mx),[sibarra](mailto:sibarra@uaz.edu.mx),[rsandoval](mailto:rsandoval@uaz.edu.mx),[jflorest](mailto:jflorest@uaz.edu.mx)}@uaz.edu.mx

2019 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

---

## Resumen

La implementación de aceleradores de hardware en ecosistemas de radio definido por software, permiten aumentar la capacidad de procesamiento de muestras por segundo de los sistemas de comunicaciones inalámbricos, herramientas como RFNoC habilita el FPGA para implementar diseños electrónicos en una red distribuida en los dispositivos USRP, de este modo, estos bloques de procesamiento de señales se integran de forma transparente al diagrama de flujo de GNU Radio con la ventaja que implica el procesamiento en hardware. Procesos como el filtrado de señales son bien conocidos por su alta carga computacional, por lo que su implementación en hardware significa una descarga de procesos en la computadora de propósito general así como el aprovechamiento del FPGA es cual es subutilizado en los dispositivos USRP.

*Palabras clave:* GNU Radio, RFNoC, FIR.

---

## 1. Introducción

Las ecosistemas de SDR (del inglés Software Defined Radio) son herramientas de software que junto con dispositivos de hardware, permiten implementar sistemas de comunicaciones inalámbricos reconfigurables, con la característica de reemplazar procesos tradicionalmente implementados en hardware, con algoritmos software en una computadora de propósito general.

GNU Radio es un ecosistema de software libre para sistemas de radio enriquecido con numerosos bloques de procesamiento de señal, estos son escritos en lenguajes de programación C++ y Python en general, también incluyen implementaciones en hardware utilizando

el lenguaje descriptor de hardware Verilog.

GNU Radio es utilizado principalmente con dispositivos USRP (del inglés Universal Software Radio Peripheral) los cuales son desarrollados y comercializados por Ettus Research, estos pueden funcionar tanto como receptor y transmisor para una amplia gama de frecuencias.

Si bien en GNU Radio, no se puede desarrollar o diseñar un bloque de procesamiento descrito por un lenguaje descriptor de hardware como lo es Verilog, RFNoC (del inglés Radio Frequency Network on Chip) es un entorno que permite el desarrollo de aplicaciones para FPGAs (del inglés Field Programmable Gate Array), de este modo GNU Radio crea un ecosistema compuesto

por bloques definidos por software y bloques de RFNoC implementados en hardware de manera transparentes para el usuario, lo cual facilita concentrar el esfuerzo de desarrollo a un nivel más alto de abstracción [1].

En el presente artículo se muestran los resultados de implementar un filtro FIR en tres diferentes bloques de procesamiento: en C, Python y en el lenguaje descriptor de hardware Verilog, esto con la finalidad de determinar las implicaciones de desarrollar bloques de procesamiento en los diferentes tipos de entornos, y así obtener los costos-beneficios del diseño de hardware contra la implementación en software.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se describe el ecosistema de radio definido por software GNU Radio así como la herramienta de RFNoC para la integración de bloques de procesamiento de señales en hardware dentro GNU Radio, así mismo se describen las especificaciones de la plataforma de hardware. En la sección 3 se detalla los parámetros de diseño del filtro FIR así como su implementación tanto en software como en hardware. En la sección 4 se describen las pruebas a realizar sobre los bloques de procesamiento de señales para tiempo real y post-procesamiento. Finalmente, en las secciones 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos y las conclusiones de las pruebas realizadas.

## 2. Herramientas de Software y plataforma de Hardware

### 2.1. GNU Radio

GNU Radio es un conjunto de herramientas de desarrollo de software libre y gratuito, que provee bloques de procesamiento de señales para implementarlos en radios definidos por software, puede usarse en conjunto con hardware de RF o sin él, para crear un ambiente de simulación.

Puede realizar todo tipo de procesamiento de señales, entre ellos: filtros, codificadores de canal, demoduladores, decodificadores y muchos otros elementos de procesamiento de señales representados en forma de bloques. La característica más importante es la manera de interconectar estos bloques entre sí a través de un diagrama de flujo, típicamente el diagrama de flujo empieza con una fuente ya sea de hardware o un archivo, los datos obtenidos de la fuente se conectan a una serie de bloques de procesamiento de señales, finalmente se conecta a un bloque “sink” donde la señal obtenida después del procesamiento puede ser mostrada en tiempo real, almacenada o exportada.

Así mismo brinda un conjunto de herramientas para

que el usuario pueda crear bloques de procesamiento de señales personalizados, llamada *gr\_modtool*, que es una interfaz estandarizada con las plantillas necesarias para crear módulos OOT (del inglés Out of Tree). El código de los bloques de procesamiento de señales puede ser escrito en los lenguajes de programación Python y C++, cada uno con sus respectivas ventajas, siendo Python un lenguaje de alto nivel puede usarse para aplicaciones que requieren operaciones complicadas pero que no demandan muchos recursos a la computadora; mientras que C++ es más rápido y pueden utilizarse las bibliotecas de C++ incluidas en GNU Radio.

### 2.2. RFNoC

RFNoC es una herramienta de procesamiento de software libre utilizada para el desarrollo de aplicaciones de SDR en los dispositivos de Ettus Research, generalmente conocidos como USRP. El concepto de NoC (del inglés Network on Chip) se refiere a un sistema integrado en un solo chip usado para intercambiar información y control entre los PEs (del inglés Processing Engines) internos [2].

De manera interna todos los bloques de RFNoC tienen la misma estructura llamada NoC-Shell como muestra la Fig.1, permitiendo la conexión de cualquier IP core que funcione con el protocolo de comunicación AXI-Stream, este se encarga de empaquetar, desempaquetar, enrutar, el control de flujo y que la configuración sea común entre los bloques.

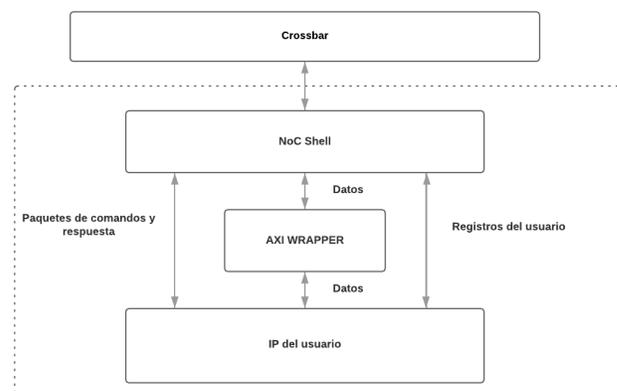


Figura 1. Estructura interna de un bloque RFNoC

Un bloque RFNoC tiene tres capas principales, tal como se puede observar en la Fig. 2, las cuales tienen las siguientes funciones:

1. El IP del FPGA, donde se concentra la mayor parte del trabajo realizado, puede ser escrita en Verilog, VHDL, o integrar un IP de Xilinx, con la única condición de que use el protocolo AXI Stream. Se deben

- de considerar las señales de entrada - salida previamente establecidas y el uso de los registros.
- El control del bloque representa la lógica digital en el lado del software, declara el flujo de datos entrada - salida, y declara las propiedades reconfigurables del bloque de procesamiento de señales por medio de un archivo XML.
  - La integración a GNU Radio se logra agregando los bloques RFNoC como un modulo OOT. la programación de los archivos de enlace es muy similar a la de GNU Radio.

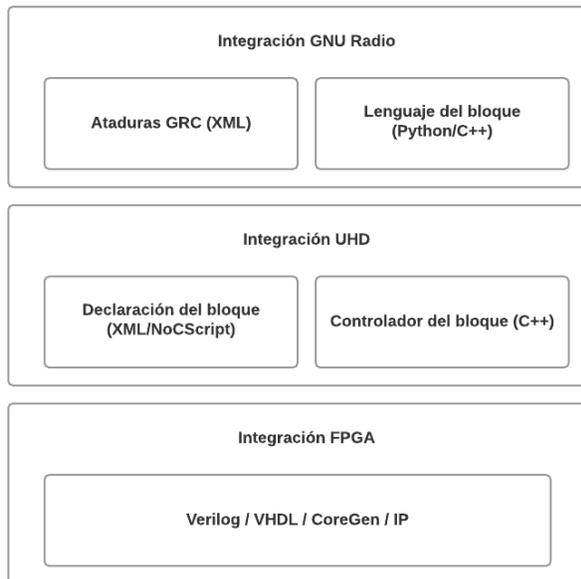


Figura 2. Componentes para el desarrollo de un bloque RFNoC.

### 2.3. USRP X300

Ettus Research USRP X300 es una plataforma de SDR de alto rendimiento para diseñar e implementar sistemas de comunicación inalámbricas de próxima generación, este cuenta con las siguientes características [3]:

- Dos ranuras para las tarjetas hijas de RF de banda ancha con las siguientes características:
  - Hasta 160 MHz de ancho de banda por cada una.
  - Cubre desde CD (corriente directa) hasta 6 GHz.
- Consta de un FPGA Kintex-7 de Xilinx de alto rendimiento para procesamiento digital de señales y diseño de hardware.

- Varias interfaces de alta velocidad:
  - Dual Ethernet de 10 Gigabit: 2x RX a 200 MSps (del inglés Samples per second) por canal.
  - Dual Ethernet de 10 Gigabit: 4x RX a 80 MSps por canal.
  - PCIe Express (Escritorio) - 200 MSps Full Duplex.
  - ExpressCard (Laptop) - 50 MSps Full Duplex.
  - Ethernet Dual 1 Gigabit - 25 MSps Full Duplex.
- La arquitectura UHD (del inglés USRP Hardware Driver) proporciona compatibilidad con:
  - GNU Radio.
  - C++/Python API (del inglés Application Programming Interface).
  - Amarisoft LTE 100.
  - OpenBTS.
- OCXO (del inglés Oven Controlled Crystal Oscillators) opcional controlado por GPS para sincronización con otras tarjetas USRP.

## 3. Filtro FIR

### 3.1. Coeficientes del filtro FIR

El filtro se diseñó utilizando la función de transferencia de un filtro pasa bajas de  $M = 16$  taps, es decir de orden  $N = 15$ , una frecuencia de corte de 100 kHz y una frecuencia de muestreo de 256 kSps.

El cálculo de los coeficientes del filtro se define multiplicando un filtro ideal pasa bajas  $h_{faselineal}(n)$  por la ventana Hamming  $W_{Hamming}(n)$ .

De este modo se determinó que los taps o coeficientes del filtro que cumplen con los parámetros de diseño son los siguientes:

$[-0.00145482, -0.00142821, 0.01081722, -0.02816919, 0.03971448, -0.01441649, -0.09972695, 0.59466396, 0.59466396, -0.09972695, -0.01441649, 0.03971448, -0.02816919, 0.01081722, -0.00142821, -0.00145482]$ .

Finalmente, en la Figura 3 se muestran los coeficientes del filtro FIR.

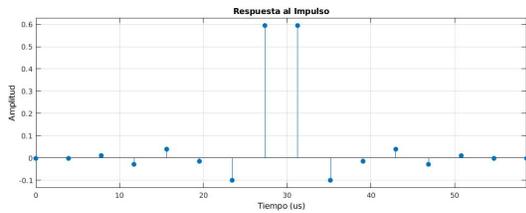


Figura 3. Respuesta al impulso unitario.

### 3.2. Filtro en Software (C++ y Python)

Para el correcto funcionamiento del filtro en su implementación en software, se debe inicializar el bloque para asegurar el número de elementos disponibles en la convolución del filtro, por ello este debe tener el mismo tamaño que la función de transferencia del filtro  $M = 16$ . Esto significa que los elementos de salida se calculan a partir del elemento de entrada actual y de los elementos de entrada anteriores. La función `set_history(16)` dentro del bloque de procesamiento de GNU Radio escrito en C permite asegurar la cantidad de elementos en el bloque de procesamiento.

La función `work` del bloque de procesamiento de señal en C es donde se realiza el procesamiento de la señal y regresa el resultado del filtro. De manera muy similar se realiza el procesamiento de señal en el bloque de GNU Radio escrito en Python.

### 3.3. Filtro en Hardware (Verilog)

RFNoC crea su propio entorno de desarrollo en conjunto con la herramienta para el análisis y diseño de circuitos digitales de Xilinx Vivado. A modo demostrativo existen imágenes para cargar al FPGA con algunos bloques básicos, además consta de una interfaz gráfica para configurar una nueva imagen para el FPGA a través del script `uhd_image_builder.py`.

RFNoC cuenta con un bloque FIR de ejemplo, el cual puede ser reconfigurado cambiando los valores de los coeficientes del filtro por parte del usuario. Este bloque acepta sólo números de tipo entero, por lo cual se debe de hacer una transformación del tipo de dato flotante a una representación binaria de 16 bits con signo.

$$\begin{aligned} coef_{int} &= [coef_{float} * 2^{15}] \\ &= [-48, -47, 354, -923, 1301, -472, \dots] \end{aligned} \quad (1)$$

Al cambiar el tipo de dato este genera un error por redondeo en los coeficientes del filtro implementado en hardware, para determinar su impacto en la señal filtrada este se calcula de la siguiente manera:

$$coef_{fixed} = \frac{coef_{int}}{2^{15}} \quad (2)$$

$$\%error = \left| \frac{coef_{fix} - coef_{float}}{coef_{float}} \right| * 100 \quad (3)$$

$$\%error_{acumulado} = \sum \%error = 2.7383 \% \quad (4)$$

El error acumulado por redondeo de los coeficientes del filtro puede ser considerado despreciable, ya que estos niveles de error no afectan de forma sustancial a la señal filtrada.

## 4. Implementación del filtro FIR en la plataforma SDR

### 4.1. Cama de prueba de Hardware

La computadora de propósito general utilizada para los experimentos tiene las siguientes especificaciones: 8 GB de memoria RAM y procesador Intel Xeon Bronze 3104 a 1.7Ghz de 6 núcleos. El dispositivo USRP se comunica en la capa IP / UDP a través de Gigabit y 10 Gigabit Ethernet según sea el caso. Las conexiones del dispositivo USRP 300 se muestran en la Fig. 4.

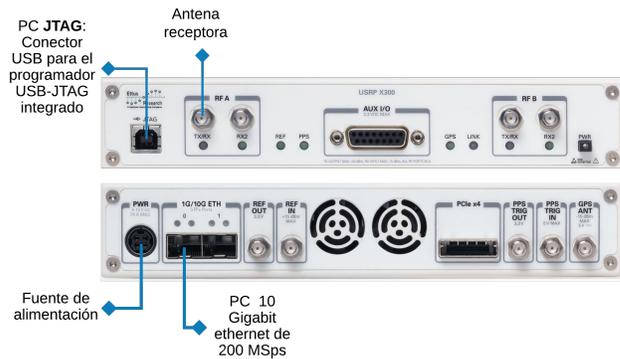


Figura 4. Conexiones del USRP X300.

### 4.2. Banco de filtros

En la Fig.5 se muestra la implementación de los tres filtros en un diagrama de flujo de GRC (del inglés GNU Radio Companion), que es la interfaz donde se implementa de manera gráfica los sistemas de comunicaciones en GNU Radio. Estos tienen como entrada la suma de dos señales sinusoidales generadas por los bloques *Signal Source* con las frecuencias de 100 kHz y 120 kHz respectivamente. Debido a que el bloque de RFNoC FIR tiene una amplificación de  $2^{15}$  por el redondeo de los coeficientes, es conveniente multiplicarlo por su inverso para realizar una comparación justa del comportamiento de los filtros y así se muestren con la misma ganancia.

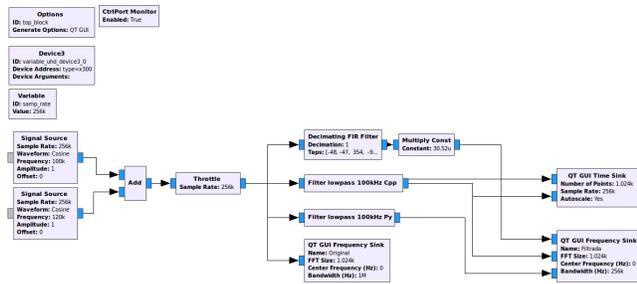


Figura 5. Diagrama de flujo del banco de filtros.

La Fig.6 es la interfaz gráfica del diagrama de flujo implementado en GRC, en el primer recuadro se muestran tanto la señal original (señal azul) como la señal filtrada (señal verde) en el dominio del tiempo, en esta comparación se puede observar que la señal filtrada no tiene los mismos valores que la señal original, esto por los efectos del filtrado en el dominio del tiempo; en el segundo recuadro se muestra la señal original en el dominio de la frecuencia, claramente se observa los dos componentes espectrales de la señal de entrada; y finalmente, en el tercer recuadro se muestra la salida de los tres filtros, donde tienen el mismo comportamiento en frecuencia, lo que permite determinar que a pesar de ser implementados en diferentes lenguajes de software y hardware, este tiene el comportamiento deseado, de igual manera se puede observar que la frecuencia de 100 kHz tiene una atenuación de -6 dB y la frecuencia de 120 kHz tiene una atenuación de -26 dB, de acuerdo a los parámetros de diseño del filtro.

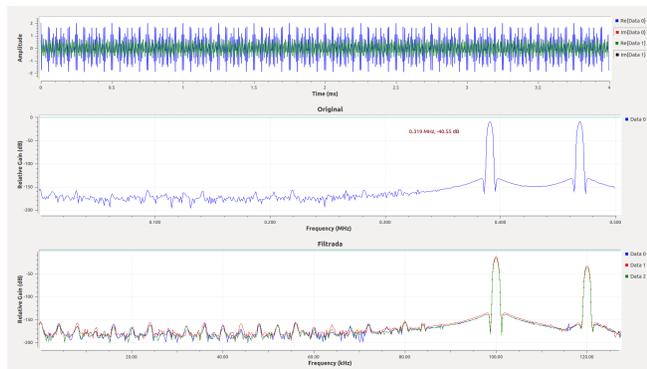


Figura 6. Señal original y filtrada.

### 4.3. Implementación de un receptor de frecuencia modulada (FM)

En el diagrama de flujo que muestra la Fig. 7 se implementó un demodulador FM con dos de los filtros, el de RFNoC y el de C++, el filtro diseñado con Python presentó una latencia alta al momento de procesar las

muestras en tiempo real, por lo que se descartó en este diagrama de GRC.

El receptor de FM permite interactuar al usuario por medio de la interfaz gráfica que se muestra en la Fig. 8, en ella se observa el espectro de la señal de la estación seleccionada en tiempo real.

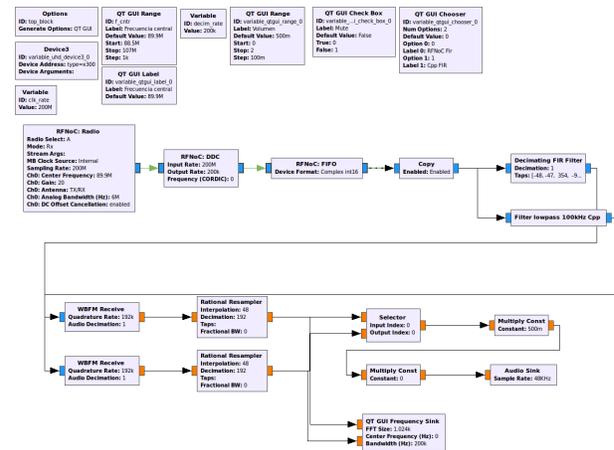


Figura 7. Diagrama de flujo del receptor FM.

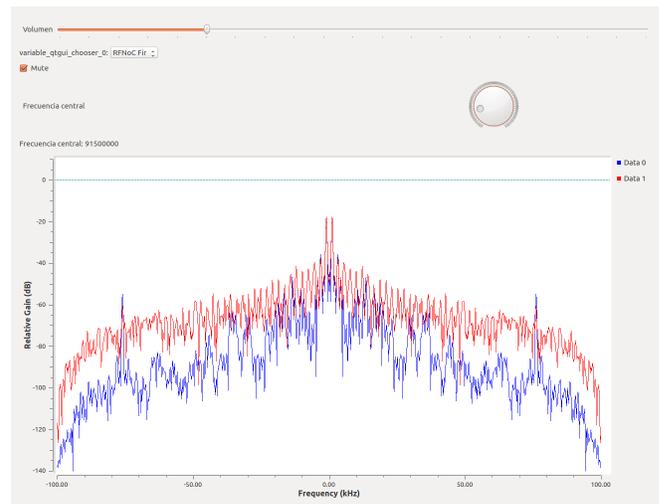


Figura 8. GUI de Radio FM (RFNoC FIR y C++).

El bloque FIR implementado en Python no puede procesar las muestras en tiempo real ya que no es implementado en un lenguaje con compilador sino en un lenguaje intérprete, se realizó un diagrama en GRC donde la señal demodulada es almacenada en un archivo de audio WAV para que sea reproducida en post-procesamiento, tal como se muestra en la Fig. 9.

### 5. Resultados

Para medir el desempeño de los filtros FIR implementados en GNU Radio se determinó el número máximo

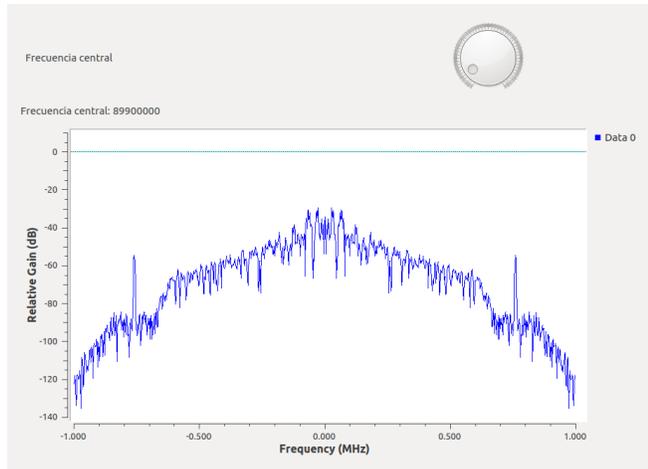


Figura 9. GUI de Radio FM (Python).

de muestras procesadas por segundo por cada bloque individualmente, utilizando una función de monitor de procesos de GNU Radio que depende del kernel de Linux.

La herramienta *Performance Counters* de GNU Radio muestra la información específica del comportamiento en tiempo real de los recursos de memoria y procesamiento consumidos por cada bloque implementado. Esta es una manera viable que permite el monitoreo del comportamiento de un programa, brindando un beneficio técnico que permite a los usuarios tener información específica en un sistema de comunicación implementado en GNU Radio [4].

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1, como se esperaba, el filtro FIR implementado en hardware tiene una mayor capacidad de procesamiento de muestras por segundo en comparación con los implementados en software, aunque el resultado obtenido era el esperado, esta implementación permite cuantificar las ventajas que tiene el utilizar un bloque de procesamiento de hardware en una plataforma de software como GNU Radio. En cambio, aunque la implementación de un bloque de procesamiento de señales en Python puede ser sumamente sencillo en comparación con C y Verilog, presenta una gran desventaja en cuanto a procesamiento en tiempo real.

Tabla 1. Número máximo muestras por segundo promedio.

	Muestras por segundo
Python	25 131
C++	3 126 710
Verilog	5 240 000

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la implementación de los filtros FIR en diferentes lenguajes de software y en hardware, permitió determinar la factibilidad de desarrollar sistemas de radio definido por software en conjunto con FPGAs a nivel de prototipo. Así mismo se puede realizar una clasificación de bloques de procesamiento de señales, donde dependiendo de la capacidad de procesamiento estos sean realizados en hardware o software, e incluso determinar si este puede ser escrito en otro tipo de lenguaje de software de acuerdo a su importancia.

La desventaja principal en el desarrollo de bloques de procesamiento de radio definido por software en hardware, es el tiempo de desarrollo y el nivel de conocimiento tanto de diseño electrónico como de software de parte del desarrollador. Lenguajes de software como Python permiten la implementación de bloques de procesamiento en tiempos menores, lo que es útil para pruebas de concepto en el desarrollo de prototipos, una vez comprobado el correcto funcionamiento de este, se puede pasar a la implementación en hardware en la plataforma de radio definido por software, lo que implicaría solamente sustituir un bloque de procesamiento por otro, sin modificar todo el sistema desarrollado en radio definido por software.

Finalmente,

## Referencias

- [1] Guerrieri, A. (2017, September). Designing a RFNoC Block implementing a SISO Processor using High-Level Synthesis. In Proceedings of the GNU Radio Conference (Vol. 2, No. 1, pp. 8-8).
- [2] Braun, M., Pendlum, J., & Ettus, M. (2016, September). RF-NoC: RF network-on-chip. In Proceedings of the GNU Radio Conference (Vol. 1, No. 1).
- [3] Ettus Research, a National Instruments Brand. (s.f.). USRP X300 High Performance Software Defined Radio Ettus Research. Recuperado 22 mayo, 2019, de <https://www.ettus.com/all-products/x300-kit/>
- [4] Zitouni, R., Bouaroua, H., & Senouci, B. Hardware-Software Codesign for Software Defined Radio: IEEE 802.11 p receiver case study.

