

# Revista de



# TECNOLÓGICO

RIDTEC | Vol. 14, N.º2, 2018, julio - diciembre 2018

P-ISSN 1680-8894

E-ISSN 2219-6714

Edición Semestral  
Publicación Regional



La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista indexada abierta (OA) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá, especializada en las áreas de las ciencias, ingenierías y tecnologías.

Actualmente, la RIDTEC forma parte del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), y The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), entre otras como REDIB, ROAD, BASE y OAJI.

Para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo y/o conflictos de intereses, cada artículo ha sido evaluado a través de un proceso de "revisión por pares, doble ciego".

Revista de I+D Tecnológico: revista de investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá. - Vol. 14, no. 2 (jul. - dic. 2018). - Panamá: Editorial Tecnológica, 2018.

v. ;27 cm.

Semestral

P- ISSN 1680-8894

E- ISSN 2219-6714

1. Universidad Tecnológica de Panamá - Publicaciones seriadas
2. Investigaciones - Publicaciones seriadas
3. Investigación y desarrollo.

## Universidad Tecnológica de Panamá

### AUTORIDADES

**Ing. Héctor M. Montemayor Á.**

Rector

**Licda. Alma Urriola de Muñoz**

Vicerrectora Académica

**Dr. Alexis B. Tejedor De León**

Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión

**Mgtr. Mauro Destro Stimamiglio**

Vicerrector Administrativo

**Mgtr. Ricardo A. Reyes B.**

Secretario General

**Ing. Brenda Serracín de Álvarez**

Coordinadora General de los Centros Regionales



**Revista de I+D Tecnológico disponible en:**

<http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>

**Plataforma para la Recepción de Artículos:**

<http://www.redinvestigadores.utp.ac.pa/revistaI+D/openconf/openconf.php>

© Derechos reservados, UTP

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá

Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá

Tiraje: 300 ejemplares.



## Director de la revista

**Dr. Orlando Aguilar**

Dirección de Investigación, UTP<sup>1</sup>

## Editor de la revista

**Dr. Orlando Aguilar**

Dirección de Investigación, UTP<sup>1</sup>

## Comité Editorial

**Dr. Carlos Medina**

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UTP<sup>1</sup>

**M.Sc. Julio Mario Daza Escorcía**

Docente Investigador<sup>2</sup> y Estudiante Doctorando<sup>3</sup>

**Dr. Jesús Javier Alcantar Peña**

Investigador titular B<sup>4</sup>

**Dr. Frederick Wittel**

Docente Administrador<sup>5</sup>

**Dr. David Álvarez**

Docente Investigador<sup>6</sup>

## Coeditores y coordinadores

**Lic. Huriviades Calderón**

Dirección de Investigación, UTP<sup>1</sup>

**Lic. Cristian Moreno**

Dirección de Investigación, UTP<sup>1</sup>

## Equipo Técnico y proyección internacional

**Ing. Danny Murillo, Ing. Dalys Saavedra<sup>7</sup>**

## Editorial Tecnológica

**Ing. Libia Batista**

Directora

**Sr. Armando Pinillo**

Mercadeo

**Sección de diseño gráfico**

Diseño y diagramación

## **Afiliaciones**

1. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.
2. Politécnico de la Costa Atlántica, Colombia.
3. Universidad de Valencia, España.
4. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Querétaro, México.
5. Assoc. Dean of Math, Science, & Health Professions at Richland College, Dallas, Estados Unidos.
6. Universidad de Los Andes - Bogotá, Colombia
7. Repositorio institucional de documentos de acceso abierto

# resentación

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) presenta a la comunidad científica y público en general, la segunda edición del año 2018 de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC), volumen 14, número 1. Con el propósito de divulgar la labor de investigación científica en la UTP, nace en 2002, RIDTEC, como una revista abierta (OA) evaluada por pares Doble Ciego, con publicación semestral. En la actualidad, RIDTEC es la principal revista panameña para la publicación de trabajos de investigación en las áreas de ingeniería y tecnología, apoyando como medio de publicación internacional, a docentes e investigadores nacionales e internacionales. RIDTEC forma parte de los catálogos de indexación de Latindex, REDIB, BASE, ROAD, OAJI y ERIHPLUS y de la Red LatinREV. Adicionalmente, forma parte de las bases de datos OEI, OpenAIRE, PKP|INDEX, MENDELEY, MIAR, DRJI y Google. RIDTEC está integrada a los repositorios UTP-Ridda<sup>2</sup> y Repositorio Centroamericano SIIDCA.

El primer artículo de este número, muestra el desarrollo de un *software* basado en mediciones antropométricas de perímetros musculares, diámetros óseos, pliegues cutáneos, alturas y longitudes, así como de pesos y tallas, para la gestión de deportistas.

El siguiente artículo propone un sistema innovador que permite organizar un sistema de transporte inclusivo en rutas urbanas en la República de Panamá. Se espera mejorar la movilidad de las personas en situación de discapacidad visual, fomentando su integración social y mejorando su calidad de vida. Se exponen las características principales de las aplicaciones ViDis y Bus, diseñadas e implementadas en el marco del proyecto MOVIDIS, de la Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Coclé.

El tercer artículo presenta el uso del modelo Visual Plumes, con el cual se simuló la pluma del vertido procedente del emisario submarino de Gandía, en la costa valenciana de España. Se determinó la distribución espaciotemporal de la calidad bacteriológica del agua de mar en la zona del vertido, y en las playas cercanas al área de influencia.

El cuarto trabajo evalúa el efecto de la adición al concreto de alta resistencia, de caucho y cenizas procedentes de materiales orgánicos, con el objetivo de mejorar propiedades tales como la resistencia a compresión y la ductilidad.

El quinto trabajo realizó una revisión de literatura sobre los métodos de selección de tecnología, con la finalidad de estudiar y proponer mejores prácticas de selección de bienes tecnológicos bajo criterios de optimización de los recursos empresariales. Se enumeraron los más conocidos en base a su eficacia.

El sexto trabajo estudió la relación entre el nivel Académico-Técnico del Personal Administrativo y su relación con el uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación, en Pequeñas y Medianas Empresas del distrito de Changuinola, Bocas del Toro, República de Panamá.

El siguiente artículo presenta un estudio del comportamiento del concreto poroso en su resistencia a compresión y permeabilidad, con diferentes nominaciones de grava. El objetivo era el de encontrar resistencias requeridas para aplicaciones tales como aceras y hombros de pavimentos.

El octavo artículo estudió la asignación de recursos energéticos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicio, basados en la respuesta a la demanda. El objetivo es el de atenuar el impacto que esos vehículos generarían en la red eléctrica.

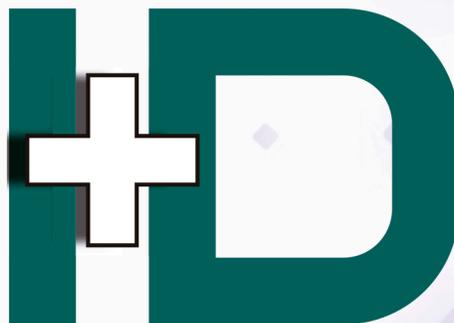
El siguiente trabajo se enfocó en los procedimientos, mecanismos y metodologías de análisis forense digital en dispositivos móviles y dispositivos de salud electrónica con la intención de contar con un manual o metodología para el manejo de evidencias digitales en esos dispositivos.

El décimo artículo presenta una revisión de literatura científica con respecto a la operación y procesos físicos de las celdas fotovoltaicas. Se explican los límites de eficiencia teóricos y los principales mecanismos de pérdida que afectan el rendimiento de las celdas solares de silicio.

El undécimo artículo, presenta resultados de simulaciones numéricas realizadas usando SENTAURUS TCAD como herramienta. El objetivo fue el de obtener un modelo de celda solar de película delgada, basada en Arseniuro de Galio (GaAs).

El último trabajo consistió en el desarrollo de un *software* para el diseño de antenas tipo reflector para aplicaciones 5G en banda E. El objetivo es el de calcular parámetros importantes del reflector, tales como: ganancia, directividad, componentes co y cross-polar en manera absoluta y normalizada. La validación de todo el estudio realizado se hizo por comparación entre Matlab y simulaciones hechas en TICRA-GRASP.

Ing. Orlando Aguilar, Ph.D.  
Director del Comité Editorial  
Diciembre de 2018



## Contenido

5

### **Aplicando las tecnologías de información para la gestión de deportistas de alto rendimiento**

Applying information technologies for the management of high performance athletes  
**Ricardo Fuentes Covarrubias | Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias | Jessica Liliana Fuentes Chávez | Ramón Edgardo Fuentes Covarrubias**

17

### **Sistema para la interacción activa con autobuses de rutas urbanas de Panamá para personas con discapacidad visual**

System for active interaction with urban bus routes in Panama for visually impaired people  
**Rafael Alejandro Vejarano | Ángel Henríquez | Héctor Montes**

24

### **Caracterización bacteriológica y simulación con Visual Plumes en la descarga del emisario submarino de Gandía en la costa valenciana**

Bacteriological characterization and simulation with Visual Plumes in the marine outfall discharge of Gandía in the valencian coast  
**Alina E. Pascual Barrera**

29

### **Estudio del concreto de alta resistencia con el uso de cenizas de materiales orgánicos y polímeros**

Study of high strength concrete with the use of organic material ash and polymers  
**Lidia I. Aizpurúa | Genneva M. Moreno | Karen Caballero**

38

### **Selección de tecnología empresarial: una revisión desde literatura**

Enterprise technology selection: a literature review  
**Julián Alberto Uribe Gómez**

49

### **Las Tecnologías de información y comunicación un gran reto para las PYMES del distrito de Changuinola, República de Panamá**

ICT a big challenge for SMEs in the district of Changuinola, Republic of Panama  
**José Mendoza Avilés**

57

### **Estudio experimental del concreto poroso con la incorporación de distintas granulometrías**

Experimental study of porous concrete with the incorporation of different granulometries  
**Manuel R. Pinto | Clara I. Carrasco | Karen E. Caballero**

66

### **Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda**

Resource allocation for the recharging of electric vehicles in service stations based on the demand response  
**Jhonatan Fabricio Meza Cartagena | Edwin Marcelo García Torres**

74

### **Revisión sobre la forensía digital en dispositivos móvil con sistemas operativos Android**

Review on digital forensics on mobile devices with Android operating systems  
**José Moreno | Isabel Leguias | Miguel Vargas Lombardo**

84

### **Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview**

Funcionamiento y física de celdas solares fotovoltaicas: una visión general  
**Noemi Guerra | Marco Guevara | Cesar Palacios | Felice Crupi**

## Contenido

96

**TCAD 2D numerical simulations for increasing efficiency of AlGaAs – GaAs Solar Cells**

Simulaciones numéricas TCAD en 2D para mejorar la eficiencia de celdas solares basadas en AlGaAs – GaAs

**César A. Palacios A. | Noemi Guerra | Marco Guevara | María José López**

108

**Desarrollo de un software especializado para el diseño de antenas tipo reflector para aplicaciones 5G en banda E**

Development of a specialized software for Reflector Antennas designing in 5G applications for E band

**María J. López M. | Luigi Boccia | César A. Palacios A.**





# Aplicando las tecnologías de información para la gestión de deportistas de alto rendimiento

## Applying information technologies for the management of high performance athletes

Ricardo Fuentes Covarrubias<sup>1\*</sup>, Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias<sup>2</sup>, Jessica Liliana Fuentes Chávez<sup>3</sup>, Ramón Edgardo Fuentes Covarrubias<sup>4</sup>

<sup>1, 2</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, México

<sup>3, 4</sup>SBC Tecnologías SA de CV, México

\*Autor de correspondencia: [fuentesr@uacol.mx](mailto:fuentesr@uacol.mx)

**RESUMEN**— La Antropometría es uno de los métodos de la Cineantropometría que se basa en las medidas de perímetros musculares, de diámetros óseos, de pliegues cutáneos, de alturas y longitudes, de peso y de tallas y que funciona como herramienta para las ciencias del deporte, la medicina, la nutrición, entre otras. El objetivo de esta investigación es hallar variables antropométricas que sean representativas y comunes en cada deportista de elite, sabiendo que estas deben diferenciarse según la función dentro del entrenamiento y mantenerse en los equipos con el mejor nivel posible. En este artículo se muestra el desarrollo de un *software* para la Gestión de Deportistas basado en estudios de antropometría. Las tareas principales incluyen el rediseño de interfaces gráficas de usuario y de la base de datos. Se muestra una aproximación del diseño de la aplicación web mediante wireframes.

**Palabras clave**— Antropometría, Cineantropometría, deportistas, *software*, web.

**ABSTRACT**— Anthropometry is one of the methods of kinanthropometry that is based on the measurements of muscular perimeters, bone diameters, skinfold, heights, lengths, weight and size, and works as a tool for sports science, medicine and nutrition, along many others. The objective of this investigation is to find anthropometric variables that are representative and common in each elite sportspeople, knowing that these must be different according to their function within training and must be kept in the teams with the best possible level. In this article, the results of the development of *software* for the Control of Sportspeople are presented, based in anthropometric results. The main tasks include the redesign of user graphic interfaces and the database. An approximation of the design of the web application via wireframes is shown too.

**Keywords**— Anthropometry, Kinanthropometry, sport people, *software*, web.

### 1. Introducción

La composición corporal, la biotipología y la proporcionalidad son los pilares básicos de la Antropometría; este es uno de los métodos de la Cineantropometría que se basa en las medidas de perímetros musculares, de diámetros óseos, de pliegues cutáneos, de alturas y longitudes, de peso y de tallas y que funciona como herramienta para las ciencias del deporte, la medicina, la nutrición, entre otras.

Con base en el *software* computacional desarrollado y piloteado en la Universidad de Colima (U de C) y del cual fue se generó en el año 2009 la versión 1.0, nace la necesidad de implementar nuevas herramientas para un mejor desempeño del deportista. Es de hacer notar que, en la Universidad de Colima, la actividad deportiva es una asignatura obligatoria en todas las carreras y se denomina actividades culturales y deportivas, siendo

acreditada practicando algún deporte y asistiendo a actividades culturales las cuales se registran puntualmente pues son parte de la calificación semestre a semestre.

Este proyecto consta de dos partes importantes, cada una con sus objetivos específicos. Por un lado, lo que se busca es que tanto el deportista como el entrenador tengan un mejor control sobre la alimentación y los entrenamientos, así como los avances del deportista; para dicha implementación se llevará a cabo un estudio de los deportistas denominado Antropometría mencionado anteriormente, y por otra parte retomando las necesidades del sistema y sin dejar a un lado las mejoras de este, está la migración del *software* a una aplicación web con su componente de inteligencia artificial que funcione como un asistente virtual que analice todos los

**Citación:** R. Fuentes, A. Fuentes, J. Fuentes y R. Fuentes, "Aplicando las tecnologías de información para la gestión de deportistas de alto rendimiento", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (5-16), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 2 de julio de 2017. **Recibido con correcciones:** 20 de octubre de 2018. **Aceptado:** 22 de octubre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/iddt.v14.2.2068>

**Copyright:** 2018 R. Fuentes, A. Fuentes, J. Fuentes y R. Fuentes. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

datos relacionados con los deportistas existentes en una base de conocimientos.

El presente trabajo incluye las siguientes secciones: introducción para ubicar al lector en el contexto del documento, el estado del arte en el cual se realiza un análisis resumido del estado de la técnica del artículo, el contexto actual en donde se indica el punto de partida del proyecto y la problemática encontrada al inicio del mismo, Análisis del sistema actual en donde se realiza una revisión técnica del funcionamiento y operación del sistema actual, la metodología de desarrollo del nuevo sistema tomando en consideración la norma oficial mexicana para el desarrollo de *software* denominada Moprosoft, el desarrollo y resultados finales y las conclusiones finales del trabajo.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Realizar una reingeniería del sistema desarrollado con anterioridad en el cual se llevaba un registro para fines de control administrativo de los deportistas que practicaban un deporte, así como su bitácora de trabajo y en un ambiente monousuario en entorno de red.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Generar un nuevo sistema para una plataforma multiusuario.

Utilizar una base de datos distribuidas para el almacenamiento de la información.

Utilizar la información antropométrica de cada deportista para la toma de decisiones en aspectos relacionados con nutrición, entrenamientos y la práctica de cada deporte asociado a los deportistas.

## 2. Estado del arte

La Cineantropometría puede valerse de la Antropometría para estimar por medio de mediciones en las personas su composición corporal, que distingue elementos entre los que se encuentran las masas adiposas, muscular y ósea.

La Cineantropometría tiene como objetivo comprender el movimiento humano en relación con la actividad física, el desarrollo, el rendimiento y la alimentación. Recordando esta definición y utilizando las medidas antropométricas, una de las características que podemos estudiar de los seres humanos es la forma de su cuerpo o somatotipo, que es denominado también biotipo. El hombre está altamente definido

genéticamente, no existiendo actividad física, dieta o cualquier otro procedimiento que pueda alterar ciertos límites impuestos por la naturaleza. Más allá de esto, entre hipotéticos deportistas que posean las mismas características técnicas y funcionales, es comprobable que obtendrán mejores rendimientos aquellos cuyos biotipos los favorezca para la práctica de una determinada actividad como se indica en [1] [2].

La Antropometría es la relación de las partes del cuerpo humano, ya sea del propio sujeto o con sus pares. A lo largo del tiempo se fueron sucediendo modelos conceptuales y teóricos, entre los que se pueden mencionar, el hombre y la mujer de referencia de Behnke (1974) y la estrategia Phantom de Ross y Wilson (1974) que posteriormente fue revisado por Ross y Ward (1982). Fueron creados con una finalidad particular y ofrecen datos numéricos con los cuales se puede comparar a cualquier ser humano como se puede consultar en [3].

Este método fue denominado por ellos mismos, como el sistema del Phantom, que podríamos traducir como "ente imaginario".

El nombre de esta teoría se deriva del método usado para calcular la proporcionalidad. Lo que los autores proponen es una comparación de los resultados obtenidos para cada sujeto o grupo, con respecto a los valores de un modelo teórico o Phantom, que se toma como referencia. Por tanto, este método nos permitirá realizar comparaciones de los individuos o grupos analizados, según sus diferencias proporcionales con respecto a este Phantom.

Aunque este sistema fue diseñado en un principio para estudios de crecimiento, posteriormente se ha aplicado en adultos, a diversas poblaciones deportivas y personas con anomalías cromosómicas. Encontrando incluso tendencias de proporcionalidad específicas para determinadas modalidades deportivas.

En 1974, Ross y Wilson propusieron un nuevo método para el análisis de las proporciones corporales.

Este modelo se obtiene a partir de un amplio número de datos referentes a varones y mujeres, siendo por tanto válido para ambos sexos y cualquier edad. Este método por tanto necesita un referente para realizar las comparaciones entre los individuos y grupos como se muestra en [4].

Además de la composición corporal, existen otros dos pilares básicos en la Antropometría que son la

Biotipología (entendida como la clasificación de los sujetos por su forma o aspecto externo), y la Proporcionalidad (comparación de partes del sujeto entre sí o con otros).

Composición Corporal: encontramos entre los más utilizados modelos de fraccionamiento al de cuatro componentes De Rose y Guimaraes, que estiman los valores correspondientes a las masas adiposas (conformado por la asociación de células que acumulan lípidos en su citoplasma: los adipocitos), muscular, ósea y residual, y al de cinco elementos de Kerr, que predice además el tejido cutáneo o la piel.

Biotipología: esta técnica nos demuestra en escalas numéricas la relación existente entre la endomorfia (componente referido a la tendencia a la obesidad), la mesomorfia (componente relacionado al desarrollo músculo esquelético) y la ectomorfia (componente asociado a la linealidad corporal):

Proporcionalidad: la aplicación más difundida de este aspecto es la estratagema Phantom, donde se utiliza a un modelo de referencia como base de las comparaciones estadísticas lo cual se puede consultar en [5].

Con esta investigación se pretende encontrar variables antropométricas que sean representativas y comunes en cada deportista de élite, sabiendo que estas deben diferenciarse según la función dentro del entrenamiento y mantenerse en los equipos con el mejor nivel posible.

Secundariamente se dispone ofrecer valores para una mayor definición de los prototipos morfológicos propuestos en los entrenamientos, lo cual se refleja en el estudio realizado en [6].

La intención de este trabajo es generar una versión mejorada que permita a los usuarios ver avances tanto en las etapas previas a una competencia, como los resultados logrados e ir teniendo un historial de resultados y asimismo, definir un modelo de proporcionalidad antropométrica para deportistas colimenses, los cuales son la población de estudio a partir de muestras representativas que nos permitan obtener valores ideales para poblaciones específicas como la deportiva de alto rendimiento y, así poder comparar las diferentes variables corporales de un evaluado con las referenciales a alcanzar, para conocer la distancia estadística entre ellas llamada tipificación Z combinada como se detalla en el apartado 5.1.

En síntesis, se pretende generar una aproximación a la búsqueda de las características de los deportistas de élite

que sirva de guía a los demás integrantes del mundo de la actividad física como se muestra en [7] que es un trabajo aplicado a basquetbolistas argentinos y en base a ello poder incidir en esquemas de entrenamiento acordes a cada deportista en función al deporte en el cual pueda tener el máximo de rendimiento y sino cuenta con las características físicas que demanda dicho deporte, emitir las recomendaciones necesarias, para lo cual se agregará una estructura basada en los sistemas expertos a la nueva versión que se genere.

### 3. Contexto actual

Los avances tecnológicos que han surgido durante nuestra actual época han dado un giro a la visión un tanto humana y computacional, tomando en cuenta esto y que durante el desarrollo de la primera versión se detectó que existe la necesidad de introducir técnicas administrativas y tecnológicas que de manera conjunta permitan la revisión del objetivo y control de actividades deportivas por disciplina, de manera permanentes. La versión del *software* que se encuentra operando desde el año 2009, satisface muchas de estas necesidades, sin embargo, es necesario evaluar hasta qué punto contribuye a lograr las metas planteadas por la administración deportiva y corregir las desviaciones del sistema actual, además adecuarlas a la realidad y el avance de las tecnologías a la fecha.

La Dirección General del Deportes de la Universidad de Colima se caracteriza por ser una dependencia que ofrece servicios relacionados con la actividad física y recreativa, a la comunidad estudiantil y a la sociedad colimense. Entre sus metas se encuentran:

Promover en el estudiantado la realización de actividades deportivas y recreativas destinadas a la conservación de la salud del hombre y del fortalecimiento de su cuerpo.

Fomentar el desarrollo del carácter social del universitario para con los integrantes de la sociedad.

Formar y capacitar deportistas en las diferentes disciplinas del quehacer deportivo, así como la formación, capacitación de profesionistas en los terrenos de la medicina deportiva y la investigación.

Establecer las bases para el intercambio deportivo con otras instituciones del país, con el fin de estimular el crecimiento y participación comunitaria en las diversas disciplinas deportivas lo cual se puede consultar en [8].

### 3.1 Análisis del sistema actual

Es de hacer notar que la versión a mejorar “Sistema de Administración de Talentos Deportivos 1.0” el *software* se desarrolló para un sistema bajo entorno de red de área local diseñado y programado en Visual Basic Estudio 6.0 y utilizando una base de datos Access.

En cuanto al entorno de red, se contaba con un servidor con sistema operativo Windows 2000 Server y configurado como intranet a la cual se accedía únicamente en la red de área local del centro de cómputo de la Dirección de Deportes de la Universidad de Colima el cual incluso fue quitado por motivos de remodelación y falta de uso.

En el sistema actual “Sistema de Administración de Talentos Deportivos 1.0”, existía ya el estándar de los registros de los deportistas, la seguridad de la información de los entrenadores, así como la agilidad de los tiempos de procesos, tanto las metas, avances, necesidades y datos de los deportistas los cuales son parte de la base de datos y su estructura se describe a continuación en la tabla 1 y se documenta en la tesis de posgrado descrita en [9] la cual ha sido el punto de partida y aunque se circunscribía a la natación, se trabajaba en un esquema de programación estructurada, mono usuario y en un lenguaje y plataforma en desuso como lo es Visual Fox Pro de Microsoft lo cual es una gran desventaja, pues no fue posible migrar la información y se debió partir su fase de programación desde cero por la incompatibilidad de la base de datos con el nuevo entorno elegido.

**Tabla 1.** Elementos de la aplicación

Nombre	Descripción
Login	Permite acceder al sistema.
Nuevo entrenador	Permite añadir un nuevo entrenador Incluye información personal y de identificación.
Nuevo deportista	Permite añadir un nuevo deportista. Incluye información personal y de identificación.
Registro deportivo	Permite añadir información sobre entrenamientos.
Registro medico	Permite al entrenador llevar un registro médico.
Reporte físico	Permite visualizar los resultados de los deportistas.

Ver formatos	Permite visualizar informes sobre deportistas, actividades y planes de trabajo.
Envío de formatos	Permite enviar formatos mediante correo electrónico.

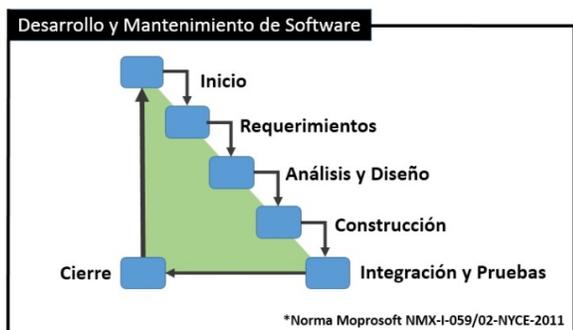
## 4. Propuesta metodológica para optimizar el sistema actual

En esta sección se describe la configuración del *software*, la metodología de desarrollo, la base de datos diseñada y las interfaces de usuario que fueron optimizadas y mejoradas para la nueva versión del sistema.

### 4.1 Metodología de desarrollo

Para este propósito se hizo un estudio de factibilidad entre la metodología en cascada y las actuales, y aunque al inicio del proyecto se utilizó la metodología en cascada para el ciclo de vida, para estar en concordancia con la norma Moprosoft, esta metodología contempla varias etapas las cuales van desde la especificación de requerimientos hasta el aseguramiento de la calidad, dicha norma se ha implementado en México como un esfuerzo del gobierno federal para la generación de *software* de calidad. La figura 1 describe la categoría de proceso Operación, dentro de esta categoría el proceso Desarrollo y Mantenimiento de *software*, establece y realiza las actividades correspondientes al ciclo de vida del *software* para dar cumplimiento a los objetivos de los proyectos y requerimientos especificados los cuales se reflejan en [10].

Es de hacer notar que a diferencia de un sistema *software* tradicional, en la etapa de análisis y diseño se debe de tomar en cuenta el aspecto del análisis del conocimiento y dentro de ella la parte de extracción de conocimiento el cual se obtiene de entrevistas con especialistas, para lo cual se entregó un cuestionario escrito a cada entrenador, se hicieron entrevistas personales y se asistió a los campos y áreas de entrenamiento para tener un mejor entendimiento en el área hacia la cual está enfocado el sistema y poder generar las rejillas de repertorio para la adquisición automática de conocimiento y posteriormente dicho conocimiento clasificarlo e integrarlo a la base de conocimientos del sistema desarrollado.



**Figura 1.** Etapas del modelo de desarrollo en cascada según Moprosoft (imagen tomada con fines ilustrativos de la Norma Mexicana NMX-I-059-/02-NYCE-2011).

Para la fase de actualización del *software* en su versión 2.0 extendida la cual se reseña en este trabajo se utiliza *Scrum* que es parte de las metodologías ágiles, pues era necesario tener una mayor interacción con los usuarios finales, es decir entrenadores y deportistas, siendo su representación gráfica la mostrada en la figura 2, a continuación.



**Figura 2.** Esquemático de la metodología *Scrum* (fuente Agencia Digital Ida Chile).

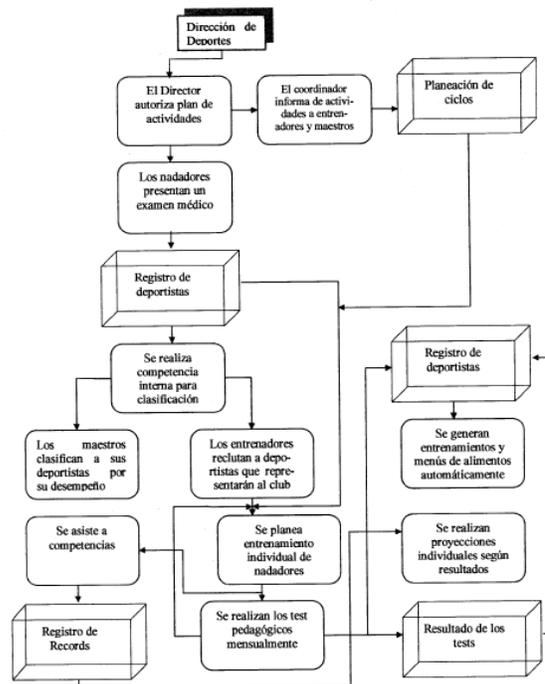
Uno de los motivos por el que se decidió integrar *Scrum* fue la necesidad de tener una mayor interacción con el *product owner* o usuario final. Aunque *Scrum* no es propiamente una metodología como lo es el ciclo de vida el cual es un proceso, o el modelo en Cascada donde se tienen iteraciones por citar algunos, pues según Schwaber, el ciclo de vida en Cascada y el Espiral, cierran el contexto y la entrega al inicio de un proyecto. La principal diferencia entre Cascada, Espiral e Iterativo y las Metodologías ágiles, concretamente el que adopta *Scrum*, es que estos últimos asumen que el análisis, diseño, etc., de cada iteración (o Sprint) son impredecibles.

Lo anterior permite un mayor avance en los tiempos de entrega, la realización de pruebas del sistema y el poder determinar la usabilidad del sistema.

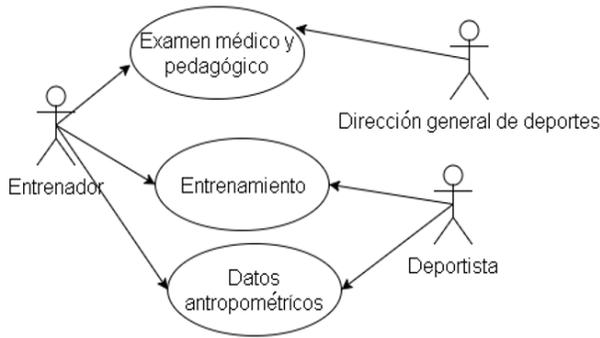
#### 4.1 Descripción de la funcionalidad propuesta

Mediante la interacción personalizada se realizaron dos esquemáticos, el primero se describe en el diagrama de flujo de datos y en el diagrama de casos de uso que describe la funcionalidad del sistema. Esto contempla el análisis de la primera versión del sistema y la migración a una aplicación web. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo de datos para los deportistas de natación. De lo anterior se genera un diagrama de caso de uso que representa el modelo del sistema en el que a nivel general se involucra a 3 actores y 3 casos de uso como se puede apreciar en la figura 4.

El deportista realizará tanto el examen médico como el test pedagógico, posteriormente entrará a una etapa de evaluación o validación, para ver si es aceptado o no, más tarde después de ser aceptado, el entrenador dará de alta al nuevo deportista, indicando a qué deporte es al que ingresa, y sus datos personales. Por lo tanto, solo el entrenador será el que podrá hacer modificaciones y actualizaciones en el sistema, desde los entrenamientos hasta la alimentación (o Menú clasificado por día), y podrá ver los avances y desempeño de sus deportistas, mientras que el deportista solo podrá ingresar al sistema en línea a través del sitio web de la Universidad de Colima para consultar sus entrenamientos, alimentación y avances sin modificación alguna.



**Figura 3.** Diagrama de flujo de datos para natación.

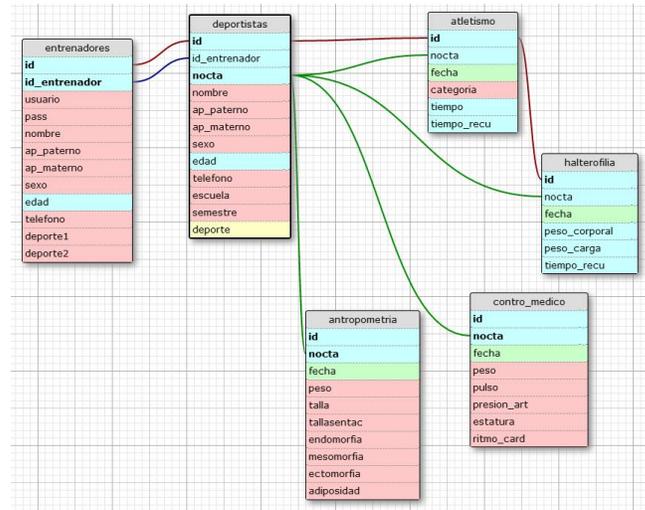


**Figura 4.** Casos de uso del sistema de deportistas de natación.

Entre otras de las tareas de este proyecto, se encuentra la migración del sistema actual a un entorno multiusuario y para el manejo de los datos, dado el incremento del tamaño de la base de datos, así como las variables y los datos mismos, se trabaja a nivel experimental el uso de un entorno relacionado con *big data*. Esto incluye, pero no se limita, al rediseño de las interfaces de usuario y de la base de datos. Lo que se busca principalmente es aprovechar las ventajas de las tecnologías de la información existentes e integrar el trabajo de los entrenadores cuyas áreas de trabajo son dispersas geográficamente pues en el caso de la Universidad de Colima, se cuenta con cinco campus en todo el estado de Colima los cuales incluyen instalaciones deportivas para la práctica de distintas disciplinas deportivas en cada campus.

#### 4.2 Base de datos

El diseño de la base de datos es simple, incluye cuatro tablas: Antropometría, Deporte, Entrenamiento y Deportista. A continuación, se muestran a nivel diseño los campos de cada tabla en la figura 5.



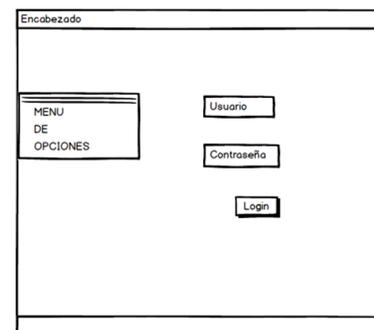
**Figura 5.** Base de datos optimizada con sus respectivas tablas.

En conjunto, la estructura de cada una de las tablas de la base de datos permitirá su correcta clasificación y el fácil acceso a la información.

#### 4.3 Interfaces graficas de usuario

Se utilizaron tecnologías *software* para diseñar las interfaces gráficas de usuario. En este punto el lenguaje de marcas de hipertexto, HTML por sus siglas en inglés, juega un papel importante, pues es la base sobre la que la aplicación web estará construida. Se realizó un diseño de la estructura del sistema mediante *wireframes*, para lo cual se utilizó la herramienta Balsamiq, siendo el diseño del nivel 1 como se muestra en la figura 6 en donde se describe el acceso mediante *login* y *password*.

Adicionalmente se utilizó otra herramienta para el diseño de las interfaces de usuario mediante un esquema IU/UX denominada Axure con el propósito de que la interacción del usuario con el *software* sea lo más amigable posible.



**Figura 6.** Wireframes para login.

Si se desea ingresar y visualizar los datos de cada deportista existe una opción que debe permitir ingresar información que a juicio del entrenador es necesaria dentro de su Kardex electrónico como se muestra en la figura 7 a continuación.

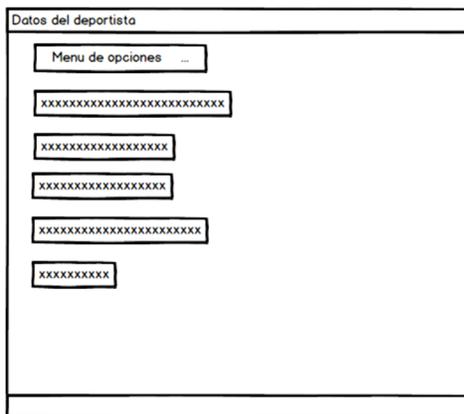


Figura 7. Wireframes para editar y visualizar información sobre deportistas.

Si el entrenador quiere acceder a la información tanto individual como grupal, esta se le muestra en la opción de menú informes y reportes como lo muestra la figura 8 a continuación.

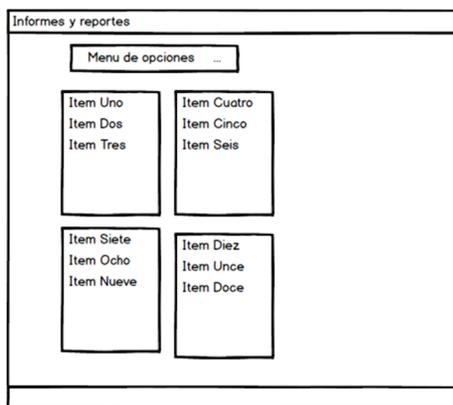


Figura 8. Wireframes para visualizar informes.

#### 4.4 Vistas de usuario

Con los Wireframes generados se procedió a generar las nuevas interfaces de usuario las cuales nos permitieron optimizar el sistema con un mejor manejo de la información mostrada.

Así, en la figura 9 el entrenador hace el registro de información en el sistema.

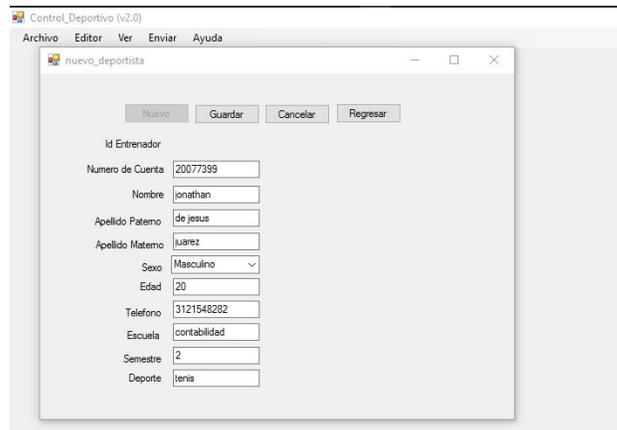


Figura 9. Entrenador - registro de deportistas.

Lleva el control médico de sus deportistas como se muestra en la figura 10.

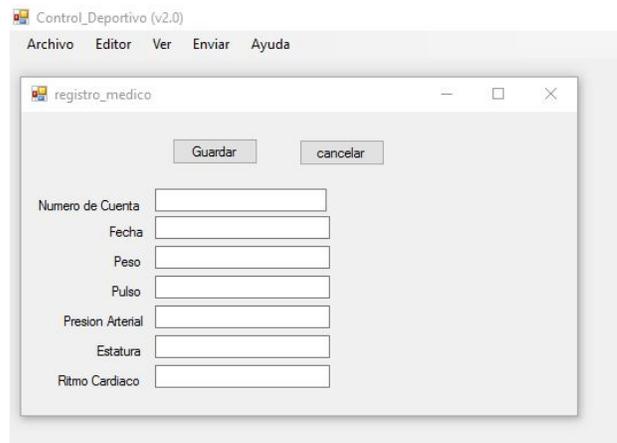


Figura 10. Entrenador - control médico.

Y genera el reporte físico del deportista como se muestra en la figura 11 en donde se muestran al detalle los datos antropométricos de cada deportista.

[Regresar](#)   [Imprimir](#)

**Datos Antropométricos**

sueta	fecha	peso	talla_cm	talla_sentado_cm	endormofia	mesomorfa	ectomorfa	adiposidad_pct	adiposidad_kg	muscularidad_pct	muscularidad_kg	sum_6_plegues_mm
20077399	2018-03-31	72.2	178	58	4	6	5	5	32	30	20	20
20077399	2018-03-31	70.9	178	58	3	5	5	5	35.5	29.5	21.5	22.5
20077399	2018-03-31	71.2	178	58	5	5	5	5	38.2	34.6	20.9	21.4

sueta	fecha	adiposidad_reg_superior_pct	adiposidad_reg_medio_pct	adiposidad_reg_inferior_pct	area_t_musculo_cm2	limc_kg/cm2	indice_corazo	indice_osteoporico
20077399	2018-03-31	42.3	48.6	52.4	42.8	52.4	47.5	
20077399	2018-03-31	42.8	50.6	52.4	42.8	53.1	50.2	
20077399	2018-03-31	46.3	42.3	48.6	55.6	39.5	49.8	

sueta	fecha	indice_acromion_hilico	perimetro_muslo_cm	perimetro_pierna	diametro_bicip_femor_cm	diametro_humero_hombor_cm
20077399	2018-03-31	38.4	46.5	56.2	45.8	60.6
20077399	2018-03-31	37.5	45.2	54.9	49.5	61.6
20077399	2018-03-31	39.5	48.7	50.3	48.0	63.00

Figura 11. Entrenador - registro físico datos antropométricos.

Adicionalmente, se generan una serie de formatos, los cuales son muy útiles durante el proceso de planeación y control como lo son: informe parcial, informe semestral para administradores, informe semestral para entrenadores de selección y el plan de trabajo semestral; los cuales se actualizarán en todo momento (consulte las figuras 12 y 13).

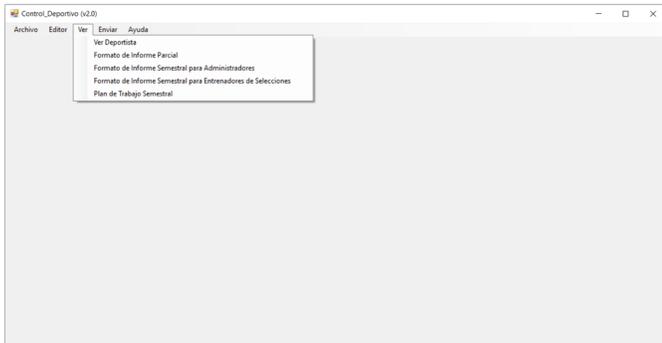


Figura 12. Entrenador - formatos de planeación.

Al estandarizar los formularios se pretende lograr las siguientes metas:

1. Estandarizar los registros de los deportistas.
2. Lograr la integridad de la información vertida en los registros de los entrenadores.
3. Automatizar el proceso administrativo y de seguimiento de talentos deportivos.
4. Dotar de un proceso de seguimiento automatizado de parámetros deportivos.
5. Agilizar los tiempos de procesos mediante la automatización del proceso.
6. Incluir datos antropométricos en los procesos de automatización.

Un ejemplo de los informes a llenar para los entrenadores se muestra en la figura 13.

Dichos formatos serán enviados vía correo electrónico a la Dirección de Deportes quien se encargará de procesarlos.

Dirección General de Deportes y Actividades Recreativas  
Departamento de Acreditaciones Deportivas  
INFORME SEMESTRAL PARA ENTRENADORES DE SELECCIONES

Nombre: \_\_\_\_\_  
Polideportivo: \_\_\_\_\_  
Deporte: \_\_\_\_\_ Categoría: \_\_\_\_\_

1.- CONTROL PERSONAL  
Nombre del equipo \_\_\_\_\_

No	NOMBRE DEL ALUMNO	No. De cuenta	Escuela	Categoría	Equipo

2.- METAS/OBJETIVOS  
3.- ESTRATEGIAS  
4.- NECESIDADES  
5.- RESULTADOS  
6.- COMENTARIOS

Lugar y Fecha \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Firma del promotor deportivo

Figura 13. Entrenador- tipos de informes.

Formulario de envío de reportes que permite a cada entrenador remitir a la Dirección de Deportes la información relacionada con cada deporte (consulte figura 14).

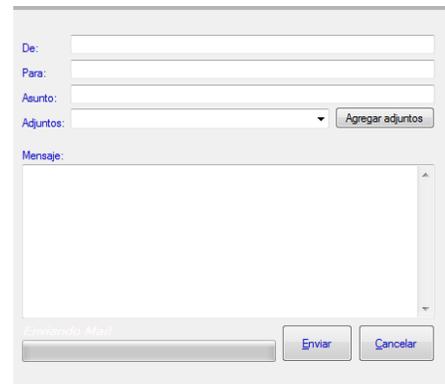


Figura 14. Entrenador - envío de formatos de planeación.

## 5. Desarrollos y resultados

Durante el desarrollo del *software* se presentaron una serie de inconvenientes empezando lo relacionado al aspecto técnico pues el servidor de base de datos en el que estaba situada la primera versión de este *software* fue cambiado de servidor de base de datos debido a los

problemas de conexión que tenía y el otro derivado del versionamiento de la plataforma de desarrollo.

Se realizaron 20 encuestas como parte del análisis del sistema actual para igual número de entrenadores y dos más para jefes de departamento habiendo seleccionado para el pilotaje a tres disciplinas: halterofilia, atletismo y natación.

Con lo anterior se realizó la especificación para el nuevo sistema.

Inicialmente se trabajó en la migración al nuevo sistema ya que a los entrenadores se les hacía más complejo que las herramientas que ellos manejaban de manera cotidiana como son formatos en papel y hojas de Excel, pues no se tenía un buen dominio de la tecnología computacional.

Posteriormente conforme se fue desarrollando este sistema se lograron muchos de los objetivos planeados a pesar de los inconvenientes que se presentaban. Como retroalimentación, este sistema ha dejado muchos conocimientos en desarrollo web y bases de datos, así también como de Antropometría y una entera satisfacción de los resultados mostrados.

La realización de este sistema también se ha convertido en un espacio de beneficio para los entrenadores y deportistas involucrados, ya que este sistema está principalmente dirigido a ellos, con el propósito de que se lleve un mejor control de su trabajo en la práctica de la disciplina deportiva que han elegido como materia o para su participación en competencias formales.

La secuencia de imágenes de la 15 a la 17 muestra la versión final del sistema en donde se resalta la generación de interfaces de usuario más amigables.

En la figura 15 por ejemplo, se muestra la interfaz de inicio del sistema mostrando la fachada de la Dirección de Deportes de la Universidad de Colima.



Figura 15. Vista de sistema página principal.

A continuación, en la figura 16, se tiene el acceso al módulo de validación del tipo de usuario que ingresa al sistema.



Figura 16. Vista de acceso al sistema.

En la figura 17, en el módulo de consultas se pueden desplegar los deportistas con sus datos personales, la escuela de procedencia y el deporte practicado.



Figura 17. Listado de deportistas.

Por último, en la figura 18, se puede hacer una consulta de los datos de entrenamiento por deportista, sus estadísticas en forma gráfica y su evolución en la práctica de su deporte desde el inicio hasta su situación actual.



Figura 18. Datos de entrenamiento por deportista.

### 5.1 Modelo de proporcionalidad antropométrica propuesto para pilotaje en la Universidad de Colima

Se consideró la implementación del método del Phantom descrito en el apartado 2 de este trabajo y el cual consiste en la transformación de las variables originales en puntuaciones Z.

Este método se considera una referencia que permite realizar comparaciones entre un sujeto y otro o entre un sujeto y una población de referencia sin tomar en cuenta un sexo o género en particular. Se toma en consideración varias medidas antropométricas para tomarlas como punto de partida, aunque no son obligatorias y pueden variar, La mayoría de los autores toman estos valores como una constante siendo estos: altura 170.18 cm, peso 64.58 kg y porcentaje de grasa corporal 18.87% representados por la ecuación (1) a continuación:

$$Z = 1/s (V (170,18 / E)d - P) \quad (1)$$

Donde:

Z= El valor de la variable transformada en el Phantom el cual es un resultado de proporcionalidad.

S= Desviación estándar que propone el modelo para la variable estudiada.

V= Valor obtenido de la variable estudiada.

E= Valor obtenido para la estatura.

P= es el valor Phantom para la variable (V) 170.18: Constante de proporcionalidad para la estatura en el modelo Phantom.

d= Exponente dimensional, que permite la linealización de las variables.

1) d=1 para las longitudes, diámetros, perímetros y pliegues de grasa.

2) d=2 en las superficies corporales o en las áreas transversales.

3) d=3 en el peso y otros volúmenes corporales.

El instrumental que se utiliza para la recolección de datos es: báscula, tallímetro, lipocalibre, parquímetros de diámetros óseos pequeños, cinta métrica, plicómetro o compás de pliegues cutáneos, entre otros. Para el registro de los datos antropométricos se utiliza un formato propuesto en [11] mostrado a continuación en la figura 19.

Nombre y Apellido		Evaluación N°:			
Fecha de evaluación:		Sexo (Var: 1; Muj: 0):			
Fecha de Nacimiento:		Menstruación:			
Antropometrista/evaluador:		Anotador:			
Medicinas básicas		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Promedio/Mediana
1	Peso Corporal (kg)				
2	Talla (cm)				
3	Talla sentado (cm)				
4	Envergadura (cm)				
<b>Pliegues cutáneos (mm)</b>					
5	Subescapular				
6	Tricipital				
7	Bicipital				
8	Supracrestal o cresta iliaca				
9	Supraespinal o suprailiaco				
10	Abdominal				
11	Muslo anterior				
12	Pierna medial				
	Otros:				
<b>Perímetros (cm)</b>					
13	Brazo relajado				
14	Brazo flexionado y contraído				
15	Muslo medial				
16	Pantorrilla				
17	Cintura				
18	Cadera				
	Otros:				
<b>Diámetros (cm)</b>					
19	Humero				
20	Muñeca				
21	Fémur				
	Otros:				

\*Medidas del perfil restringido (ISAK nivel 1).

Figura 19. Proforma antropométrica básica.

### 6. Conclusiones y trabajos futuros

Con la actualización de la plataforma informática se pretende que cada entrenador tenga un mejor control y seguimiento de la evolución de sus deportistas sin perder de vista la planeación de ciclos de competencia individualizada.

Se generarán entrenamientos para cada tipo de deportista en función de su antropometría muy particular, independientemente de su edad, sexo y categorización o logros en su deporte, pues estos últimos son consecuencia del seguimiento que se le dé a cada atleta.

Le permitirá al grupo de trabajo definir menús de alimentación personalizados para garantizar que sus deportistas cuentan con el aporte energético necesario para cumplir con las exigencias del entrenamiento.

Permitirá a los entrenadores controlar los registros médicos de sus deportistas y llevará un registro pormenorizado de todas las enfermedades para poder determinar el nivel de exigencia o tipo de preparación a llevar a cabo antes de una competencia.

Registrará las pruebas pedagógicas para que la definición de los tipos de entrenamientos tenga una base científica y sean adecuados a cualquier cambio en el desempeño del deportista.

Realizará proyecciones de las evoluciones o desempeño de cada deportista y poder usar esto con fines motivacionales.

Este proyecto ha sido un aporte importante en la formación de estudiantes de ingeniería, les ha permitido conocer un aspecto práctico de las ciencias de la computación y su aplicación en el deporte, pues se han vinculado desde la parte inicial relacionada con el conocimiento del estado del arte, las etapas del desarrollo de un sistema inteligente y su uso en un aspecto social, el cual incluso puede impactar en la economía de una región, pues puede propiciar una forma de vida y por qué no, una profesión muy rentable si se aplican los conocimientos adecuados a cada deportista.

Los estudiantes vinculados al proyecto han conocido cada una de las etapas del sistema, cómo está conformado y qué tipo de información debe ser depurada para incorporarla en cada disciplina deportiva.

Al inicio del proyecto, el propósito principal era hacer la actualización del sistema desarrollado en el año 2009, documentada en la tesis de licenciatura [12], lo cual se logró al concluir el proyecto usando el entorno de Visual Studio .Net. Sin embargo, el alcance del proyecto excedió lo planteado al inicio, ya que al término de la investigación se logró el objetivo principal desarrollando un sitio web el cual se encuentra en su pilotaje montado en una nube híbrida que integra una página web dinámica en ASP.NET que administra una base de datos SQL con

la información necesaria para el entrenador, el deportista y la institución.

En lo particular se observaron algunos detalles: para que el doctor y el entrenador lleven un control adecuado, se requiere tener un amplio conocimiento de entrenamientos y rutinas a realizar, que los deportistas puedan ver su rendimiento, condición física, programar la rutina que les corresponde hacer cada día en función a un plan de trabajo, masa muscular actual y a desarrollar, así como las metas a lograr en un periodo de entrenamiento determinado por las competencias en las cuales se va a participar.

Se considera que el producto final cumple su objetivo y se podría utilizar en diferentes instituciones (Universidad de Colima e INCODE), resulta de gran interés abordar el tratamiento del control de los deportistas de más alta calificación mediante diferentes formas, desde una perspectiva más racional y sobre bases verdaderamente físicas, lo cual asegura un nivel altamente cualitativo del control actual de entrenamiento hacia los deportistas registrados anteriormente [13].

Actualmente el sistema se encuentra en su etapa de pilotaje, se le realizan pruebas de sistema con datos reales y de los resultados obtenidos en competencia dependerán las futuras actualizaciones, las cuales estarán sujetas al seguimiento puntual que se le dé por parte de entrenadores y deportistas, por lo que aún no se cuenta con datos concluyentes respecto a la evolución de los deportistas, aunque si se tienen respecto a la utilización de la plataforma computacional desarrollada.

Las interfaces del sistema tienen un entorno gráfico y son fáciles para su lectura y uso.

En una tercera etapa del proyecto se pretende incorporar un módulo de sensorica y de circuitería electrónica lo cual está fuera del alcance del presente documento para alimentar al sistema con datos de cargas de esfuerzo realizadas en laboratorio. Se pretende, además, iniciar el diseño de un sistema experto con el fin de generar una base de conocimiento que contenga los datos de los deportistas clasificados por disciplina y las aportaciones de la mayoría de los entrenadores que puedan ser incorporados al proyecto y sean receptivos a utilizar el *software* con el fin de poder realizar un pilotaje más completo, utilizando competencias nacionales como la olimpiada universitaria.

Otro aspecto por considerar es que en fecha reciente se ha vinculado a la empresa SBC Tecnologías la cual

cuenta con un convenio con la Universidad de Colima con el propósito de analizar la factibilidad comercial del proyecto y que ello permita allegarse de recursos económicos que garanticen que cuando concluya, tenga un impacto social, sea redituable y sobre todo que exista un vínculo entre la academia y el sector productivo.

## 7. Referencias

- [1] Esparza Ros F. “Manual de Cineantropometría”. España. Editor Científico. Grupo Español de Cineantropometría (GREC) FEMEDE. 1993.
- [2] Cabañas MD, Esparza F. “Compendio de Cineantropometría”. (2009) Madrid: CTO Editorial.
- [3] Cristian Iriarte “Alto Rendimiento Deportivo” [En línea]. Available: <http://www.cristianiriarte.com.ar> [Último acceso: 15 marzo 2018].
- [4] Garrido Chamorro Raúl Pablo, González Lorenzo Marta, Isabel Expósito Coll, Garnés Ros Ana Félix, “Valoración de la proporcionalidad mediante el método combinado. Estudio realizado con 873 futbolistas “[En línea]. Available: <http://www.efdeportes.com/efd81/comбина.htm> [Último acceso: 15 marzo 2018].
- [5] Gris GM, Dolce PA, Giacchino DE, Lentini NA. “Estudio somatotípico en la población activa de Argentina”. *Apunts Medicina de l'esport*; 2004, (39) 144:35-40.
- [6] MAC DOUGALL, J. D., WENGER, H. A., GREEN, H. J. “Evaluación fisiológica del deportista”. (1995). pp. 15-470. Editorial Paidotribo. Barcelona, España.
- [7] Lentini, N. A., Verde, P. “Análisis antropométrico y funcional del basket argentino”. *Revista Argentina de Medicina del Deporte*, 1991; vol. XIV n° 45: 37-52.
- [8] “*Sitio de Internet de la Dirección General de Deportes y Actividades Recreativas de la Universidad de Colima*”, [En línea]. Available: <https://portal.ucol.mx/deportes> [Último acceso: 15 marzo 2018].
- [9] González Porfirio, Fuentes C. Ricardo, “Sistema administrador de talentos deportivos”. Tesis de Maestría en Computación, Universidad de Colima. 2002.
- [10] NYSE, «*Moprosoft*,» [En línea]. Available: <https://www.nyce.org.mx/moprosoft-nyce/>. [Último acceso: 12 abril 2018].
- [11] Garrido Chamorro Raúl Pablo, «*Protocolo de medición antropométrica en el deportista y ecuaciones de estimaciones de la masa corporal*» [En línea]. Available: <http://www.efdeportes.com/efd174/protocolo-de-medicion-antropometrica-en-el-deportista.htm> [Último acceso: 15 marzo 2018].
- [12] Juan Carlos Mendoza Luna, Alejandro Rafael Rodríguez Sánchez, “Desarrollo de Tecnologías de Información para Deportistas”, primera versión del *software* utilizado en la U de C. 2007.
- [13] Fuentes Covarrubias Ricardo, Fuentes Covarrubias Andrés Gerardo “Sistema de monitoreo asistido por computadora para proyectos de gestión para deportistas del estado de Colima”. Reporte técnico, Universidad de Colima. 2010.

## Sistema para la interacción activa con autobuses de rutas urbanas de Panamá para personas con discapacidad visual

### System for active interaction with urban bus routes in Panama for visually impaired people

Rafael Alejandro Vejarano <sup>1\*</sup>, Ángel Henríquez <sup>1</sup>, Héctor Montes <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Eléctrica, Centro de Automática y Robótica CSIC-UPM, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [rafael.vejarano@utp.ac.pa](mailto:rafael.vejarano@utp.ac.pa)

**RESUMEN**— El presente proyecto propone un sistema innovador que permite organizar un sistema de transporte inclusivo en las rutas urbanas en la República de Panamá, dirigido a mejorar la movilidad de las personas en situación de discapacidad visual, fomentando la integración social y mejorando la calidad de vida de este colectivo mediante el uso de la tecnología con iniciativas solidarias y activas. En este artículo se exponen las características principales de las aplicaciones ViDis y Bus, las cuales están diseñadas e implementadas por el grupo de investigación del proyecto MOVIDIS del Centro Regional en el Coclé de la Universidad Tecnológica de Panamá. Estas apps han sido desarrolladas para teléfonos inteligentes basados en Android, que proporcionan asistencia a personas con discapacidad visual para que puedan, en forma independiente, hacer uso del sistema de transporte público de pasajeros en Panamá. El sistema Bus informa a la persona con discapacidad visual sobre la ubicación del autobús y la distancia estimada de arribo al lugar donde esta persona se encuentra mediante comandos de voz y, adicionalmente, estando en el autobús, le proporciona información sobre las paradas durante el recorrido del autobús para que la solicite. Paralelamente, el sistema ViDis provee a la app Bus, la localización de la persona con discapacidad visual. De esta manera existe una interacción activa entre la persona con discapacidad visual y el conductor del autobús.

**Palabras clave**— *Personas con discapacidad visual (PcDV), Android, GPS, movilidad, inclusión social, sistemas de localización en tiempo real.*

**ABSTRACT**— This project proposes an innovative system that allows the organization of an inclusive transportation system on urban routes in the Republic of Panama, aimed at improving the mobility of people with visual impairment, promoting social integration and improving the quality of life of this group using the technology with solidarity and active initiatives. This article presents the main features of the Vidis and Bus applications, which have been designed and implemented by the research group of the MOVIDIS project at the Centro Regional de Coclé of the Universidad Tecnológica de Panamá. These apps have been developed for Android-based smartphones, which provide aids to visually impaired people so that they can, independently, make use of the public passenger transport system in Panama. The Bus system informs the visually impaired person about the location of the bus and the estimated arrival distance to the place where this person is located, by means of voice commands. Additionally, when this person is on the bus, the Bus app provides him/her information on stops during the tour of the bus to him/her request it. At the same time, the ViDis System provides to the Bus app the location of the visually impaired person. Thus, there is an active interaction between the person with visual impairment and the bus driver.

**Keywords**— *People with visual impairments (PwVI), Android, GPS, mobility, social inclusion, Real-time location systems.*

## 1. Introducción

Cuando se utiliza el sistema de transporte público de pasajeros, los viajeros aspiran a saber con claridad el tiempo de llegada del autobús a la parada en donde se encuentran y también el tiempo que se utiliza hacia dónde se dirigen. Una larga espera puede derivar en ansiedad e impaciencia. La situación es aún más crítica cuando se trata de un pasajero con discapacidad visual, el cual requiere confiar en otras personas para poder elegir el

transporte correcto que lo llevará a su destino, afectando también su movilidad e independencia. Se estima que a nivel mundial existen 285 millones de personas con discapacidad visual, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), y casi el 90% de ellas vive en países de ingresos bajos [1], por lo que dependen completamente del transporte público de pasajeros para movilizarse de un lugar a otro o, simplemente, no se movilizan, lo cual va en detrimento de su integración

**Citación:** R. Vejarano, A. Henríquez y H. Montes, "Sistema para la interacción activa con autobuses de rutas urbanas de Panamá para personas con discapacidad visual", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (17-23), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 27 de febrero de 2018. **Recibido con correcciones:** 3 de septiembre de 2018. **Aceptado:** 16 de octubre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/iddt.v14.2.2069>

**Copyright:** 2018 R. Vejarano, A. Henríquez y H. Montes. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

social como ser humano. Jefferson Ramírez, un colombiano con discapacidad visual, en una entrevista dada en Pulso Social [2] indica que “el objetivo principal de una persona con discapacidad visual es el ser lo más independiente posible”.

Actualmente, los sistemas personales de seguimiento en tiempo real hacen posible la localización de personas, vehículos y cualquier objeto que los porte [3, 4]. Estos, utilizados en el transporte público, permiten en tiempo real la localización y estimación del tiempo de llegada de los autobuses a las diferentes paradas. Sin embargo, muchas agencias de transporte no cuentan con sistemas de localización e información para los pasajeros, con lo cual se disminuye el confort y la seguridad de los pasajeros en estas agencias con respecto a otras que lo posean. Esto puede ser debido a la falta de recursos económicos, al tipo de modelo de transporte, leyes, cultura social, poca iniciativa, tipo de red, incluso el nivel del país, etc.

Como ejemplo de los sistemas que se están desarrollando para la localización de autobuses se puede citar un proyecto realizado por la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, en el cual se ha desarrollado una aplicación para informar a la comunidad universitaria en tiempo real, de los tiempos de llegada de los autobuses. Esta aplicación está dirigida a dispositivos móviles Android, haciendo uso de GPS, un mapa de rutas, una base de datos local y un algoritmo de cálculo donde se realiza la consulta y la velocidad de circulación del autobús, la cual genera el tiempo estimado de llegada [5].

Adicionalmente, en la Universidad Visakhapatman en la India, se propone un sistema de rastreo portable basado en dispositivos móviles, el cual envía las coordenadas de localización del autobús obtenidas por el GPS a una base de datos, que luego puede ser accedida por los pasajeros y con una vista de localización con *Google Maps* [6].

Por otro lado, existe una aplicación basada en iOS para Apple que está en uso en Escocia [7], cuyo objetivo es el de asistir parcialmente a los usuarios en la búsqueda de las paradas de autobuses y el de avisarles la hora de salida del siguiente autobús y de qué parada. Esta app se llama *Scot Talk*. Utilizan mensajes de voz y también los usuarios pueden conocer cuál es la siguiente parada para solicitar su bajada, si fuese necesario. Aplicaciones similares existen en la mayoría de los países de Europa, sin embargo, ellos cuentan con una infraestructura de

logística de transporte excelente, autobuses adaptados para la buena atención al ciudadano, una infraestructura urbanística adaptada al ciudadano, una cultura en el cuidado de todas sus instalaciones por parte de la población, entre otras múltiples ventajas, lo que hace, relativamente fácil, la implementación de este tipo de tecnologías que se describen en este artículo.

En este sentido, la Universidad Tecnológica de Panamá, a través del proyecto MOVIDIS (<http://movidis.utp.ac.pa/>) ha desarrollado la app Bus [8, 9], que permite comunicar a una persona con discapacidad visual (PcDV) con el autobús, con la finalidad de recibir información sobre localización y estimación de distancia del autobús con respecto a la parada en donde se encuentra ubicado, mediante un servicio de alertas informativas audible y confiable. Bus es una aplicación basada en Android, que utiliza los servicios de un registro de coordenadas de localización, así como GPS y algoritmos que permiten el cálculo con gran exactitud de la localización del autobús y de la estimación del tiempo de arribo a las paradas. Adicionalmente a la aplicación Bus se ha desarrollado la app ViDis, la cual está instalada en el teléfono inteligente que porta la PcDV. Ambas aplicaciones interactúan entre ellas para que la PcDV pueda solicitar las paradas de subida y de bajada dentro del sistema autobuses-paradas utilizado para la validación del sistema desarrollado.

Las app diseñadas y desarrolladas dentro del proyecto MOVIDIS tienen algunas diferencias con respecto a otras aplicaciones que están implementadas en otros países, por ejemplo, la *Scot Talk* [7]. Entre otras diferencias se puede mencionar que las aplicaciones en MOVIDIS están diseñadas principalmente para que personas con discapacidad visual puedan interactuar de manera amigable con ella, para el logro de los objetivos mencionados. Adicionalmente, tiene diferencias sutiles y muy localizadas en el entorno local, ya que no se cuenta con una base de datos establecida y con las etiquetas de las paradas dentro de la ruta del autobús, además, de la metodología en la conducción de autobuses en Panamá, que dista de la conducción en Escocia, Europa, etc. Estas sutilezas también han sido consideradas en las apps dentro del marco del proyecto MOVIDIS.

El entorno de estudio se ha establecido en la ciudad de Penonomé, Provincia de Coclé, debido a las facilidades de acceso a la Universidad Tecnológica de Panamá, cuyo centro de ubica en esta ciudad, y a los

recursos aportados por esta universidad en la investigación realizada. El método responde a un diseño de *software* y *hardware* libre, que mediante pruebas controladas describen la funcionalidad de la app Bus. Como principal resultado se ha obtenido la comunicación entre los subsistemas implementados en las apps Bus y ViDis. Esta última app es utilizada por la PcDV para proporcionarle información para aportar ayudas a su movilidad autónoma, como ha sido mencionado anteriormente.

Para la realización de este proyecto se han utilizado los tipos de investigación exploratoria, descriptiva y aplicada mediante un modelo evolutivo de desarrollo de *software*, en el cual las especificaciones y requerimientos se entrelazan con las actividades de desarrollo y validación de las diferentes versiones de las aplicaciones implementadas.

El proceso de localización ha sido puesto a prueba en el estudio previo que se realizó con la aplicación TEUBICA basada en Android, el cual informa a una persona con discapacidad visual el lugar donde se encuentra en ese momento [10]. Esta aplicación también ha sido desarrollada dentro del marco del proyecto MOVIDIS. El objetivo de la tecnología es satisfacer las necesidades humanas utilizando los recursos disponibles. De esa manera, la tecnología se constituye con varias aristas: su tendencia a expresarse, uso oportuno de los recursos a su alcance, manejo adecuado de los materiales, y la información que se posee sobre ello, con la finalidad de responder eficazmente a las diferentes necesidades de las personas en la sociedad. Así, el objetivo científico tras este proyecto es proveerle a una PcDV una herramienta tecnológica de uso amigable que le permita independencia y seguridad para el acceso al transporte público de pasajeros mediante el uso de las aplicaciones habilitadas.

En este proyecto se plantea la siguiente interrogante: ¿es posible desarrollar un sistema que permita a una PcDV solicitar a un autobús que le recoja en una parada determinada y que le deje en otra parada específica mediante el uso de la tecnología electrónica asistida?

Este artículo está organizado en cuatro secciones. En la primera sección se realiza una introducción al trabajo presentado en este artículo, explorando brevemente otros proyectos similares. La descripción de sistema propuesto se desarrolla en la sección dos. La sección tres expone la fase de experimentación y la discusión de los resultados

obtenido. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección cuatro.

## 2. Descripción del sistema

El sistema de interacción con el autobús está compuesto por la app Bus y un teléfono inteligente basado en Android (en donde está instalada esta app), con el cual se puede navegar por el GPS y con los datos de telefonía local. Este teléfono se instala en el autobús de manera portable y de fácil acceso al conductor. Este dispositivo envía periódicamente su posición de coordenadas GPS, dada en longitud y latitud, que se compara con datos almacenados en una base de datos (implementada dentro del proyecto MOVIDIS), que se encuentra en un servidor, y que posee sitios específicos en una ruta utilizada para la experimentación. Una PcDV, en posesión de un teléfono inteligente, por medio de la aplicación ViDis (que está instalada en ese teléfono) puede obtener la localización del autobús, si lo solicita. Las coordenadas de localización del autobús y de la PcDV, que se encuentran en las paradas respectivas o durante el tránsito del autobús, se introducen a una función dentro de la app Bus, la cual notifica su último punto de verificación (parada) y proporciona el tiempo estimado de llegada a la PcDV, a través de la app ViDis, si esta lo ha solicitado. Esta información se actualiza constantemente de forma automática, manteniendo informado a la PcDV de cualquier cambio en el tiempo de arribo, ya que se pueden registrar demoras por diversas razones, tales como el congestionamiento vehicular, accidentes, etc. La app Bus se comunica mediante notificaciones denominadas “*push*” con la app ViDis, que son mensajes breves entre ellas aunque no se tengan las aplicaciones encendidas en ese momento en los teléfonos móviles [11].

La combinación de los sistemas ViDis y Bus, permiten a una PcDV lograr cierta autonomía al momento de utilizar el servicio de transporte público de pasajeros en Panamá. Este logro resulta de mucha importancia para estas personas, ya que no cuentan con ningún tipo de ayuda en este sentido y, además, aporta un paso adelante en la inclusión social de las mismas, al proporcionar un grado adicional de autonomía a las PcDV en su movilización en el sistema de transporte público masivo de Panamá.

## 2.1 Arquitectura del sistema

El sistema de interacción activa entre la PcDV y el autobús consta de un teléfono inteligente que se ubica en el autobús, una capa de servicio PHP que se comunica con una base de datos MySQL y otro teléfono inteligente que posee la PcDV. En esta arquitectura se utiliza *FireBase*, la cual es una solución de mensajería multiplataforma que permite enviar mensajes en cualquiera de las siguientes formas: a dispositivos individuales, a grupos de dispositivos [12]. Tanto la app Bus como la app ViDis están construidos en Android. La app Bus utiliza los servicios del sistema GPS del lado del sistema ubicado en el autobús. Esta arquitectura se puede observar en la figura 1.

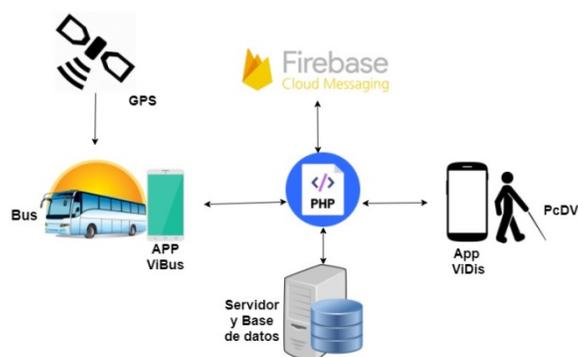


Figura 1. Arquitectura Bus.

La comunicación entre los subsistemas se da mediante una capa de servicio en PHP que conecta al servidor de base de datos, el cual almacena la información de localización del autobús en intervalos de tiempo, con el dispositivo móvil que porta la PcDV.

## 2.2 Funcionamiento

La PcDV inicia la comunicación mediante la solicitud del autobús desde la app ViDis. La app Bus, ubicado en el teléfono móvil instalado en el autobús, recibe un mensaje de alerta que le indica que una PcDV requiere el servicio de transporte en una parada en particular. Mediante el GPS, se obtienen los datos de localización del autobús y se envían a la base de datos. El móvil de la PcDV recibe la localización actual del autobús y mediante mensaje de voz se le informa acerca de la proximidad del autobús. El proceso de localización se repite periódicamente hasta que el autobús se encuentre en la parada, donde se encuentra la PcDV, la cual

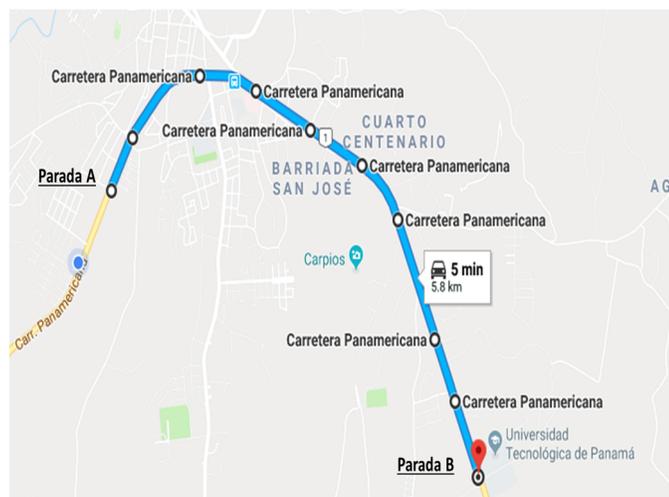
abordará el autobús. Una vez la PcDV se encuentra en el autobús, el sistema (a través de la app ViDis) le informa sobre sitios conocidos (etiquetados) y paradas a lo largo del recorrido. Cuando el vehículo se encuentra próximo al destino, o en cualquier momento, la PcDV desde su aplicación ViDis solicita su parada, entonces, la app Bus recibe una alerta que se le muestra en pantalla al conductor y este ejecutará el protocolo de acercamiento y detención del vehículo en la parada solicitada.

## 3. Experimentación y Resultados

En la fase de experimentación se ejecutaron tres series de pruebas las cuales evaluaban la usabilidad de las app (grado de facilidad de uso de la aplicación por parte de la PcDV), así como una prueba de caja negra para determinar la funcionalidad del sistema. La primera consistió en verificar los puntos de localización y de recepción de los avisos en el móvil, tanto en las apps ViDis como en la app Bus. Para ello se establecieron 10 puntos de verificación. Se fijó un recorrido de 6 Km, aproximadamente, entre el punto de partida (Parada A) hasta el punto de llegada (Parada B), ubicado en la Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Coclé (véase la figura 2). La velocidad máxima de los vehículos móviles utilizados en las pruebas fue de 70 km/h, aproximadamente.

Inicialmente, para evaluar los puntos de verificación, se realizó un recorrido con un automóvil particular. A medida que se transitaba, la app ViDis recibe las notificaciones en coordenadas de latitud y longitud desde la app Bus de cada uno de los 10 puntos de control, al entrar dentro de la zona de tolerancia establecida de cada uno de los puntos. Sin embargo, durante esta primera prueba no fueron detectados nueve de los diez puntos de control. Se concluye que se debió a la latencia en el acceso a la red de datos del sistema de telefonía pública, tanto en 3G como en 4G, en la ciudad de Penonomé, la cual impidió la recepción oportuna de los datos almacenados en la nube y, por lo tanto, no se producían las notificaciones en el tiempo adecuado. Esta evidencia fue comprobada, ya que las tecnologías de módem de teléfonos celulares sufren de alta latencia debido a la naturaleza de las comunicaciones al aire libre [13]. Según lo descrito en [13], se indica que aunque se tenga un ancho de banda amplio existe latencia en la transmisión/recepción de los datos debido a la utilización de un protocolo de comunicación inadecuado, ya que se

interpone en medio de la transmisión. También se indica que, en conexiones de datos móviles, la latencia varía entre distintos operadores y puede oscilar entre los 100 y los 1000 milisegundos, y es mucho mayor si el objeto se encuentra en movimiento, que es el caso del autobús.



**Figura 2.** Ruta de prueba.

Se observaron fallos en la conexión entre la app ViDis y la localización de las paradas utilizando para ello el depurador de código en Android (*debugger*). Después de esta primera serie de pruebas experimentales, se introdujeron modificaciones a la arquitectura original del sistema, eliminando la consulta de datos en la nube y colocando los puntos de verificación directamente dentro de la aplicación ViDis. Con estas modificaciones se mejoró el tiempo de acceso y la identificación efectiva de los puntos de verificación. En este caso se lograron obtener las correspondientes notificaciones en cada uno de los 10 puntos marcados de la ruta de prueba (véase la figura 2).

La figura 3 presenta una representación gráfica de la experimentación realizada. En la figura 3(a) se muestra la app ViDis dentro del dispositivo móvil utilizado, con la notificación de llegada a la parada. En el fondo, se puede observar la Parada B del recorrido. En la figura 3(b) se muestra la pantalla de la app ViDis con la notificación de llegada del autobús a la parada solicitada. Es evidente que esta notificación se realiza por mensaje de voz para que la PcDV pueda recibirla.



(a)

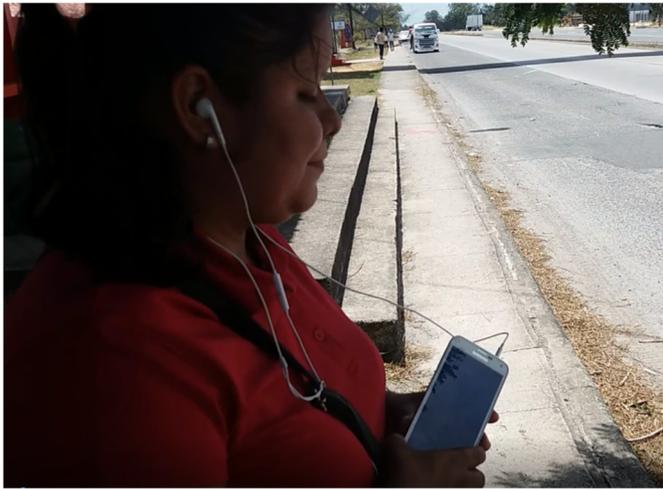
(b)

**Figura 3.** Representación gráfica de la experimentación realizada. (a) Notificación en la app ViDis dentro del automóvil, en la Parada B (destino seleccionado). (b) Notificación en la app ViDis.

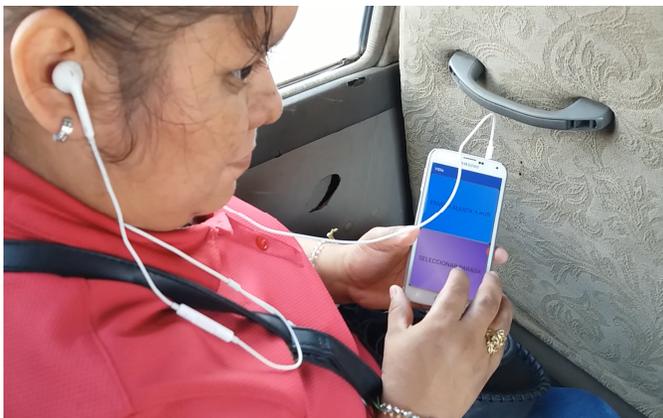
La segunda serie de pruebas experimentales consistió en ubicar a una persona con el teléfono móvil de la PcDV en la parada de autobuses de la Universidad Tecnológica de Panamá (parada B). Esta envía una solicitud de parada al autobús, la app Bus la recibe y el conductor ejecuta la acción de detenerse para transportarla. Se marcaron nuevos puntos de notificación y se realizó el recorrido con un vehículo particular, como simulador de un autobús. Cuando el teléfono móvil localizado en el autobús entra a una región o zona cuyas coordenadas se encuentran en el rango establecido de cercanía a la parada, se envía una alerta a la PcDV, que consta del nombre del lugar en dónde se encuentra el autobús y el tiempo aproximado de llegada. Esta segunda prueba experimental fue realizada con éxito las veces que fue ejecutada, considerando la metodología experimental diseñada para estas pruebas.

Finalmente, se realizó una tercera serie de pruebas controladas con una PcDV para validar el grado de funcionalidad del sistema. Inicialmente, se instruyó a la PcDV en el uso de la aplicación ViDis con todas sus funcionalidades, por ejemplo, como solicitar las paradas de subida y bajada del autobús, entre otras. La figura 4 muestra a una PcDV, en una de las paradas ubicadas en la ruta utilizada para las pruebas (ver figura 2), solicitando la parada del autobús próximo a la parada. Durante ese momento, la PcDV recibe la información desde la app Bus de la distancia y el tiempo aproximado de llegada a la parada. En la figura 5 se presenta a una PcDV utilizando la aplicación ViDis durante el tránsito de ella hacia su parada de destino. Durante el recorrido del autobús, la PcDV es capaz, por medio de la app

ViDis, conocer las diferentes paradas del recorrido y solicitar, de manera amigable, la parada de bajada.



**Figura 4.** Persona con discapacidad visual solicitando el autobús en la parada.



**Figura 5.** Persona con discapacidad visual sobre el autobús utilizando la app ViDis, durante un momento de la tercera serie de pruebas.

Desde que el autobús se aproxima a la parada en donde está la PcDV (dentro del rango de acción establecido) y cuando la PcDV está dentro del bus, la app Bus establece la comunicación con la app ViDis, en donde le envía datos de la localización por donde transita el bus a la app ViDis. Por lo tanto, la PcDV estaba consciente, en cada momento, de la ubicación del autobús.

La tercera serie de pruebas fue exitosa y validó la usabilidad de la interacción de las apps ViDis y Bus, dentro de la metodología de experimentación diseñada. Posteriormente a estas pruebas, se realizó una entrevista

controlada a la PcDV para conocer su grado de satisfacción en el uso de la app ViDis. La PcDV señaló que la app es de fácil uso después de un entrenamiento breve, que la interacción con el bus es adecuada ya que los colaboradores del bus aportan ayudas a las PcDV en su movilización interna, y que le aportan un alto grado de tranquilidad para transitar con el bus.

#### 4. Conclusiones

La adopción generalizada de la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CPRD) [14], exige la accesibilidad de la tecnología permitiendo un acceso fácil e instantáneo a las personas con discapacidad y que pueden utilizarlas en una diversidad de maneras para vivir con independencia y realizar sus actividades diarias. Las personas con discapacidad visual dependen, total o parcialmente, según la gravedad de su discapacidad, de un lector de pantalla para poder manejar un computador o de un teléfono móvil, entre otros dispositivos. Sin embargo, el trabajo presentado en este artículo utiliza indicadores audibles para ayudar a un PcDV a utilizar el transporte público de pasajeros en Panamá.

El elevado grado de penetración y la disponibilidad de tecnologías de asistencia hacen del teléfono móvil una plataforma ideal para la entrega de una amplia gama de aplicaciones y servicios. Las nuevas tecnologías han dejado de ser consideradas como un obstáculo para la inclusión de las personas con discapacidad, a ser herramientas para mejorar su calidad de vida y su participación en la sociedad. Un aporte a esta mejora en la calidad de vida de las PcDV es, precisamente, este proyecto MOVIDIS que realiza una contribución importante en la autonomía de la movilización de estas personas dentro del marco del transporte público masivo en Panamá. Para ello, en este trabajo, se hace uso de tecnología exequible, ya que, generalmente, estas personas la utilizan para sus propósitos.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto MOVIDIS financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) con el Contrato por Mérito N.º 109-2015-4-FID14-073. Se agradece efusivamente a la Srta. Itzel Ortega (PcDV) por colaborar con la realización de una parte de las experimentaciones. Héctor Montes,

también, agradece al Sistema Nacional de Investigación (SNI), por el apoyo que realiza a sus miembros.

## 6. Referencias

- [1] OMS. (2014). Ceguera y discapacidad visual. Nota Descriptiva N.º282. Agosto de 2014. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>
- [2] Pulso Social. (2016, Abr.). “Una app ayuda a las personas con discapacidad visual a acceder al transporte público”. [Online]. Disponible en: <http://pulsosocial.com/2016/04/01/una-app-ayuda-personas-discapacidad-visual-acceder-transporte-publico/>
- [3] T. Lacoma. (2016, May.). “5 of the Best Personal GPS Tracking Devices”. [Online]. Gadgetreview. Disponible en: <http://www.gadgetreview.com/5-of-the-best-personal-gps-tracking-devices>.
- [4] Stanley-Security. (2017, Ago.). “Sistema de localización y seguimiento”. Disponible en: <http://www.stanley-security.com/aeroscout/sistema-de-localizacion-y-seguimiento.html>
- [5] L. Enciso-Quispe, J. Correa, E. Quezada, P. A. Quezada-Sarmiento and E. Zelaya-Policarpo. "System of location and control of time of arrival of university buses using smartphone". In Proc. 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Lisbon, 21-24 June, pp. 1-6, 2017.
- [6] K. Sujatha, P. V. N. Rao, K. J. Sruthi and A. A. Rao. "Design and development of android mobile based bus tracking system". In Proc. First International Conference on Networks & Soft Computing (ICNSC2014), Guntur, pp. 231-235, 2014.
- [7] Traveling Scotland Ltd. (2018, Ago.). “Scot Talk for iPhone”. Disponible en: [http://download.cnet.com/Scot-Talk/3000-20428\\_4-76053316.html](http://download.cnet.com/Scot-Talk/3000-20428_4-76053316.html)
- [8] H. Montes, I. Chang, G. Carballeda, J. Muñoz, A. García, R. Vejarano and M. Armada. “MOVIDIS: first steps toward help the mobility of people with visual disability in Panama”. In: Proc. RoboCity16 Open Conference on Future Trends in Robotics, May 26-27, Universidad Politécnica de Madrid, Chapter 26, pp. 211-218, 2016.
- [9] H. Montes, I. Chang, G. Carballeda, J. Muñoz, A. García, R. Vejarano, Y. Saez. “Design of a System to Support the Mobility of Visually Impaired People”. In: Proc. 21<sup>st</sup> International Conference on Climbing and Walking Robot and Support Technologies for Mobile Machines. Robotics Transforming the Future. Elsevier, pp. 33-40, 2018.
- [10] G. Carballeda, A. Arcia, R. Pérez, and H. Montes. “Aplicación Móvil para el Monitoreo de Personas con Discapacidad Visual”. Tecnología y accesibilidad, Vol. 1, Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para mejorar la Accesibilidad. P. Ingavélez, J. R. Hilera y C. Timbi (Eds), pp. 93-100, 2016.
- [11] T. Li, X. Zhou, L. Xing, Y. Lee, M. Naveed, X.F. Wang, and X. Han. “Mayhem in the Push Clouds: Understanding and Mitigating Security Hazards in Mobile Push-Messaging Services”. In: Proc. The 21st ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS 2014), 3-7 Nov, Scottsdale, Arizona, pp. 978-989, 2014.
- [12] Tutorials Point. “Firebase”. 2017. Disponible en: [https://www.tutorialspoint.com/firebase/firebase\\_tutorial.pdf](https://www.tutorialspoint.com/firebase/firebase_tutorial.pdf)
- [13] I. Grigorik, I. *High Performance Browser Networking: What every web developer should know about networking and web performance*. O'Reilly Media, Inc., 2013.
- [14] BOE. (21 abril 2008). “Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad”, Naciones Unidas. Boletín Oficial del Estado, España, pp. 20648-20659. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2008/04/21/pdfs/A20648-20659.pdf>

# Caracterización bacteriológica y simulación con Visual Plumes en la descarga del emisario submarino de Gandía en la costa valenciana

## Bacteriological characterization and simulation with Visual Plumes in the marine outfall discharge of Gandía in the valencian coast

Alina E. Pascual Barrera

Departamento de Tutoría y Doctorados, Universidad Internacional Iberoamericana-UNINI, México

Autor de correspondencia: [alina.pascual@unini.edu.mx](mailto:alina.pascual@unini.edu.mx)

**RESUMEN**— La creciente demanda turística y el aumento de la contaminación en las zonas costeras exigen la realización de estudios muy precisos que consideren el uso de modelos numéricos capaces de simular el comportamiento de los agentes químico-biológicos en el medio y de cumplir con la normativa ambiental correspondiente. Tal es el caso del modelo Visual Plumes, el cual ha sido utilizado para simular la pluma del vertido procedente del emisario submarino de Gandía, en la costa valenciana. Para determinar la distribución espaciotemporal de la calidad bacteriológica del agua de mar en la zona del vertido, y en las playas cercanas al área de influencia, se realizaron una serie de medidas de campo en este emisario, cuyos resultados fueron evaluados dentro del marco de la Directiva Europea sobre política del agua que se encontraba vigente al momento de realizar las campañas. Los resultados indican que el contenido de coliformes fecales en la zona del vertido es superior al valor obligatorio (2000 UFC/100 ml), mientras que, en las playas cercanas al área de influencia, las concentraciones son inferiores a dicho valor, con algunos puntos que superan el valor guía (100 UFC/100 ml) establecido por la Directiva. Con la simulación numérica se determinó la dilución en la zona del campo cercano y la concentración de bacterias coliformes fecales y enterococos en la zona de playas fueron menores a los límites señalados en la normativa, estableciendo una simulación ideal con una dilución más alta y una menor concentración de bacterias en esta zona.

**Palabras clave**—Agentes químico-biológicos, campo cercano, Directiva Europea, emisario submarino.

**ABSTRACT**— The increasing tourist demand and the increase of the pollution in the coastal zones demand the realization of very precise studies that consider the use of numerical models capable of simulating the behavior of the chemical-biological agents in the environment and of complying with the corresponding environmental regulations. Such is the case of the Visual Plumes model, which has been used to simulate the plume of the spill from the submarine outfall of Gandía, on the Valencian coast. To determine the spatio-temporal distribution of the bacteriological quality of the seawater in the discharge area, and on the beaches near the area of influence, a series of field measurements were made in this outfall, whose results were evaluated within the framework of the European Directive on water policy that was in force at the time of campaigning. The results indicate that the content of fecal coliforms in the discharge area is higher than the mandatory value (2000 CFU / 100 ml), while, on the beaches near the area of influence, the concentrations are lower than this value, with some points that exceed the guide value (100 CFU / 100 ml) established by the Directive. With the numerical simulation the dilution was determined in the near field area and the concentration of fecal coliform bacteria and enterococci in the beach area were lower than the limits indicated in the regulations, establishing an ideal simulation with a higher dilution and a lower concentration of bacteria in this area.

**Keywords**— Chemical-biological agents, European Directive, near field area, marine outfall.

### 1. Introducción

Hoy en día, una herramienta útil para el diseño y estudio de los efectos que causan los vertidos al mar es la simulación numérica, la cual, debido a la creciente demanda turística y el aumento de la contaminación en las zonas costeras exige la realización de simulaciones muy precisas capaces de representar el comportamiento

de los agentes químico-biológicos en el medio y de cumplir con la normativa ambiental correspondiente.

Generalmente en zonas costeras, la alternativa de descarga más común es el vertido mediante un emisario submarino. Si este vertido presenta un alto contenido de agentes biológicos, será importante desarrollar técnicas de modelado que consideren la región del campo cercano (CC), es decir, la zona de mezcla inicial, ya que las

**Citación:** A. Pascual, "Caracterización bacteriológica y simulación con Visual Plumes en la descarga del emisario submarino de Gandía en la costa valenciana," *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (24-28), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 28 de febrero de 2018. **Recibido con correcciones:** 16 de agosto de 2018. **Aceptado:** 16 de octubre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/idt.v14.2.2070>

**Copyright:** 2018 A. Pascual. Apellido. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

bacterias presentan una tasa de decaimiento muy rápida en los ambientes marinos y solo una parte podría permanecer activa cuando comience el campo lejano (CL), también llamada región de dispersión pasiva, y sus características comienzan a ser menos importantes.

Esta es la situación que se presenta actualmente en el litoral valenciano, localizado al este de la península Ibérica y uno de los principales destinos turísticos del Mediterráneo, en donde la calidad de sus aguas ha sido considerada un indicador medioambiental para la caracterización de las zonas de baño. Sin embargo, las grandes cantidades de agua residual que se generan durante la época estival, debido a la creciente demanda turística y las actividades recreativas en la zona, y que son vertidas a través del emisario submarino, se han convertido en un problema de magnitud considerable.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de una serie de medidas de campo y simulación numérica realizados en la pluma del vertido del emisario submarino de Gandía, localizado en la costa de Valencia, España. Los datos simulados corresponden a la caracterización bacteriológica que fue determinada en esta zona a través de un estudio experimental donde se analizaron los procesos físicos, geoquímicos y biológicos involucrados en la dinámica de los ambientes costeros y la calidad del agua. Igualmente, se especifica la importancia en la selección del modelo Visual Plumes 1.0 [1], un modelo analítico de distribución libre recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, USEPA) que puede simular plumas de contaminantes que alcanzan la superficie. En este caso, el modelo fue empleado para determinar la dilución en la zona del campo cercano en la pluma del vertido del emisario submarino, garantizando una mayor dilución y, sobre todo, el cumplimiento con la Normativa Europea para la calidad de las aguas de baño.

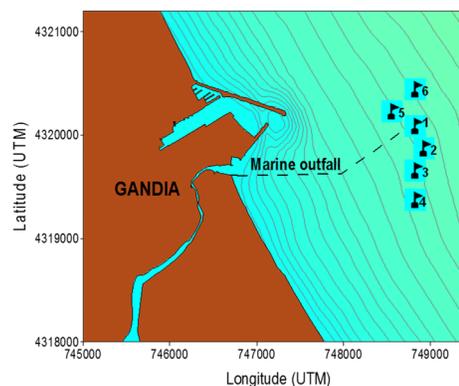
## 2. Área de estudio

Este trabajo se ha realizado en la zona de influencia del emisario submarino de Gandía, caracterizada por ser una zona con un ambiente micro mareal altamente influenciado por la descarga del emisario submarino, con comportamiento dependiente de la estación del año, ya que, durante el verano, con el aumento del turismo y las actividades recreativas se generan grandes cantidades de agua residual urbana que es descargada por esta vía al ambiente marino/costero.

Por este emisario submarino se descarga agua residual previamente tratada (tratamiento primario y secundario) a una distancia aproximada de 2000 m de la costa y a una profundidad aproximada de 17 m. Es un emisario que no presenta orificios difusores y la descarga se realiza por un solo orificio de salida.

## 3. Campañas de muestreo

Se realizaron 5 campañas de campo a lo largo de las diferentes estaciones del año, con puntos de muestreo distribuidos en la zona de influencia del vertido del emisario (figura 1) para obtener la caracterización bacteriológica del agua de mar y determinar la influencia que pudiera tener en la zona de las playas.



**Figura 1.** Estaciones de muestreo en la zona de influencia del emisario de Gandía.

Las muestras de agua fueron analizadas para determinar los diferentes grupos bacteriológicos (coliformes fecales y enterococos), utilizando el método de filtración por membrana [2]. Los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias por cada 100 ml de muestra (UFC/100 ml).

La calibración y validación del modelo se realizó con datos de campo. Los datos meteorológicos fueron obtenidos con una estación meteorológica colocada en el puerto de Gandía, mientras que los datos de corrientes se obtuvieron a partir de un correntímetro Doppler (ADCP) fondeado a 18 m de profundidad. Las profundidades que se consideraron fueron 0, 0.5, 1, 5, 10, 15 y 18 m. La frecuencia de muestreo fue de 10 minutos, con un período total de 42 horas y las unidades de velocidad son cm/s.

## 4. Resultados y Discusión

Los resultados correspondientes a la caracterización bacteriológica del agua de mar se presentan en la tabla 1,

con los valores máximos para los diferentes parámetros analizados. Una explicación más amplia de las campañas realizadas ha sido documentada en diferentes estudios llevados a cabo en la zona [3, 4, 5, 6, 7, 8].

**Tabla 1.** Valores máximos de bacteria coliformes

Campañas	Coliformes Fecales*	Coliformes Totales*	Enterococos*
Gandía I (abril)	6500	16000	183
Gandía II (julio)	<b>95000</b>	150000	2800
Gandía III (noviembre)	ND	116000	480
Gandía IV (mayo)	<b>9000</b>	14000	310
Gandía V (mayo)	1400	1800	47

\*UFC/100 ml; ND=no detectados

Las concentraciones de bacterias coliformes fecales (CF), totales (CT) y enterococos (E) fueron comparados con el valor establecido por la Directiva Europea para aguas de baño que se encontraba vigente durante las campañas (Directiva de Consejo 76/160/CEE y el Real Decreto 734/1988) [9]. Los resultados se compararon con el valor obligatorio y guía que establece esta Directiva para aguas de baño (tabla 2). Por lo tanto, a pesar de que los alrededores del punto de la descarga no se consideran como zona de aguas de baño, esta comparativa se realiza para tener una referencia de los niveles de contaminación en las inmediaciones del vertido.

Como puede observarse en la tabla 1, los valores máximos de coliformes fecales se determinan en las campañas de los meses de julio y mayo, con valores muy por encima de los permitidos por la normativa europea.

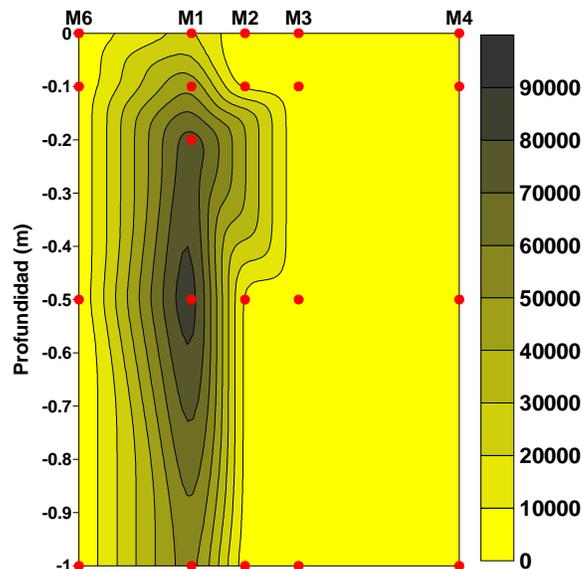
**Tabla 2.** Valores obligatorio y guía según la Directiva Europea para aguas de baño

Bacterias	Directiva Europea	
	Obligatorio	Guía
C. Fecales*	2000	100
C. Totales*	10000	500
Enterococos*	100	200

\*UFC/100 ml

Para la campaña del mes de julio, las concentraciones más altas de coliformes fecales se determinaron en la

estación señalada como M1 (figura 2), la cual presenta la mayor influencia del vertido, siendo a la profundidad de 0.5 m, ligeramente por debajo de la superficie, donde se determinan valores de 95000 UFC/100 ml.



**Figura 2.** Distribución vertical de coliformes fecales en la campaña del mes de julio en Gandía.

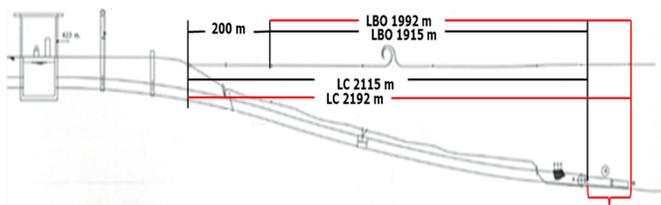
Los valores en M2 (160 – 780 UFC/100 ml) y M3 (78 – 420 UFC/100 ml) también exceden los valores de la normativa, debido, probablemente, a que se encuentran localizadas cerca de la zona de influencia de la descarga, mientras que en M4 (63 – 80 UFC/100 ml), M5 (8 – 31 UFC/100 ml) y M6 (16 – 28 UFC/100 ml) los valores son más bajos y no exceden estos límites. En el caso de los enterococos, solo en la estación M1 las concentraciones son superiores a los límites de la normativa, con un rango de valores de 1900-2600 UFC/100 ml, mientras que en los otros puntos las concentraciones no exceden estos límites.

Para la campaña del mes de mayo, con estaciones marcadas como H1-H6, las concentraciones de bacterias coliformes fueron más bajas que los valores encontrados en la campaña de julio. Las estaciones H6 (120 – 1400 UFC/100 ml), H1 (8 – 1600 UFC/100 ml) y H2 (22 – 630 UFC/100 ml) son las que presentaron los valores más altos para estas bacterias, debido a que están localizadas en la zona de mayor influencia del vertido que proviene del emisario submarino. También, estos valores son superiores al valor guía recomendado por la Directiva Europea.

Finalmente, las concentraciones de enterococos solo fueron determinadas en H1 (4- 36 UFC/100 ml), H2 (2 – 34 UFC/100 ml) y H6 (3 – 47 UFC/100 ml), con valores que no exceden los límites recomendados por la Directiva Europea para este tipo de bacterias.

La calibración del modelo considera el ajuste de los datos numéricos con los datos de campo, por lo tanto, se toman los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y los valores de corrientes necesarios para la simulación, con la finalidad de asegurar una dilución mayor de 100:1 en el momento en que la pluma alcanza la superficie.

Para verificar que se cumplan los objetivos de calidad de las aguas de baño definiendo la zona a proteger, que en este caso es la zona de la playa, se establece, considerando lo establecido en la Instrucción de Vertidos al Mar [10], una distancia de 200 m desde la costa hacia mar adentro como zona de baño, y considerando la longitud del emisario, se plantea como límite exterior de la zona de baño una distancia de 1915m y un límite costero de 2115m. Este dato es introducido al modelo esperando obtener, en estas zonas, la menor concentración de bacterias patógenas que cumplan con los valores establecidos en la legislación (figura 3).



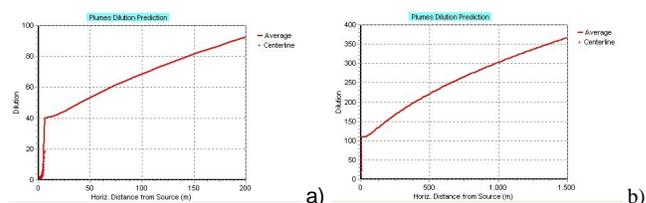
**Figura 3.** Límites para la zona de baño. LBO= Límite exterior de la zona de baño; LC= Límite costero.

Tomando en cuenta que el emisario submarino no presenta orificios difusores ni tampoco un tramo difusor, se establece una simulación a manera de comparar los resultados obtenidos con el Caso Real (CR) con una nueva simulación que incluya un tramo difusor con 25 orificios difusores, con la finalidad de observar una mayor dilución en la pluma del vertido. Esta simulación fue nombrada Caso Ideal (CI). Los resultados de estas simulaciones se observan en la tabla 3, mientras que en la figura 4 se observan los gráficos de dilución que alcanza la pluma del vertido.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos en la simulación del Caso Real y Caso Ideal con coliformes fecales y enterococos

	Caso Real	Caso Ideal
Dilución media de la pluma	40.26	108.6
Conc. de Colif. Fecales*	9000	3297.9
Conc. de Enterococos*	280	101.8

\*UFC/100 ml



**Figura 4.** Dilución al alcanzar la superficie para la simulación del Caso Real (a) y Caso Ideal (b).

Al incluir un tramo difusor con 25 orificios difusores, la dilución es mayor comparada con el Caso Real, así como también disminuye la concentración de bacterias en superficie.

## 5. Conclusiones

Durante el verano la costa valenciana incrementa su población al ser uno de los principales destinos turísticos en el Mediterráneo, ocasionando el aumento en el volumen de agua residual que es descargado al mar a través de los emisarios submarinos, convirtiéndose en un problema de magnitud considerable.

La concentración de coliformes fecales en el área de influencia de la descarga del emisario de Gandía son imperativamente más altas que los valores que recomienda la Directiva Europea para calidad de las aguas de baño.

Los análisis de calidad de agua y simulación numérica realizados en la zona del vertido del emisario submarino de Gandía permitieron evidenciar que la introducción de agua residual en esta zona somera, con hidrodinámica suave y diferentes condiciones de vertido, generan una serie de afecciones significativas a corto-medio plazo sobre este ecosistema costero.

Con el modelo Visual Plumes, se obtuvieron concentraciones de bacterias coliformes fecales y enterococos en la zona de playas, menores a los límites que establece la normativa para aguas de baño, siendo que la simulación del Caso Ideal (CI) presentó la dilución más alta y la menor concentración de bacterias en esta zona. Por lo tanto, esta simulación se puede establecer

como una alternativa de mejora para el diseño y el vertido del emisario submarino de Gandía.

## 6. Referencias

- [1] Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J., Baumgartners, D.J., George, G.P., (2001). "VISUAL PLUMES MANUAL: "Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)". Environmental Research Division, NERL, ORD. U.S. Environmental Protection Agency.
- [2] APHA (1998) Standard Methods for the examination of water and waste water American Public Health Association. 874pp.
- [3] Pascual A., (2013). Estudio numérico – experimental de la dispersión de efluentes de emisarios submarinos en la costa valenciana. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- [4] Mösso, C., Cateura, J., Sierra, J.P., Cupul, L., González-Marco D. and Puigdefábregas, J., (2004). Campañas de Campo ECOSUD. Informe de Vientos, Corrientes y Calidad del Agua. Report LIM/AHC-04-02, 45 pp.
- [5] Mösso C., Sierra J.P., Mestres M., Cupul L., Falco S., Rodilla M., Sánchez-Arcilla A. and González del Río J. (2005). Topography Influence on the Wind-Induced Hydrodynamics in Cullera Bay. Journal of Coastal Research, Special Issue.
- [6] Mösso, C., Sierra, J.P., Mestres, M., Cupul, L., Falco, S., Rodilla, M., Sánchez-Arcilla, A., and González del Río, J., (2007). The Influence of Topography on Wind-induced Hydrodynamics in Cullera Bay. Journal of Coastal Research, SI (47), 17-30. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- [7] Mestres M., Sánchez-Arcilla A., Sierra J.P., Mösso C., González del Río J. and Rodilla M. (2004). Basis and tools for a sustainable development of estuaries and coastal areas. A case of study from Cullera Bay. Management of Environmental Quality: An International Journal, 15(1), 25-32.
- [8] Falco, S., Hermosilla, Z., Romero, I., Martínez, R., Sierra, J.P., Mösso, C. and Mestres, M., (2007). Spatial and Temporal Patterns of Water Quality in Cullera Bay. Journal of Coastal Research, Special Issue (47), 41-47. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- [9] Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2006/7/CEE, de 15 de febrero de 2006 relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE Diario Oficial de la Unión Europea L 64/37.
- [10] Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, (2011). Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental. Secretaria de Estado de Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Abril, 2011.

# Estudio del concreto de alta resistencia con el uso de cenizas de materiales orgánicos y polímeros

## Study of high strength concrete with the use of organic material ash and polymers

Lidia I. Aizpurúa<sup>1\*</sup>, Genneva M. Moreno<sup>1</sup>, Karen Caballero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación CITEC, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [aizpurua.lidia@gmail.com](mailto:aizpurua.lidia@gmail.com)

**RESUMEN**— El concreto de alta resistencia es uno de los avances más destacados en la industria de la construcción debido a sus múltiples ventajas, sin embargo, también presenta características desfavorables como la fragilidad. Se evaluó el efecto combinado de la adición de caucho y cenizas procedentes de materiales orgánicos al concreto de alta resistencia con el objetivo de mejorar sus propiedades, principalmente la resistencia a compresión y la ductilidad. Estudios previos demuestran que las cenizas de materiales orgánicos contribuyen a aumentar la resistencia a compresión, mientras que el caucho reduce la fragilidad del concreto de alta resistencia. La proporción de cenizas estuvo basada en el peso del cemento, mientras que la dosificación de caucho se hizo con base en el peso total de la mezcla de concreto. La investigación se desarrolló en dos fases; durante la primera de ellas se realizaron pruebas de resistencia a compresión de cilindros de concreto para dos proporciones de ceniza de cáscara de huevo (1.5% y 2.0%), dos proporciones de ceniza de cascarilla de arroz (1.5% y 2.0%), además de la mezcla base para determinar el porcentaje óptimo de ceniza. En la segunda fase, se ensayaron especímenes cilíndricos para determinar la resistencia a compresión, y viguetas para determinar la capacidad de carga a flexión y deformación, para cinco mezclas de concreto con la adición del porcentaje óptimo de ceniza determinado en la fase anterior y la adición de caucho molido en proporciones de 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%.

**Palabras clave**— Cáscara de arroz, cáscara de huevo, caucho, ceniza, concreto de alta resistencia, ductilidad.

**ABSTRACT**— High strength concrete is one of the most noteworthy breakthroughs in the construction industry due to various benefits, nonetheless, it also exhibits some adverse traits such as fragility. The combined effect of the addition of rubber and organic material ash to high strength concrete was evaluated, with the aim to enhance its properties, primarily its compressive strength and ductility. Previous studies demonstrate that organic material ash increases compressive strength, while rubber reduces the fragility of high strength concrete. Eggshell ash was added by weight of cement, and rubber was added by total weight of concrete. The research process was divided in two phases; during the first phase, cylindrical specimens were subjected to compressive strength tests for two proportions of eggshell ash (1.5% and 2.0%), two proportions of rice husk ash (1.5% and 2.0%), and the reference mixture, in order to determine the optimum content of ash. During the second phase, cylindrical specimens were tested to determine the compressive strength, and beams were tested to determine the flexural strength and deformation capacity, for five concrete mixtures with the addition of the optimum content of ash determined in the previous phase and the addition of crumb rubber in proportions of 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0%.

**Keywords**— Rice husk, eggshell, rubber, ash, high strength concrete, ductility.

### 1. Introducción

El concreto de alta resistencia es definido por el ACI 211.4R-08 como aquel cuya resistencia especificada supera los 40 MPa [1]. En la actualidad, el concreto de alta resistencia es reconocido por los ingenieros diseñadores como un material con gran rendimiento, ya que se ha logrado la construcción de estructuras mucho más esbeltas, lo que se traduce en mayores espacios y ganancias para los propietarios de edificios. Además, ha permitido que el proceso de desencofrado de las estructuras se realice mucho antes, lo cual también representa una enorme ventaja.

Por otro lado, se ha hecho posible la construcción de estructuras de mayor altura, aumentando la rigidez de las mismas y reduciendo las deformaciones de los elementos. El incremento en la rigidez lateral de los edificios, reduce el balanceo causado por las cargas de viento y permite un mayor nivel de comodidad para los ocupantes.

Se ha observado también que el uso de este tipo de concreto permite la incorporación de estructuras de acero mucho más livianas, lo que disminuye la carga muerta de los edificios y permite que pueda construirse sobre suelos con menor capacidad de soporte.

**Citación:** L. Aizpurúa, G. Moreno y K. Caballero, "Estudio del concreto de alta resistencia con el uso de cenizas de materiales orgánicos y polímeros", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (29-37), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 28 de febrero de 2018. **Recibido con correcciones:** 16 de octubre de 2018. **Aceptado:** 16 de octubre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/iddt.v14.2.2071>

**Copyright:** 2018 L. Aizpurúa, G. Moreno y K. Caballero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

A pesar de todas las ventajas mencionadas, al utilizar concreto de alta resistencia debe tomarse en consideración que este material presenta gran fragilidad. Tal característica adversa es una de las razones por las cuales en ocasiones se descarta su uso, ya que los materiales frágiles son propensos a fallar de manera abrupta, contrario a lo que ocurre con un material dúctil donde posibilidad de falla es evidenciada por deformaciones en la estructura.

En la presente investigación se ha decidido utilizar cenizas de cáscara de huevo, cenizas de cascarilla de arroz, y caucho molido para mejorar las características del concreto de alta resistencia.

Las cenizas de cáscara de huevo y de cascarilla de arroz han sido utilizadas como adición al concreto normal, obteniéndose resultados favorables de incremento en la resistencia a compresión [2]. Las cenizas de cáscara de huevo son ricas en óxido de calcio (CaO), el cual es fundamental en la producción de los principales compuestos cementantes encargados de conferir sus propiedades al cemento Portland y del desarrollo de su resistencia [3]. Por otra parte, las cenizas de cascarilla de arroz presentan un gran nivel de actividad puzolánica debido a su alto contenido de sílice (SiO<sub>2</sub>).

Por otro lado, se ha observado que el concreto con adiciones de caucho presenta mayor ductilidad y capacidad de disipación de energía [4]. Este fenómeno se debe a las propiedades elásticas que exhibe dicho material.

El objetivo de la investigación es estudiar el efecto de la adición de caucho y cenizas de materiales orgánicos en la resistencia a compresión y la capacidad de deformación del concreto de alta resistencia. En la actualidad se dispone de pocos estudios y normas enfocados en las propiedades del concreto de alta resistencia, y por esta razón, se espera que con los resultados de la presente investigación sea posible actualizar y ampliar el conocimiento y las normativas de construcción referentes al tema.

El presente artículo inicia con una descripción de la metodología empleada para la dosificación de las adiciones en cada fase del estudio. Posteriormente, se detallará el procedimiento utilizado para los ensayos durante la campaña experimental, y finalmente se analizarán los resultados obtenidos para plantear las conclusiones.

## 2. Metodología

El procedimiento experimental utilizado se divide en dos fases. La Fase I se centra en la selección de los porcentajes óptimos de ceniza; tanto de cáscaras de huevo como cascarilla de arroz. La segunda fase tendrá por objetivo la utilización de los porcentajes óptimos de cada tipo de ceniza, adicionando además diferentes porcentajes de caucho.

Se ha demostrado que la adición de cenizas tanto de cáscaras de huevo como cascarilla de arroz en proporciones de 0.5% a 2.0% presentan mejoras en cuanto a la ganancia de resistencia a compresión en el concreto normal, generando aumentos de resistencia de 20% a 25% [3]. A partir de esto se establecen las dos proporciones a utilizar de cada tipo de ceniza (1.5% y 2.0%) durante la primera fase, se escogerá el porcentaje óptimo de cada tipo de ceniza que brinde los mejores resultados en cuanto a la resistencia a compresión.

Por otro lado, se han realizado estudios experimentales sobre la adición de caucho reciclado de neumáticos a las mezclas de concreto, donde por eficiencia de trabajabilidad y propiedades mecánicas que presenta el concreto, las adiciones de caucho a las que se limitaron fueron de 3.5% y 5% en volumen del concreto, limitándose hasta un 8% de adición caucho [5]. Con la finalidad de conocer el comportamiento del concreto de alta resistencia con la adición de caucho y basándonos los resultados de investigaciones previas como la antes citada, se establece en esta investigación que la dosificación para el caucho en la mezcla de concreto será de cuatro porcentajes distintos: 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del peso del concreto. Esta adición de caucho corresponde a la segunda fase de esta investigación donde además de la incorporación de estas fibras se incluirá el porcentaje de ceniza óptimo obtenido, tanto para la ceniza de cáscaras de huevo como para la ceniza de cascarilla de arroz y que serán escogidos a partir de los ensayos realizados en la primera fase.

## 3. Programa Experimental

Se detalla el procedimiento de obtención de las cenizas y los ensayos normalizados utilizados para la obtención de resultados.

### 3.1 Obtención de la ceniza

El procedimiento de obtención de cada tipo de ceniza depende de la naturaleza de la misma. Durante este estudio se realizaron diferentes procesos para obtener la cantidad y calidad de la ceniza requerida. Los mismos se especifican a continuación.

#### 3.1.1 Ceniza de cáscaras de huevo

Para la obtención de las cenizas de cáscaras de huevo, se procede a secar las cáscaras de manera natural al sol. Luego de esto se trituran parcialmente para que el tiempo de incineración sea menor, ya que el tamaño influye grandemente en el tiempo que demora este proceso.

Finalmente se incineran durante aproximadamente tres horas hasta obtener un polvo de color gris. Posterior a la calcinación de las cáscaras de huevo, la ceniza obtenida aún no tiene el tamaño adecuado, por lo que se procede a la maceración de la misma con la utilización de un mortero con pistilo para reducir el tamaño y obtener una mayor finura en la ceniza.

La figura 1 muestra el aspecto de las cenizas inmediatamente después de su calcinación y luego de ser macerada.



**Figura 1.** Ceniza de cáscaras de huevo posterior de su calcinación (izquierda) y ceniza de cáscara de huevo macerada hasta obtener la finura óptima (derecha).

#### 3.1.2 Ceniza de cascarilla de arroz

La cascarilla fue obtenida de un molino de la localidad donde ya estaba previamente incinerada; sin embargo, debido a que presentaba un alto porcentaje de humedad se procedió a secarla en un horno eléctrico durante aproximadamente 24 horas, obteniendo una ceniza con buen nivel de finura como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Ceniza de cascarilla de arroz con porcentaje de humedad (izquierda) y ceniza de cascarilla de arroz después de 24 horas en el horno eléctrico (derecha).

### 3.2 Ensayos Normalizados

Se describen a continuación las normas bajo las cuales se realizaron los ensayos normalizados de los especímenes fabricados durante esta investigación.

#### 3.2.1 Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto según la Norma ASTM C 39-17b

Este método permite determinar la resistencia a la compresión del concreto aplicando una carga axial a los especímenes cilíndricos y luego se calcula su resistencia, dividiendo la carga soportada entre el área de la sección transversal [6].

#### 3.2.2 Resistencia a la flexión en viguetas de concreto según la Norma UNE-EN 14651:2007

Norma europea utilizada para determinar la resistencia a la tracción por flexión del concreto con fibras metálicas no mayores de 60 mm. Dicha Norma permite que se pueda medir por medio de un sensor de desplazamiento lineal la abertura provocada por la carga aplicada justamente a la mitad de la vigueta.

Para realizar este ensayo se debe efectuar una entalla a las probetas utilizando un método de aserrado tipo húmedo. El transductor de desplazamiento lineal se debe instalar a lo largo del eje longitudinal, en la mitad de la anchura de la vigueta y en el centro de la entalla de modo que permita medir los desplazamientos producidos por la carga aplicada, como se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Colocación del sensor de desplazamiento lineal sobre la vigueta.

La vigueta deberá ser colocada sobre rodillos que deben ser de acero, emulando una viga simplemente apoyada. La distancia a la que se colocaran los rodillos será de 25 mm medidos a partir del borde. Una vez colocada la vigueta de manera correcta se procede a aplicar la carga justo en el centro del vano [7].

### 3.2.3 Resistencia a compresión de cubos de mortero según la Norma ASTM C 109-16a

Describe el método para elaborar cubos de mortero y ensayarlos adecuadamente [8]. En el presente estudio, se requiere determinar la resistencia a compresión del mortero base y el mortero adicionado con cenizas de cáscara de huevo, para comparar el aumento de resistencia causado únicamente por las cenizas orgánicas ensayándolos a los 7, 14 y 28 días.

## 4. Análisis de resultados

Los resultados se presentan en dos fases. La primera fase consiste en ensayos de resistencia a compresión realizada a las mezclas que contienen cenizas de cáscara de huevo y cascarilla de arroz. La segunda fase comprende ensayos de resistencia a compresión y flexión para mezclas de concreto con adición de cenizas de materiales orgánicos y caucho.

### 4.1 Fase I

Se centra en la selección de los porcentajes óptimos de ceniza; tanto de cáscaras de huevo como cascarilla de arroz. A partir de las dos proporciones antes establecidas (1.5% y 2.0%), se escogerá el porcentaje de cada material que brinde los mejores resultados en cuanto a la resistencia a compresión.

Cabe destacar que durante la investigación por conveniencia se utilizarán algunas abreviaturas que

permitirán facilitar la redacción y comprensión de esta investigación como se especifica a continuación:

B = Mezcla base sin adición de ceniza

1.5H = Mezcla con 1.5% ceniza de cáscaras de huevo

2.0H = Mezcla con 2.0% ceniza de cáscaras de huevo

1.5A = Mezcla con 1.5% ceniza de cascarilla de arroz

2.0A = Mezcla con 2.0% ceniza de cascarilla de arroz

3.0A = Mezcla con 3.0% ceniza de cascarilla de arroz

### 4.1.1 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto

La tabla 1 muestra los resultados de las fallas observadas en los cilindros de concreto ensayados durante esta fase.

**Tabla 1.** Tipo de falla de cilindros a 7 y 28

Denominación	Tipo de Falla	
	7 días	28 días
B	5	EXP
	5	EXP
1.5H	5	5
	5	EXP
2.0H	5	EXP
	EXP	-
1.5A	5	5
	5	5
2.0A	5	EXP
	5	EXP
3.0A	5	EXP
	5	EXP

Como se puede observar la mayoría de los cilindros presentaron un tipo de falla especificado como tipo V en la norma ASTM C 39-17b [9], a los 7 días tanto en los cilindros con adición de cenizas como para la mezcla base. Posteriormente a la edad de 28 días se presentó una falla especificada como tipo explosivo (EXP) no descrita en la norma, este comportamiento puede ser atribuido a la naturaleza frágil del concreto de alta resistencia y a las elevadas cargas aplicadas sobre los cilindros, lo que provoca que en este caso falle el agregado grueso y no la pasta como ocurre en el concreto normal.

La figura 4 muestra la comparación entre una falla tipo V observada a los 7 días y una falla tipo explosivo presentada a los 28 días.



**Figura 4.** Falla tipo V mezcla con 1.5A a los 7 días (izquierda) y falla tipo EXP en mezcla 2.0H a los 28 días.

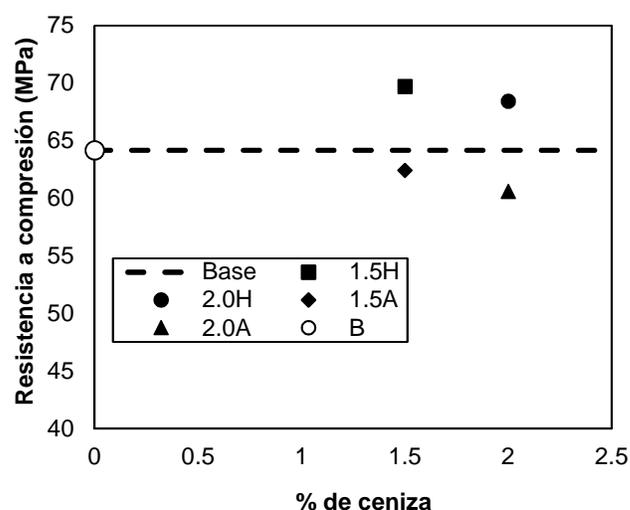
La tabla 2 muestra la resistencia a compresión promedio presentada por los cilindros ensayados a los 28 días y el porcentaje de aumento de la resistencia respecto a la mezcla base.

Como puede observarse en la tabla, el aumento en cuanto a la resistencia a compresión lo brinda la ceniza de cáscaras de huevo, ya que al adicionar ceniza de cascarilla de arroz se produjo disminución respecto a la mezcla base. Para comprobar este hecho se utilizó un nuevo porcentaje de ceniza (3.0A) con el cual se pudo ver que a medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz la resistencia a compresión disminuye.

**Tabla 2.** Esfuerzo a compresión en cilindros de concreto a los 28 días de edad

Mezcla	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Promedio (MPa)	% de aumento o disminución de la resistencia respecto a B
B	63.61	64.17	-
	64.73		
1.5H	70.99	69.70	8.62
	68.41		
2.0H	68.41	68.41	6.61
1.5A	62.42	62.42	-2.73
	62.41		
2.0A	59.98	60.59	-5.58
	61.21		
3.0A	59.77	59.01	-8.04
	58.26		

La figura 5 muestra de manera gráfica el comportamiento de la resistencia a compresión de los cilindros de concreto tanto para la mezcla base como para las mezclas adicionadas con cenizas. Se puede observar de manera clara cómo las adiciones de ceniza de cáscaras de huevo provocan el aumento de la resistencia a compresión respecto a la mezcla base y cómo la adicción de ceniza de cascarilla de arroz provoca la disminución de la resistencia. En base a esto se toma la decisión de no utilizar ningún tipo de adición de ceniza de cascarilla de arroz durante la fase II y se escoge como porcentaje óptimo de ceniza 1.5H el cual registra un aumento de la resistencia a compresión de 8.62% de la misma respecto a la mezcla B.



**Figura 5.** Resistencia a compresión a los 28 días.

#### 4.1.2 Ensayo de resistencia a la compresión de cubos de mortero

Para conocer el aporte que brinda la ceniza en cuanto al aumento de la resistencia a compresión se ensayaron cubos de mortero. Los mismos se realizaron mediante una mezcla base sin adición de cenizas y para una mezcla con adición del porcentaje óptimo de cenizas de cáscaras de huevo (1.5%), lo que permitirá estudiar el aporte de las cenizas solo como mortero.

La tabla 3 muestra los resultados de los ensayos realizados a los 7, 14 y 28 días, se puede observar claramente que a edades tempranas la ceniza aun no aporta en cuanto al aumento de la resistencia a compresión, este aumento de resistencia se ve reflejado en edades posteriores como se pudo constatar donde los cubos de mortero que contenían adición de ceniza de

cáscaras de huevo presentaban aumento en cuanto a la resistencia a compresión respecto a la mezcla base.

**Tabla 3.** Resistencia a compresión en cubos de mortero para mezcla base y porcentaje óptimo de cenizas de cáscaras de huevo

Edad	Mezcla	Fuerza (N)	Esfuerzo Promedio (MPa)
7 días	B	27066.35	10.92
		27556.69	
	1.5H	27458.62	10.61
		25595.36	
14 días	B	35274.52	14.12
		32332.53	
	1.5H	34852.83	14.25
		36392.48	
28 días	B	39658.09	16.46
		42639.31	
	1.5H	42649.12	17.25
		43600.37	

## 4.2 Fase II

A partir de la selección del porcentaje óptimo de ceniza determinado durante la primera fase, se procede a estudiar el comportamiento de las mezclas de concreto de alta resistencia mejoradas con ceniza al agregarle determinados porcentajes de caucho molido.

Se realizaron ensayos de resistencia a compresión para cilindros de concreto y de resistencia a flexión para viguetas, en 5 amasadas que contienen 1.5% de ceniza de cáscara de huevo (H) con base en el peso del cemento y porcentajes variados de caucho molido (C) (0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%) con base en el peso total de la mezcla de concreto.

### 4.2.1 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto

En la tabla 4 se muestra el tipo de falla de los cilindros a ambas edades. Se aprecia que en los especímenes de la mezcla base se produjo una falla de tipo explosivo (EXP) la cual se debe a que la pasta del concreto de alta resistencia es más fuerte que los agregados, y por tal razón, la falla ocurre con una gran liberación de energía al romperse el agregado.

**Tabla 4.** Tipo de falla de cilindros a 7 y 56 días

Denominación	Tipo de falla a 7 días	Tipo de falla a 56 días
Base (1.5H)	5	2
	EXP	EXP
1.5H+0.5C	5	5
	5	5
1.5H+1.0C	5	5
	3	5
1.5H+1.5C	3	5
	5	5
1.5H+2.0C	5	5
	5	5

Por otro lado, se observa que las mezclas que contienen caucho fallan según los patrones típicos descritos en la norma ASTM C 39-17b [6]. El caucho evita la falla explosiva ya que las partículas de este material contribuyen a la disipación energética y redirigen los esfuerzos que ocasionan la ruptura del cilindro. Esto quiere decir que la adición de caucho contribuye a reducir la fragilidad del concreto de alta resistencia.

La figura 6 muestra una comparación entre una falla de tipo explosivo y una falla típica.



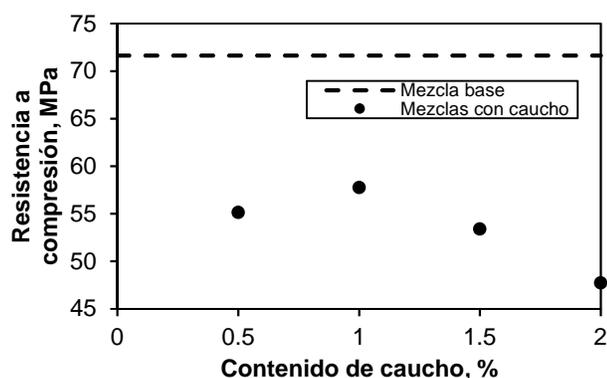
**Figura 6.** Falla explosiva de cilindro 1.5H (izquierda) y falla tipo 5 de cilindro 1.5H+0.5C (derecha).

La tabla 5 presenta la resistencia a compresión promedio de cada mezcla a los 56 días. Se observa que al agregar caucho al concreto, se reduce su resistencia a compresión. Este fenómeno se debe a la falta de adherencia entre el caucho y la pasta de cemento [9].

**Tabla 5.** Resistencia a compresión a los 56 días

Denominación	Resistencia promedio (MPa)	Reducción con respecto a la base
Base (1.5H)	71.63	---
1.5H+0.5C	55.13	23.0%
1.5H+1.0C	57.77	19.3%
1.5H+1.5C	53.41	25.4%
1.5H+2.0C	47.73	33.4%

Por otro lado, en la figura 7 es posible observar que existe una tendencia en el comportamiento de la resistencia a compresión a medida que se adiciona caucho al concreto. El resultado más favorable se obtiene al agregar 1.0% de caucho, con una reducción en resistencia a compresión de 19.3% con respecto a la mezcla base. A partir de allí, cualquier aumento en el contenido de caucho ocasiona mayor reducción en la resistencia y por tanto no es factible.

**Figura 7.** Resistencia a compresión a los 56 días.

#### 4.2.2 Ensayo de resistencia a flexión de viguetas de concreto

Mediante este ensayo se determinó la carga a flexión que soportaban las viguetas, así como la abertura de fisura o desplazamiento al momento de la falla. El desplazamiento es una medida de la capacidad de deformación del concreto, con lo cual será posible determinar su ductilidad o fragilidad.

En la tabla 6 se presenta un resumen del comportamiento observado en las viguetas durante los ensayos de flexo-compresión. Cuando se habla de falla “completa”, se refiere a que la línea de falla se propagó a lo largo de toda la sección de la viga, quedando completamente separada, mientras que falla “incompleta” indica que la viga quedó unida en la

parte superior. El término “desviada” indica que la línea de falla zigzagueaba, contrario a cuando la viga se rompía siguiendo la línea central.

**Tabla 6.** Tipos de falla de las viguetas

Denominación	Descripción de la falla
Base (1.5H)	Completa, central
1.5H+0.5C	Completa, desviada
1.5H+1.0C	Completa, desviada
1.5H+1.5C	Incompleta, desviada
1.5H+2.0C	Incompleta, desviada

Se pudo detectar que las viguetas de la mezcla base (1.5H) presentaron una fractura abrupta dirigida a través del centro de la misma. Esto se justifica debido a que el concreto de alta resistencia es un material frágil y la viga no contenía ninguna adición que pudiese ayudar a soportar el esfuerzo en tensión.

Por otro lado, a medida que se ensayaban las viguetas con contenido de caucho se pudo definir un patrón, todas fallaban de manera gradual, lo cual se evidencia en una desviación de la línea de falla con respecto al centro de la viga. Además, las viguetas con menor contenido de caucho (1.5H+0.5C y 1.5H+1.0C) quedaron separadas, mientras que aquellas con mayor contenido de caucho (1.5H+1.5C y 1.5H+2.0C) presentaron una falla incompleta. Las propiedades elásticas de las partículas de caucho son el factor responsable de este comportamiento debido a que las mismas se estiran ofreciendo resistencia a la propagación de la línea de falla.

En la figura 8 se muestra una comparación entre la falla de la viga de la mezcla base y una viga con contenido de caucho.

Al analizar la carga a flexión soportada por las viguetas, se observa que aquellas mezclas que contienen caucho presentan reducción en la resistencia a flexión. Este comportamiento también se debe a la falta de adherencia entre la pasta de cemento y el caucho, como se mencionó en el caso del ensayo de resistencia a compresión. El resultado más favorable se obtiene con la proporción de 2.0% de caucho, como se observa en la tabla 7.

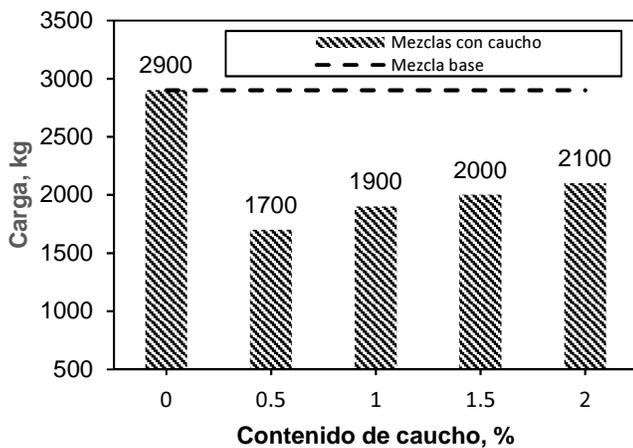


**Figura 8.** Falla completa y dirigida a lo largo de la línea central en la vigueta de mezcla base (izquierda). Falla incompleta y desviada en vigueta de mezcla 1.5H+2.0C (derecha).

**Tabla 7.** Carga a flexión soportada por las viguetas

Denominación	Carga (kg)	Reducción en carga (%)
Base (1.5H)	2900	---
1.5H+0.5C	1700	41.4
1.5H+1.0C	1900	34.5
1.5H+1.5C	2000	31.0
1.5H+2.0C	2100	27.6

En la figura 9 se puede observar que después de la reducción inicial en resistencia a flexión con respecto a la mezcla base, a medida que se incrementa el contenido de caucho, se obtiene un mejor desempeño.



**Figura 9.** Carga a flexión soportada por las viguetas.

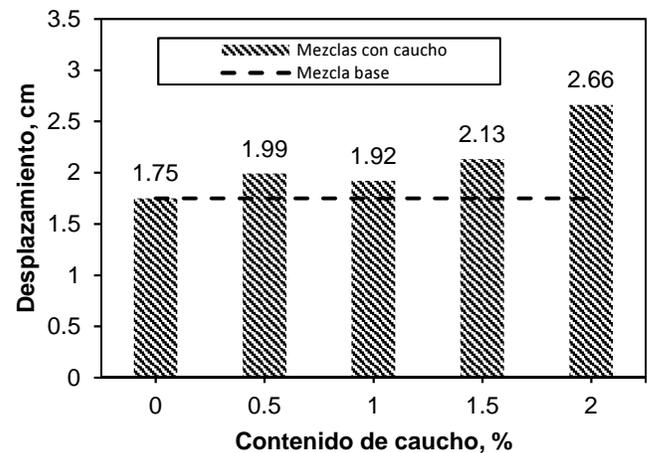
En cuanto a la capacidad de deformación, en la tabla 8 es posible observar que la adición de caucho aumenta significativamente la magnitud del desplazamiento que alcanzan las viguetas en el momento de la falla. El

resultado más favorable se obtiene con la mezcla de mayor contenido de caucho (1.5H+2.0C).

**Tabla 8.** Capacidad de deformación de las viguetas

Denominación	Desplazamiento (cm)	Aumento en desplazamiento (%)
Base (1.5H)	1.75	---
1.5H+0.5C	1.99	13.7
1.5H+1.0C	1.92	9.7
1.5H+1.5C	2.13	21.7
1.5H+2.0C	2.66	52.0

Además, cabe resaltar que la capacidad de deformación de todas las viguetas que contienen adición de caucho es mayor que la capacidad de la mezcla base. Como se aprecia en la figura 10, es posible definir una tendencia a mayor capacidad de deformación a medida que aumenta el porcentaje de caucho en la mezcla de concreto. Las propiedades elásticas de las partículas de caucho hacen posible que el concreto alcance mayores deformaciones antes de que ocurra la falla, es decir, que aumenta su ductilidad.



**Figura 10.** Capacidad de deformación de las viguetas.

## 5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos ha sido posible plantear las siguientes conclusiones:

- El concreto de alta resistencia mejorado con cenizas de cáscara de huevo presentó un incremento de resistencia a compresión. Esto se debe a que la ceniza de cáscara de huevo es rica en óxido de calcio (CaO), el cual es fundamental para la formación de los

compuestos cementantes responsables del desarrollo de resistencia del cemento. La proporción óptima de ceniza de cáscara de huevo es 1.5%.

- La adición de ceniza de cascarilla de arroz reduce la resistencia a compresión del concreto.
- El concreto con adición de caucho presenta una disminución en la resistencia a compresión y a flexión. Esto se debe a la falta de adherencia entre el caucho y la pasta de cemento.
- El caucho reduce la fragilidad del concreto de alta resistencia. Esto se observa en el tipo de falla de los cilindros y las viguetas, y se comprueba con el aumento en la capacidad de deformación de las viguetas. En este sentido, la proporción de 2.0% de caucho es la más favorable.

## 6. Referencias

- [1] *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials*, ACI 211.4R-08, 2008.
- [2] E. Moreno y C. Velásquez, “Estudio experimental en la mejora de la resistencia del concreto con la adición de cenizas de materiales orgánicos,” Trabajo de fin de carrera, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2016.
- [3] M. Fernández. *Hormigón*. Madrid: Servicio de Publicaciones – Colección Escuelas, 2007.
- [4] H. Toutanji, “The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates,” *Cement & Concrete Composites*, vol. 18, pp. 135-139, 1996.
- [5] Witoszek, B., Hernández, F., Alonso, M., Bollati, M., Parga, B., Barluenga, G., y Benito. C. “Hormigón con el caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firme de hormigón de caucho”. VI Congreso Nacional de Firmes. León, España, 641-656.
- [6] *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM C 39-17b, 2017.
- [7] *Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión*, UNE-EN 14651, 2007.
- [8] *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2 inch or 50 mm Cube Specimens)*, ASTM C 109-16a, 2016.
- [9] S. Wong y S. Ting, “Use of recycled rubber tires in normal and high-strength concretes,” *ACI Materials Journal*, vol. 106, no. 4, 2009.

## Selección de tecnología empresarial: una revisión desde literatura

### Enterprise technology selection: a literature review

Julián Alberto Uribe Gómez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de ciencias económicas y administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, Colombia

\*Autor de correspondencia: [julianuribe@itm.edu.co](mailto:julianuribe@itm.edu.co)

**RESUMEN**— La selección de tecnologías es un tópico que se articula con el área de la ingeniería llamada gestión o administración tecnológica, cuya finalidad es estudiar y proponer las mejores prácticas de selección de bienes tecnológicos bajo criterios que optimicen los recursos empresariales, por lo que el objetivo principal de este artículo es realizar una revisión de literatura sobre los métodos de selección de tecnología, enumerando los más conocidos y ejemplificando algunos de estos, donde se presente su eficacia. La metodología utilizada en esta búsqueda fue una revisión en diferentes bases de datos con el fin de recopilar casos de estudio y de éxito, así como fusión entre diferentes métodos y puntos de vista. Dicha revisión y la búsqueda permitieron recopilar y clasificar estos métodos, no obstante, ningún método es infalible o indispensable, ya que siempre hará falta la experiencia del análisis heurístico.

**Palabras clave**— *selección, tecnologías, gestión, innovación, modelos, estrategia, políticas.*

**ABSTRACT**— The selection of technologies is a topic that is articulated with the area of engineering called management of technology, whose purpose is to study and propose the best practices of selection of technological goods under criteria that optimize business resources, so the main objective of this article is to carry out a literary review on the selection methods, enumerating the best known methods and exemplifying some of these and their effectiveness. The methodology used in this search was a revision in different databases in order to collect cases of study and success, as well as a fusion between different methods and points of view. This revision and the search allowed to compile and classify these methods, however, no method is infallible or indispensable, since the experience of the heuristic analysis will always be needed.

**Keywords**—*selection, technology, management, innovation, model, strategy, politics.*

### 1. Introducción

La selección de tecnologías se puede considerar como uno de los tres conceptos de mayor importancia en la gestión tecnológica [1], esto se debe principalmente a que los ambientes empresariales se complejizan cada vez más. Esto representa un reto importante, ya que en un mundo globalizado, las empresas necesitan ser más competitivas y esto se puede lograr a través de criterios definidos que lo permitan, así, la selección de tecnologías ayudan a tomar decisiones entre tecnologías emergentes, cuyo foco se centra en complejidad de la evaluación que incluye aspectos estratégicos y operativos [2].

En la gestión tecnológica se podrían nombrar numerosas herramientas que permiten al profesional de tecnología decidir correctamente. Una de estas herramientas es el portafolio de métodos para estrategia y selección de tecnologías [3], la cual en términos generales se centra en la administración de tecnologías dentro de la organización evaluando aspectos como: capacidades, costos y eficiencias [4]. Ahora, seleccionar la tecnología correcta es siempre una tarea difícil para las

organizaciones, debido principalmente a que estas se están incrementado en número y en complejidad [5], esto conlleva a que la toma de decisiones empresariales se torne una tarea exhaustiva y difícil para los administradores e ingenieros, los cuales entienden que el componente tecnológico es un factor clave para lograr la ventaja competitiva.

En síntesis, la selección de tecnología influencia la ventaja competitiva de una empresa y es entendida como un tópico que debe tratarse con métodos de decisión multi criterio, donde se consideran enfoques tecnológicos, innovativos y de alto potencial de crecimiento [6]. Para lograr que esta ventaja sea sostenible en el tiempo, se requiere de continuas adaptaciones y actualizaciones sobre las diferentes tecnologías existentes y el desarrollo de algunas nuevas [5], donde las organizaciones necesitan manejar múltiples variables que en definitiva determinarán la selección de las tecnologías a utilizar [7], con base en esto se puede hablar de una pregunta clave de investigación que siempre ha llamado la atención en este

tema ¿Cómo diseñar procesos de selección de tecnologías aptas? [8] con un objetivo muy específico de la selección de tecnologías, el cual es en definitiva la obtención de nuevo *know-how*, componentes y sistemas que ayuden a las empresas a hacer mejores y más competitivos en productos y servicios, o simplemente que creen mejores soluciones [9].

## 2. Metodología

### 2.1 Teoría sobre la selección de tecnologías

Muchos autores han explorado el tema de selección de tecnologías, esta primera parte busca definir de modo general que significa y que implica la selección de tecnologías, de acuerdo a esto, se puede tener un primer acercamiento, por lo tanto, se puede definir la tecnología como el proceso a través del cual los seres humanos diseñan herramientas y máquinas para incrementar su control y su comprensión del entorno material.

El término proviene de las palabras griegas *tecné*, que significa ‘arte’ u ‘oficio’, y *logos*, ‘conocimiento’ o ‘ciencia’, área de estudio; por tanto, la tecnología es el estudio o ciencia de los oficios [10], es claro pensar entonces que la tecnología es en sí una de las mayores fuentes de ventaja competitiva en la industria [11], conociendo ahora el significado de la palabra tecnología, se puede definir ahora la frase “selección de tecnologías”, la cual se describe como el proceso de realizar elecciones técnicas y tecnológicas entre un número de alternativas, esta elección está fundamentada en las evaluaciones realizadas con algún tipo de criterio [12], usualmente maximizando los efectos positivos como los beneficios económicos y minimizando los negativos como los costos [13].

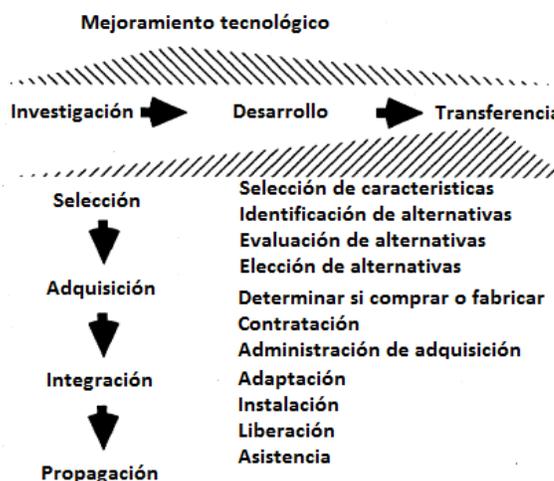
William Riddle y Lloyd Williams consideran [14] que la selección de tecnología es el proceso de determinar cuál método, técnica u herramienta satisface, mediante un criterio, un requerimiento particular. La selección requiere algunas capacidades como: identificar las tecnologías a ser consideradas, evaluarlas y elegir con base en criterios y riesgos, sin embargo, algunas decisiones se fundamentan más en listas de chequeo que en evaluar riesgos [15].

Kamal Ruder, Marthinus Pretorius y B.T. Maharaj [16] al igual que Amir Sanayei y Leslie Monplaisir reflexionan [17] sobre el hecho que los criterios de selección para la empresa deben ser multicriterio donde se incluyen factores cualitativos y cuantitativos,

adicional a esto, existen factores exógenos que actúan como restricciones, estos son: sociales, políticos, técnicos y económicos.

Sin lugar a dudas, la selección de una tecnología para un ambiente empresarial requiere de un amplio conocimiento en diferentes disciplinas como: economía, administración, ingeniería, incluso física y química [18], y se debe considerar también parámetros de control de procesos [19], y habilidades básicas en el diseño experimental, búsqueda e interpretación de datos mediante la vigilancia tecnológica, diseño de encuestas e instrumentación. Pero no solo habilidades en ingeniería, también se deben mezclar factores que solo se obtienen con base en la experiencia como la intuición.

Con base en lo anterior, se puede complementar que la selección tecnológica tiene un rol fundamental en las empresas, esta debe surgir como parte de un plan estratégico de mejoramiento y se debe articular con el proceso de transferencia tecnológica para lograr los propósitos buscados por la empresa en la implementación. El rol de la selección tecnológica se puede ver en la figura 1.



**Figura 1.** El rol de la selección tecnológica, adaptado de William Riddle y Lloyd Williams [14].

Para la revisión de literatura sobre la selección de tecnologías se identificaron 55 artículos con base a la vigilancia tecnológica realizada, de los cuales 24 de estos se encuentran como referentes en el tema durante los años 2013-2017, 15 artículos adicionales referenciados se enmarcan entre los años 2008-2012. En general se cuenta con 39 artículos que soportan la búsqueda sobre

la temática, lo que quiere decir que, un 70% de los artículos referenciados está en el rango de 5 a 10 años lo cual fue objeto de estudio.

Adicional a esto el 96% de los artículos consultados para el tema se tomaron en su mayoría de literatura de habla inglesa y bases de datos secundarias académicas como SCOPUS, Science Direct y Jstor.

De acuerdo a la pertinencia de las publicaciones, se utilizó el conteo de palabras claves y los mapas de concurrencia de palabras para identificar cómo es el comportamiento de las palabras y frases más frecuentes dentro de los textos analizados. Por lo tanto, la figura 2 presenta un análisis de frecuencias de palabras utilizando el *software* NETLOGO dentro de los artículos analizados, donde se encontró que las palabras más frecuentes en los artículos son:

- Technology (Tecnología) 33 repeticiones
- Selection (Selección) 23 repeticiones
- Management (Administración) 13 repeticiones
- Product (Producto) 6 repeticiones
- Decision (Decisión) 5 repeticiones
- Analysis (Análisis) 5 repeticiones

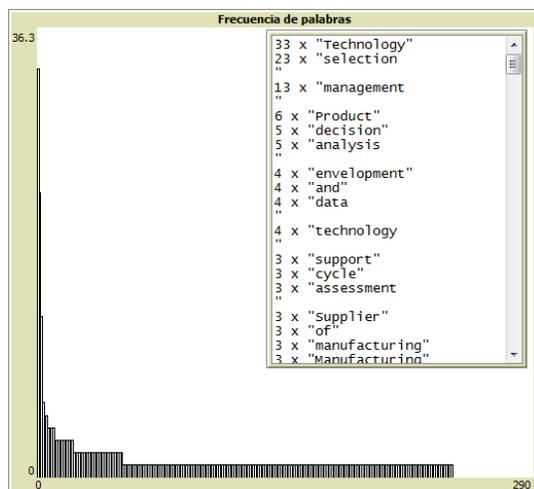


Figura 2. Análisis de frecuencias de palabras para la metodología de selección de artículos. Elaboración Autor.

La figura 3 presenta el mapa de calor de las frases claves más recurrentes en los artículos para el análisis de la revisión de literatura sobre los métodos de selección de tecnologías. El mapa presenta dos picos muy pronunciados, donde de acuerdo a la minería de datos realizada, estas frases corresponden a:

- Technology selection (Selección de tecnología)
- Technology management (Administración de tecnología)

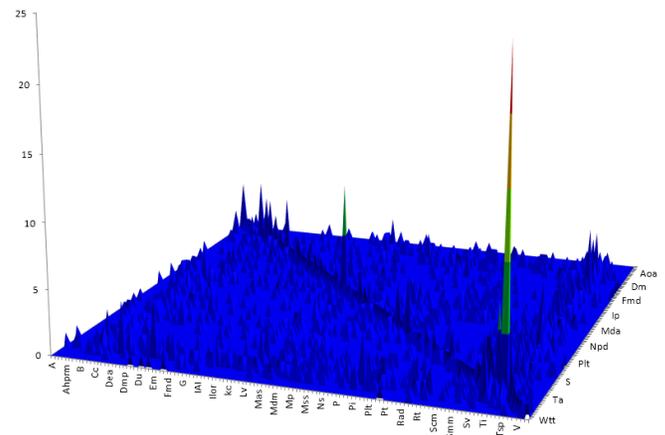


Figura 3. Mapa de calor que presenta las frases claves de los artículos sobre selección de tecnologías. Elaboración autor.

A partir de los criterios antes mencionados, se considera que los artículos seleccionados para la revisión de literatura, brindan una muestra confiable sobre las descripciones metodológicas y herramientas de la selección de tecnologías y aplicabilidad.

## 2.2 La estrategia tecnológica dentro de la selección

La selección tecnológica hace parte de una labor de empresa que busca desarrollar y mejorar procesos y sistemas para hacerla más competitiva, eficiente y llevar a crear mejores productos y servicios, pero para lograr esto es importante generar proyectos tecnológicos apalancados mediante una estrategia tecnológica que lo anteceda.

El término estrategia tecnológica se refiere entonces generalmente a un plan a largo plazo que guíe a los recursos actuales hacia un ambiente tecnológico [12] generando así, capacidades tecnológicas. La estrategia tecnológica entonces se incluye implícitamente en la selección tecnológica, esta surge de la importancia de la I+D en la empresa sumado a la creación de desarrollo de nuevos productos o servicios y a buscar una posición de liderazgo en el mercado [20].

Hao Shengbin y Wu Weiwei [20] han encontrado fuertes evidencias que la selección de tecnologías esta correlacionada con las capacidades tecnológicas y con el desempeño en innovación de la empresa, esto implicaría

que fundamentar una selección en una estrategia es lo más acertado para la empresa.

La estrategia tecnológica tiene relación directa con la gestión tecnológica debido a que ambas deben determinar para la empresa: la planeación de los recursos, la estructura organizacional y la gestión de la calidad [20]. El desarrollo de la estrategia requiere tres dimensiones importantes, la primera es la planeación, la segunda es la búsqueda de tecnologías que tengan un impacto a largo plazo, finalmente se busca la implementación, donde esta es claramente importante, ya que influenciará el camino hacia el cual la empresa se desarrollará tecnológicamente [12].

### 2.3 Revisión de criterios y proceso para la selección de tecnologías

Se ha considerado que la selección tecnológica es un fenómeno que se debe abordar desde un marco amplio, ya que cuenta con múltiples variables, esto debido a su aumento en número y complejidad [21] cada vez mayor, el incremento de la impredecibilidad en el mundo de los negocios expone a las empresas a incertidumbres y la selección de tecnologías es de importancia estratégica, muchos especialistas han indicado que la selección de tecnologías es uno de los tópicos más retadores para la administración y en la toma de decisiones, así como también el más importante en el proceso de innovación [22], ya que dependen de una serie de factores a tener en cuenta al momento de esta selección, estas variables reposan sobre marcos económicos técnicos y empresariales [23].

De acuerdo con esto, los gestores tecnológicos y administradores deben estimar para la selección de tecnologías factores como aspectos técnicos, estrategias organizacionales, planeación, mercado, aspectos financieros y campos de aplicaciones prácticas [5], en definitiva, la selección de tecnologías han sido estudiado de forma racional y determinística [24], este conjunto de factores ha llevado a estudiar y a emplear métodos multi criterio para la toma de decisiones en la adquisición y selección de tecnologías, muchos de ellos basados en programación matemática, análisis estadístico o criterios múltiples de decisión [25].

Estos modelos deben permitir a los gestores tomar decisiones basadas en evidencias cuando vayan a elegir las alternativas tecnológicas, seleccionando la tecnología disponible que mejor se acomode a los requerimientos de la organización [26], así, los objetivos que enmarcan la

utilización de los métodos son: identificar un método utilizable en el análisis de decisiones, identificar las tecnologías referentes, determinar los efectos que proporciona la tecnología específica, determinar costos, medir la racionalidad de la implementación y aplicar el modelo o método propuesto [27].

A grandes rasgos, algunos modelos se incluyen en categorías tan variadas como: revisión de pares no estructurada, puntuaciones, programación matemática, modelos económicos, análisis de decisiones, métodos interactivos y optimización [28], estos métodos pueden ser por su forma cuantitativos o cualitativos. Según Reza Farzipoor [29] tradicionalmente los modelos de selección de tecnología se han basado más sobre datos cardinales con menos énfasis en los datos ordinales, es decir, desde el concepto de toma de decisiones es más importante el aspecto subjetivo de la tecnología que el objetivo, primando en la elección de la tecnología aspectos en orden cualitativos, pero esto se debe a la comprensión primaria del aspecto complejo involucrado en el problema de la selección de tecnología, así por ejemplo muchos métodos encuentran en la asignación de pesos ponderados una medida de desempeño para seleccionar la tecnología, pero la dificultad asociada con este tipo de herramientas está en que la asignación es de naturaleza subjetiva [29].

Algunos autores como Daw Ma, Chia-Chin Chang y Shiu-Wan Hung proponen [5] metodologías combinadas o acercamientos integrados que evalúen el aspecto cualitativo y cuantitativo evidenciando combinación de métodos como el proceso analítico jerárquico con el método Delphi para la toma de decisiones de selección de tecnologías.

Gholam R. Amin y Ali Emrouznejad encuentran [30] un método combinado que explora la asignación de pesos multi criterio y el análisis de datos en presencia de variables de entrada y de salida objetivos y subjetivos para lograr la selección, otro ejemplo encontrado en la literatura sugiere aplicar métodos de programación lineal con las mejores combinaciones de las especificaciones de desempeño de la tecnología y luego en una siguiente fase utilizar una herramienta multi criterio [31] [32].

Existe una necesidad de validación a la selección de tecnologías que generen confianza en los administradores y gestores de tecnología, donde se puedan manipular y combinar métodos y variables cuantitativas con más conocimiento subjetivo de

expertos, en la tabla 1 se presenta una compilación de los métodos más comunes para la selección de tecnología con su respectiva categorización general, de acuerdo a tipo de acercamiento, utilidad en la fase tecnológica o aplicabilidad numérica o matemática.

**Tabla 1.** Métodos para la selección de tecnologías

<b>Modelo multi criterio de decisión</b>	
<b>Tipo de acercamiento</b>	
Acercamiento individual	Proceso analítico de jerarquía
Acercamiento individual	Proceso de análisis de red
Acercamiento individual	Análisis envolvente de datos
Acercamiento individual	Algoritmos genéticos
Acercamiento individual	Razonamiento basado en casos
Acercamiento integrado	Teoría de utilidad multi atributo
Acercamiento integrado	Toma de decisiones en grupo con múltiples atributos
Acercamiento integrado	Técnica de orden de preferencia por similitud con la solución ideal
Acercamiento integrado	Análisis geométrico para ayuda interactiva
Acercamiento integrado	Análisis de valor e ingeniería
Acercamiento integrado	Análisis de cluster
Acercamiento integrado	Análisis relacional Difuso "Gris"
<b>De acuerdo a su utilización en la fase de proceso de selección</b>	
Modelos de precalificación	Suma ponderada
Modelos de precalificación	Producto ponderado
Modelos de precalificación	Proceso analítico de jerarquía
Modelos de precalificación	Análisis envolvente de datos
Modelos en fase final de selección	Programación de metas

Modelos en fase final de selección	Teoría de juegos
Modelos en fase final de selección	Programación lineal
Modelos en fase final de selección	Análisis de cluster
Modelos en fase final de selección	Razonamiento basado en casos
Modelos en fase final de selección	Método basado en cuestionarios o tecnología asistida
Modelos en fase final de selección	Aproximación mediante citación de patentes
Modelos en fase final de selección	Modelos de costo total de propiedad

#### **Métodos basados en matemática**

Programación Matemática	Suma ponderada
Programación Matemática	Producto ponderado
Programación Matemática	Programación de metas
Programación Matemática	Teoría de juegos
Programación Matemática	Programación lineal

**Fuente:** Adaptado de [26] [33] [34] [35] [11] [36].

Muchos de estos métodos presentados y descritos en la tabla 1 han sido diseñados y probados para esclarecer el problema de la selección de la tecnología, estos han sido exitosamente ejecutados en áreas e industrias como las telecomunicaciones, energía nuclear, desalinización de aguas, proveedores de tecnologías y lubricantes [17] [37].

Es necesario considerar que, el éxito de una estrategia tecnológica como habilidad para cambiar la estructura de la empresa haciéndola más competitiva, parte de una buena selección tecnológica, la cual requiere de un proceso organizado y estructural [38], un proceso de adquisición y selección de tecnologías tiene las siguientes fases presentadas en la figura 4.

Noordin Shehabuddeen, David Probert y Robert Phaal presentan [39] un marco teórico simplificado para abordar la selección de tecnologías, este tiene cuatro pasos fundamentales que son:

- Numerar los factores claves en la selección, estos pueden ser: técnicos, financieros, políticos o de ambiente.
- Filtrado de necesidades: realizado con base en integrabilidad, usabilidad, alineación con la estrategia y riesgo.
- Procesos relevantes de la selección, en este punto se pueden encontrar los diferentes métodos y aplicación de metodologías para la selección, se pueden tener ecuaciones matemáticas, factores económicos y financieros y ponderaciones.
- Conocer la integración de todos los agentes en el proceso: todas las partes de la organización tienen un rol específico, por lo que se pueden causar efectos desde la función financiera, productiva o de recursos humanos, también existirán agentes externos como los competidores, los clientes o el gobierno.

La tabla 2 presenta un proceso de selección de tecnologías mediante indicadores, estos indicadores presentados son el ejemplo de una lista de chequeo para la selección y posible transferencia de la tecnología. Este listado puede ser utilizado con cualquiera de los métodos antes descritos en la tabla 1.

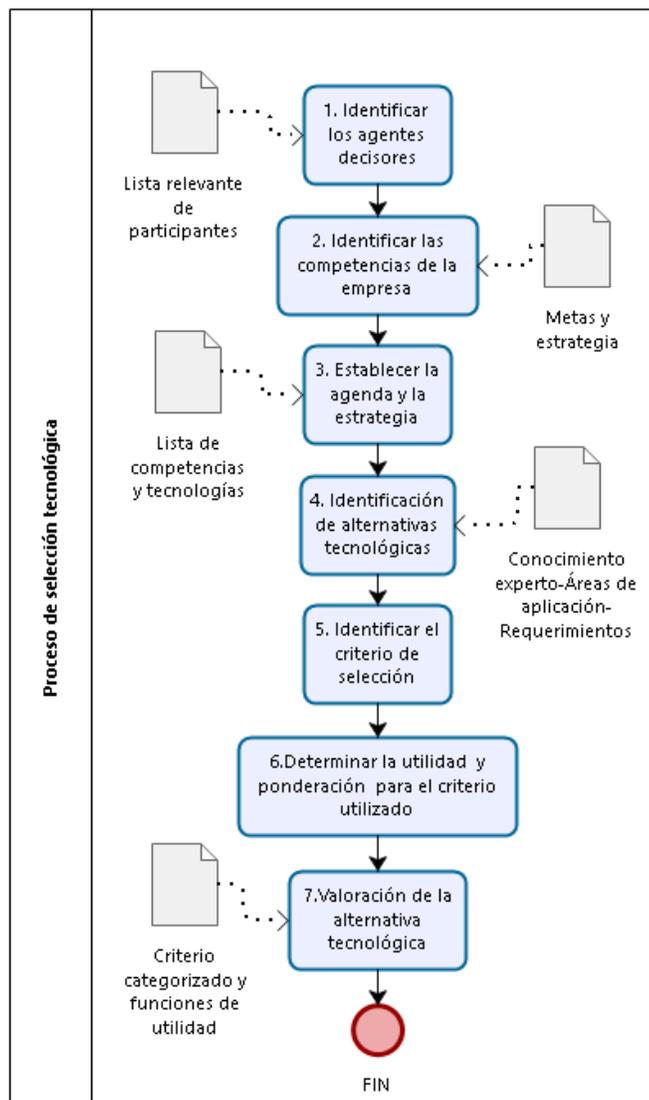


Figura 4. Proceso de selección de tecnologías. Fuente: adaptado de [16].

Tabla 2. Proceso de selección de tecnologías con base en 3 variables decisoras

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Variables tecnológicas	*Tecnologías probadas. *Características del proceso tecnológico. *Facilidades de operación y mantenimiento de la tecnología.

Variables económicas	*Capacidad de la organización para asimilar la tecnología propuesta.
	*Facilidad de adecuación de la tecnología para la certificación internacional de la misma o de los productos que se obtengan.
	*Capacidad de abastecimiento de materia prima requerida para el funcionamiento de la tecnología en la producción de nuevos productos o servicios.
	*Nivel de caducidad de la tecnología.
	*Frecuencia de actualización de tecnologías similares.
Variables comerciales y legales	*Pronóstico de costos y gastos de operación y mantenimiento.
	*Costo de la tecnología.
	*Participación del licenciante en el financiamiento del proyecto de adquisición de tecnología.
	*Estado legal y comercial de las empresas licenciantes.
	*Protección de la tecnología.
	*Condiciones del contrato de licencia.
	*Capacidad de comercializar productos desarrollados con la tecnología propuesta en otros mercados.
*Análisis de productos sustitutos de los productos obtenidos como parte de la tecnología.	

**Fuente:** adaptado de [40].

El análisis de patentes se ha considerado un método a priori para seleccionar una tecnología, ya que ayuda a definir una dirección o ruta sobre la cual se encamina la tecnología [22], esto implica que se debe indagar sobre su vida útil, para esto se deben determinar las diferentes etapas del ciclo de vida o fases del ciclo tecnológico, como son: emergente, crecimiento, madurez y decaimiento de la tecnología [41], este proceso provee la máxima cantidad de información sobre los antecedentes de una tecnología. Algunas clasificaciones propuestas se encuentran en la tabla 3, así como también oportunidad de desarrollo y futuras predicciones y tendencias, lo cual ayuda al administrador a tomar decisiones de selección.

En la etapa emergente, la empresa se concentra en la I+D para generar nuevas innovaciones tecnológicas, en el estado de crecimiento la empresa busca ingresar en el campo de la innovación, haciendo actividades referentes que apunten a patentar sus innovaciones, durante el estado de madurez la actividad de patentar tiene limitaciones concentrándose en actividades efectivas en el corto tiempo, en el estado de decaimiento las empresas ven la tecnología con variaciones menores por lo que deben volcar sus esfuerzos en conseguir tecnología preferiblemente avanzada y comenzar de nuevo el ciclo de vida de la tecnología.

**Tabla 3.** Diferentes niveles de una tecnología

Nivel de tecnología
Tecnología antigua
Variación menor
Accesorio
Variación significativa
Modificación de la tecnología conocida
Mejoramiento
Novedad
Novedad/Nueva
Nueva
Radicalmente nueva/ruptura o creación de brecha

**Fuente:** adaptado de [41].

## 2.4 Causas y efectos de la selección de tecnologías sobre las empresas

Los diferentes métodos cualitativos y cuantitativos para seleccionar la tecnología han permitido atravesar una barrera de incertidumbre de un modo más o menos acertado, sin embargo, acertar en la tecnología adecuada para la empresa u organización no es suficiente, debido a que la tecnología seleccionada puede tener efectos sobre otras variables dentro de la organización y que son igualmente importantes para su selección. Así, resultados de estudios empíricos muestran que uno de los factores más importantes para la selección de la tecnología es el beneficio que esta misma trae [5], este beneficio puede ser entendido de muchas maneras, como: en el concepto de innovación, la cual es una condición necesaria para la valoración empresarial [42], la influencia sobre el mercado existente, el tamaño del mercado potencial, y la comercialización [5] [22], también puede tener

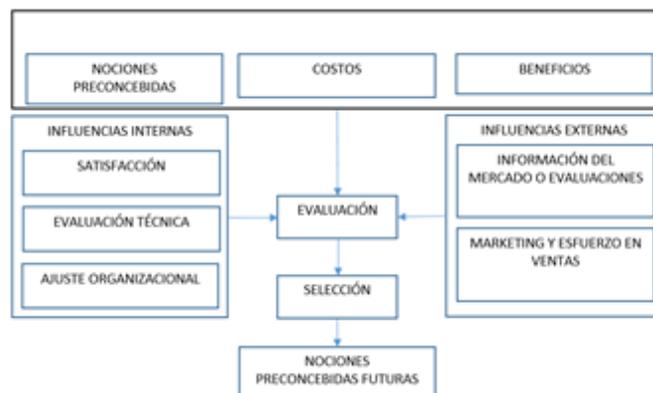
beneficios en la gestión de personal debido a que una correcta estrategia tecnológica, lo cual puede derivar en empleos más cualificados, aprendizaje y creatividad [20]. Sin embargo, tradicionalmente el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el retorno de la inversión han sido factores evaluados por los investigadores para cualificar la tecnología [43], lo anterior, lleva a pensar que la mayoría de metodologías de evaluación y selección de tecnologías están relacionadas con el aspecto financiero [44] y la gestión administrativa [45].

No obstante, una selección tecnológica no apropiada sobre un sistema tiene efectos negativos en la productividad y sobre las capacidades empresariales, causando diversos problemas como el decrecimiento en la rentabilidad y la producción de la empresa [46], así la selección tecnológica tendrá su causa y sus efectos sobre componentes financieros.

La evaluación y selección de alternativas solo es resultado de un proceso previo y riguroso, que depende del conocimiento de variables importantes y características de la tecnología, así por ejemplo existen tres condiciones iniciales a tener en cuenta para la elección de una tecnología, estas son: costos, beneficios e ideas o nociones preconcebidas, estos aspectos son básicos para determinar la selección [47], muchas metodologías empíricas de selección de tecnologías basan sus criterios en aspectos económicos, algunas metodologías de investigación operativa en la industrial utilizan la optimización en tiempo real como alternativa de selección, basándose en los costos o la pérdida de ganancia para realizar la elección [48].

Es importante que la selección de tecnologías apoye no solamente la estrategia organizacional sino aspectos que impacten en el proceso de manufactura en casos de empresas que se dediquen a la transformación de bienes y servicios F. T S Chan, H. K. Chan, M. H. Chan y P. K. Humphreys consideran [49] que la selección de tecnologías debe afectar directamente las seis dimensiones de la manufactura que son: costo, desempeño, calidad, entrega, flexibilidad e innovación, por lo tanto es importante ver como la tecnología a adquirir va a impactar estas variables. Estas dimensiones pueden catalogarse como indicadores de desempeño de un sistema cuyas entregas son: capital empleado, costos operativos, espacio de trabajo requerido y trabajo en proceso y utilizando como variables de salida la calidad y la reducción del *lead time* [50].

Otros autores como Fernando Suarez resaltan [51] que la marca, la credibilidad del vendedor y el precio son factores igualmente importantes para la adquisición de tecnología, adicional a esto, también existen factores externos e internos que pueden afectar la decisión, esto se puede ver en la figura 5.



**Figura 5.** Factores para la evaluación de tecnología, adaptado de [47].

De forma complementaria, la selección de tecnología debe ser entendida como un proceso dentro de la cadena de valor empresarial, debido a que es un ajuste adaptativo constante en la cual las empresas deben trabajar desde su plan estratégico PHVA [7].

Este plan estratégico debe incluir decisiones que favorezcan el aumento de la ventaja competitiva, mejoren la competitividad y el crecimiento corporativo, esto se logra mayoritariamente mediante la correcta selección de la tecnología y es de allí de donde emerge su importancia como proceso, sin embargo el incremento en la competencia sobre todo en industrias que producen de forma más económica han forzado a transformar la industria cambiando la cadena de valor a través de la innovación y la adición de valor [52].

Dentro de su diseño como proceso corporativo es importante resaltar que al ser de índole transversal a toda la empresa, el producto o servicio ofrecido se verá afectado por la selección, entonces, una de las decisiones más importantes durante la etapa de definición del producto o proceso es la selección del componente tecnológico [5]. La etapa inicial del proceso deberá considerar como la tecnología afectará su ciclo, por esta razón la selección de tecnología influye no solo a los costos iniciales de manufactura del producto [53], sino también a los costos de uso de la tecnología, la duración

y su potencial de reúso [54], en términos generales a esto se le llamara Costo del ciclo de vida, lo cual tiene que ver con la optimización de los costos, cuando se adquiere o se compra una tecnología. El ciclo de vida se refiere entonces a todos los costos incurridos desde la compra de la tecnología hasta su obsolescencia [54].

Ju Xiaofeng, Jiang Peng y Yin Yun describen [28] algunas variables que afectan el costo de producción con una determinada tecnología: la inflación, costo de adquisición, desempeño, experiencia en el mantenimiento y en la operación, características del sitio y los salarios locales.

Es importante notar que la mayor parte de variables que afectan los costos de la tecnología tienen que ver directamente con el productor del bien o servicio, esto implica que la decisión recae sobre esta figura, el consumidor es incapaz de distinguir como los productos son manufacturados con diferentes tecnologías, así el productor debe buscar minimizar los costos de producción, entonces la decisión en la selección de tecnología puede ser modelada solamente como una función que minimice los costos de producción [55].

Para evaluar entonces esta función Gholam R. Amin y Ali Emrouznejad proponen [30] considerar dos tipos de costos: el costo de mantenimiento, reparación y los gastos en labor. Es importante notar que altas inversiones en tecnología al principio implica bajos costos de mantenimiento, por otro lado, inversiones en tecnología de poca calidad implica incurrir en altos niveles de costos anuales en mantenimientos y reparaciones, por lo que el proceso de evaluar y seleccionar una tecnología debería considerar el costo de todo el ciclo de vida del sistema, esto incluye el diseño, la construcción, operación, mantenimientos, reparaciones y reemplazos [56].

### 3. Conclusiones

La selección de tecnologías ha cobrado importancia en cualquier empresa de base tecnológica para consolidar su estrategia empresarial, y así mismo, una metodología esencial para la toma de decisiones, por otra parte, debe ser considerada una herramienta básica para cualquier negocio que quiera incursionar en nuevos y más complejos ambientes tecnológicos.

La selección de tecnologías contiene herramientas bastas en diferentes campos, tal y como se presentó, dichas herramientas pueden ser utilizadas de acuerdo a la naturaleza del problema, por otro lado, en el texto se resalta el proceso de selección de tecnología desde tres

enfoques diferentes: simplificado, mediante uso de indicadores y por el análisis de patentes.

Sin embargo, un proceso de selección también tiene sus dificultades en el momento de su aplicación, debido a que el proceso se toma ligeramente sin ningún tipo de comprensión, administración o gestión adecuada. Cuando no se entiende que esto es una herramienta utilizada como apoyo al factor humano que no toma decisiones por sí misma, se puede llevar a tomar decisiones erróneas, en muchos casos riesgosos para las empresas.

Las herramientas de la selección siempre están variando en cantidad y aplicabilidad, por lo cual es un vasto mundo por explorar y explotar, sus combinaciones no tienen fin, y por cada problema se puede estar seguro que existirá una nueva metodología, lo importante es entender su dinámica y sus efectos en el desarrollo de la estrategia tecnológica empresarial.

### 4. Referencias

- [1] E. Bohemia, C. De Bont, and L. S. Holm, *Conference proceedings of the Design Management Academy Research Perspectives on Creative Intersections*, vol. 5, no. June, 2017.
- [2] N. Ahmady, E. Ahmady, and H. Sadeghi, "Technology selection in the presence of fuzzy data and dual-role factors," *Adv. Manuf. Technol.*, pp. 801–811, 2012.
- [3] R. Phaal, C. J. P. Farrukh, and D. R. Probert, "Technology management tools: Concept, development and application," *Technovation*, vol. 26, no. 3, pp. 336–344, 2006.
- [4] D. Cedillos, S. Acha, N. Shah, and C. N. Markides, "A Technology Selection and Operation (TSO) optimisation model for distributed energy systems: Mathematical formulation and case study," *Appl. Energy*, vol. 180, pp. 491–503, 2016.
- [5] D. Ma, C.-C. Chang, and S.-W. Hung, "The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry," *Econ. Model.*, vol. 35, no. 2013, pp. 10–20, Sep. 2013.
- [6] C. Loué and S. Ben Slimane, *Proceedings of the 12th European Conference on Innovation and Entrepreneurship*, 2017.
- [7] D. Xia, B. Chen, and Z. Zheng, "Relationships among circumstance pressure, green technology selection and firm performance," *J. Clean. Prod.*, vol. 106, pp. 487–496, Dec. 2014.
- [8] B. Wang, "Requirements Traceability Technologies Selection for Industry," *Proc. - 2016 IEEE 24th Int. Requir. Eng. Conf. RE 2016*, pp. 450–455, 2016.
- [9] M. Torkkeli and M. Tuominen, "The contribution of technology selection to core competencies," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 77, no. 3, pp. 271–284, 2002.
- [10] E. Bravo, "Globalización , innovación tecnológica y pobreza.

- Aproximación a las nuevas conceptualizaciones en Latinoamérica,” vol. 21, no. 3, pp. 543–556, 2012.
- [11] Y.-C. Shen, S.-H. Chang, G. T. R. Lin, and H.-C. Yu, “A hybrid selection model for emerging technology,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 77, no. 1, pp. 151–166, Jan. 2010.
- [12] M. Lamb and M. Gregory, “Industrial Concerns in Technology Selection,” pp. 206–208, 1997.
- [13] M. Akhundzadeh and B. Shirazi, “Technology selection and evaluation in Iran’s pulp and paper industry using 2-filtered fuzzy decision making method,” *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 3028–3043, 2017.
- [14] W. E. Riddle and L. G. Williams, “Technology Selection : An Educational Approach,” no. 11, pp. 1199–1206, 1987.
- [15] R. Hallman *et al.*, “Standardized and Repeatable Technology Evaluation for Cybersecurity Acquisition,” no. May. San Diego, p. 28, 2017.
- [16] K. A. Ruder, M. W. Pretorius, and B. T. Maharaj, “A technology selection framework for the telecommunications industry in developing countries,” *IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 5490–5493, 2008.
- [17] A. Sanayei and L. F. Monplaisir, “Integrating product life cycle issues in technology selection,” *Technol. Manag. Emerg. Technol. (PICMET), 2012 Proc. PICMET '12*, pp. 1401–1407, 2012.
- [18] C. Chadderton, C. M. Foran, G. Rodriguez, D. Gilbert, S. D. Cospers, and I. Linkov, “Decision support for selection of food waste technologies at military installations,” *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 267–277, 2017.
- [19] E. Oviedo, I. Dominguez, P. Torres, D. Komilis, and A. Sánchez, “Understanding biowaste composting in developing countries: lessons from Colombia.” p. 13, 2017.
- [20] H. Shengbin and W. Weiwei, “The Impact of Technology Selection on Innovation Performance,” pp. 5781–5783, 2007.
- [21] D. Xia, Q. Yu, Q. Gao, and G. Cheng, “Sustainable technology selection decision-making model for enterprise in supply chain: Based on a modified strategic balanced scorecard,” *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 1337–1348, 2017.
- [22] W. Yan-ling, “Research on Technology Selection for Enterprises with Tools of Patent Analysis,” no. 1, pp. 1651–1657, 2012.
- [23] A. Erfani, R. Ghasempour, and H. Oraee, “Issues in the Technology Selection for a Wind Farm in Iran,” *J. energy Manag. Technol.*, pp. 71–78, 2017.
- [24] P. Tingling and M. Parent, “An exploration of enterprise technology selection and evaluation,” *J. Strateg. Inf. Syst.*, vol. 13, no. 4, pp. 329–354, Dec. 2004.
- [25] M. Safdari, I. Mahdavi, and N. Cho, “Selecting technology acquisition strategy through applying PROMETHEE method: and industrial automation,” in *13th International conference on industrial engineering*, 2017, no. June, p. 11.
- [26] D. R. Georgiadis, T. A. Mazzuchi, and S. Sarkani, “Using Multi Criteria Decision Making in Analysis of Alternatives for Selection of Enabling Technology,” vol. 16, no. 3, pp. 287–303, 2012.
- [27] D. Petrovic, I. Cvetkovic, M. Kankaras, and N. Kapor, “Objective Technology Selection Model: The Example of Complex Combat Systems,” *J. Sci. Eng. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 105–114, 2017.
- [28] J. Xiaofeng, J. Peng, and Y. Yun, “Understanding the complex nature of engineering technology selection: A new methodology based on systems thinking,” *Syst. Eng. Procedia*, vol. 4, no. 2011, pp. 196–202, 2012.
- [29] R. Farzipoor Saen, “Technology selection in the presence of imprecise data, weight restrictions, and nondiscretionary factors,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 41, no. 7–8, pp. 827–838, May 2008.
- [30] G. R. Amin and A. Emrouznejad, “A new DEA model for technology selection in the presence of ordinal data,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 9–12, pp. 1567–1572, Jun. 2012.
- [31] M. Khouja, “The use of data envelopment analysis for technology selection,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 123–132, 1995.
- [32] E. Vol and R. C. Baker, “A closer look at use of data envelopment analysis for technology selection,” *Chem. Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 101–108, 1997.
- [33] W. Ho, X. Xu, and P. K. Dey, “Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 202, no. 1, pp. 16–24, 2010.
- [34] L. De Boer, E. Labro, and P. Morlacchi, “A review of methods supporting supplier selection,” *Eur. J. Purch. Supply Manag.*, vol. 7, no. 2, pp. 75–89, 2001.
- [35] A. Friederich, T. Bernd, and L. De Witte, “Methods for the selection of assistive technology in neurological rehabilitation practice,” *Scand. J. Occup. Ther.*, no. December 2008, pp. 308–318, 2014.
- [36] M. Mouâd and L. Cherkaoui, “A comparison between fuzzy TOPSIS and fuzzy GRA for the vertical handover decision making,” 2017.
- [37] P. Yu and J. H. Lee, “Optimal technology selection considering input levels of resource,” *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 113, no. 1, pp. 57–76, 2013.
- [38] J. M. J. Herps, H. H. Van Mal, J. I. M. Halman, J. H. M. Martens, and R. H. M. Borsboom, “The process of selecting technology development projects: a practical framework,” *Manag. Res. News*, vol. 26, no. 8, pp. 1–15, 2003.
- [39] N. Shehabuddeen, D. Probert, and R. Phaal, “From theory to practice: Challenges in operationalising a technology selection framework,” *Technovation*, vol. 26, no. 3, pp. 324–335, 2006.
- [40] J. Odriozola, “Metodología para la gestión de la adquisición de tecnologías protegidas,” *Ing. Ind.*, vol. XXXIV, no. 3, pp. 265–276, 2014.
- [41] Y. L. Wang, “Research on technology selection for enterprises with tools of patent analysis,” *Int. Conf. Manag. Sci. Eng. - Annu. Conf. Proc.*, no. 1, pp. 1651–1657, 2012.
- [42] S. Sandoval, “La Cadena Global De Valor: Consideraciones

- Desde El Ciclo Del Capital,” *Probl. Desarro.*, vol. 46, no. 182, pp. 165–190, Jul. 2015.
- [43] F. T. S. Chan, M. H. Chan, and N. K. H. Tang, “Evaluation methodologies for technology selection,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 107, no. 1–3, pp. 330–337, 2000.
- [44] S. Farooq and C. O’Brien, “Risk calculations in the manufacturing technology selection process,” *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 21, no. 1, pp. 28–49, 2010.
- [45] G. Cifuentes, “Local management and leadership for innovation: a critical analysis from Colombia,” in *ICICTE 2017 proceedings*, 2017, pp. 398–406.
- [46] A. Vafadar, M. Tolouei-Rad, and K. Hayward, “Evaluation of the Effect of Product Demand Uncertainty on Manufacturing System Selection,” *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. June, pp. 1735–1743, 2017.
- [47] M. Cochran, “Introduction of a Technology Selection Model,” *Sci. York*, vol. 0, pp. 1–10, 2009.
- [48] J. . Forbes and T. . Marlin, “Design cost: a systematic approach to technology selection for model-based real-time optimization systems,” *Chem. Engineering*, vol. 20, no. 6, pp. 717–734, 1996.
- [49] F. T. S. Chan, H. K. Chan, M. H. Chan, and P. K. Humphreys, “An integrated fuzzy approach for the selection of manufacturing technologies,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 27, no. 7–8, pp. 747–758, 2006.
- [50] E. E. Karsak, “Using data envelopment analysis for evaluating flexible manufacturing systems in the presence of imprecise data,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 35, no. 9–10, pp. 867–874, 2008.
- [51] F. F. Suarez, “Network Effects Revisited : the Role of Strong Ties in Technology Selection,” *Acad. Manag. J.*, vol. 48, no. 4, pp. 710–720, 2005.
- [52] J. Ratnasingam *et al.*, “Innovations in the Forest Products Industry : The Malaysian Experience,” vol. 41, no. 2, pp. 601–607, 2013.
- [53] L. G. Debo and B. Toktay, “Market Segmentation and Product Technology Selection for Remanufacturable Products,” vol. 51, no. 8, pp. 1193–1205, 2015.
- [54] R. Folgado, P. Peças, and E. Henriques, “Life cycle cost for technology selection: A Case study in the manufacturing of injection moulds,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 128, no. 1, pp. 368–378, Nov. 2010.
- [55] D. W. Boyd, R. L. Phillips, and S. G. Regulinski, “A model of technology selection by cost minimizing producers,” vol. 28, no. 4, pp. 418–424, 2015.
- [56] M. I. Kamami, G. M. Ndegwa, and P. G. Home, “Fuzzy based decision support method for selection of sustainable wastewater treatment technologies,” *Int J Agrie Biol Eng Open Access Int J Agrie Biol Eng*, vol. 4, no. 1, pp. 41–51, 2011.

# Las Tecnologías de información y comunicación un gran reto para las PYMES del distrito de Changuinola, República de Panamá

## ICT a big challenge for SMEs in the district of Changuinola, Republic of Panama

José Mendoza Avilés <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Bocas del Toro Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [jose.mendoza@utp.ac.pa](mailto:jose.mendoza@utp.ac.pa)

**RESUMEN**— En este trabajo se analiza el nivel Académico-Técnico del Personal Administrativo y su relación con la aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicación en las Pequeñas y Medianas Empresas del distrito de Changuinola. Se aplicó un diseño no experimental, tipo descriptiva y transversal, en la cual participaron 114 PYMES del distrito de Changuinola, provincia de Bocas del Toro, República de Panamá que, para garantizar la presencia de los subgrupos de todos los corregimientos del distrito dentro de la muestra, se trabajó con el muestreo estratificado por conglomerado. Se utilizó la técnica de encuesta con el instrumento cuestionario. Los resultados indican que, existe relación entre nivel académico o capacitación técnica de los propietarios o/y administradores de las PYMES con la frecuencia de uso de las TIC en la empresa. Por lo tanto, se concluyó que, un alto nivel académico o capacitación técnica del personal administrativo y adecuado equipamiento en *hardware*, *software* y conectividad en las PYMES beneficia el uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación.

**Palabras clave**— PYMES, TIC, Nivel Académico, Equipamiento TIC.

**ABSTRACT**— This paper analyzes the Academic-Technical level of the Administrative Staff and its relationship with the Application of Information and Communication Technologies in Small and Medium Enterprises in the district of Changuinola. A non-experimental, descriptive and cross-sectional design was applied, in which 114 PYMES from the district of Changuinola, province of Bocas del Toro, Republic of Panama participated, to guarantee the presence of the subgroups of all the subdivisions of the district within the sample, we worked with stratified sampling by conglomerate. The survey technique was used with the questionnaire instrument. The results indicate that there is a relationship between academic level or technical training of owners or/and administrators of SMEs with the frequency of use of ICT in the company. Therefore, it was concluded that a high academic level or technical training of administrative personnel and adequate equipment in hardware, software and connectivity in SMEs benefits the efficient use of information and communication technologies.

**Keywords**— SME, ITC, Academic level, ICT equipment.

### 1. Introducción

La incorporación de las tecnologías de información y comunicación (TIC), beneficia a las empresas en la medida que posibilita la reducción de los costos de transacción y el incremento de la eficiencia de los procesos.

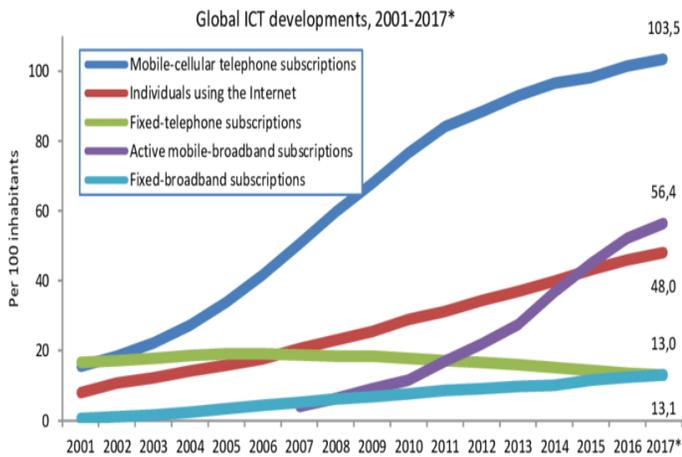
Según [1], un desafío clave dentro de la industria de servicios es mejorar la percepción de cómo los gerentes diferencian los beneficios de la adopción y difusión de TIC y cómo se relacionan realmente con el nivel de madurez con estas tecnologías. Las TIC influyen en la productividad cuando los niveles más altos de inversión financiera en TIC generan nuevos productos y baja de los precios [2].

El crecimiento de las pequeñas empresas es tanto horizontal como vertical. El crecimiento horizontal está

representado por nuevas microempresas que se gradúan en pequeñas empresas, mientras que el crecimiento vertical ocurre cuando las pequeñas empresas se gradúan en empresas medianas. Este crecimiento está determinado por las decisiones tomadas por los empresarios sobre los cambios que tienen lugar tanto en el entorno empresarial externo como en el interno. Uno de esos cambios ha sido la rápida revolución de la Tecnología de la Comunicación de la Información que posee oportunidades y amenazas para las pequeñas empresas [3].

Cabe resaltar el estudio de la UIT [4], “El extraordinario auge de las tecnologías de la información y la comunicación incide, considerablemente, en el crecimiento económico de los países tanto desarrollados como en desarrollo. Los sectores productores de TIC

(prestarios de servicios y fabricantes) generan beneficios directos e indirectos en los países donde están establecidos. El crecimiento de estas industrias redundará, directamente, en la creación de empleo y en mayores ingresos. La magnitud de dichos beneficios directos depende de la proporción que representan los sectores productores de bienes y servicios relativos a las TIC en la economía y de su ritmo de crecimiento”. El uso de los servicios de las TIC, como los teléfonos móviles e Internet, continúa creciendo en todo el mundo, como se muestra en el estudio realizado por ITU, como se puede observar en la figura 1.

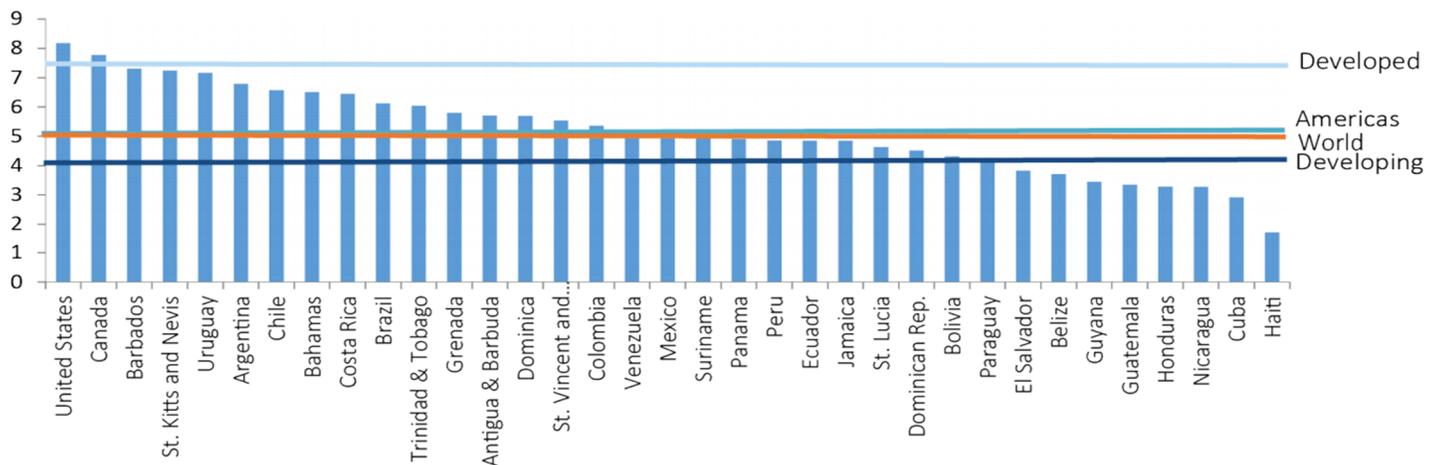


**Figura 1.** Desarrollo global de las TIC del 2001-2017. Fuente: [5].

Según el estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de

las Naciones Unidas, sobre las políticas públicas y desarrollo productivo en América Latina, [6], se puede notar que las distancias con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) se han reducido en ‘infraestructura y acceso’, mientras que el mayor aumento de brecha se verifica en ‘uso de TIC’. Esto refleja el enfoque dominante de las estrategias implementadas en los países de la región, que se han concentrado, esencialmente, en programas orientados a mejorar la infraestructura y el acceso. Al mismo tiempo, es importante resaltar que existe una importante heterogeneidad al interior de la región, donde se observa que los países del Cono Sur y del Caribe se encuentran mejor posicionados, mientras que los de América Central muestran un mayor atraso.

En la parte superior de la clasificación se encuentran los dos grandes países desarrollados de la región, los Estados Unidos y Canadá. Ambos se ubican dentro de los 30 países más importantes del mundo, pero están por detrás de los países desarrollados en Europa y Asia, que tienen un Ingreso Nacional Bruto (INB) per cápita comparablemente alto, principalmente debido a los valores más bajos del ancho de banda de Internet internacional por usuario de Internet, computadora doméstica y acceso a Internet. Panamá se encuentra por encima del promedio de los países en desarrollo, pero por debajo del promedio mundial y el continente americano, y muy por debajo de Estados Unidos y Canadá pertenecientes a los países desarrollados (ver figura 2).



**Figura 2.** Índice de desarrollo de las TIC en el continente americano al 2017. Fuente: [5].

Los valores del *Índice de Desarrollo de las TIC* (IDT) durante el año también cayó por debajo del promedio mundial. Otros tres países de la región se encuentran dentro del cuartil superior de las clasificaciones mundiales: los Estados insulares del Caribe de Barbados, San Cristóbal y Nieves, y Uruguay en Sudamérica, que ha subido seis puestos en el ranking mundial, del 48 al 42, después de mejorar su valor de IDI en 0.41 puntos [5].

En las empresas y países que asimilan nuevas tecnologías e innovaciones, se esperan cambios rápidos. Existen diferentes estudios que analizan las TIC, especialmente los factores que afectan la adopción de TIC. El análisis de los efectos de las tecnologías en el sector privado solo es significativo después de un análisis exhaustivo de las condiciones que deben satisfacerse para adoptar las TIC: expectativas de impactos positivos de estas tecnologías y las características de cada empresa están estrechamente relacionados, como recursos financieros, tecnológicos, de personal, flexibilidad de las estructuras, etc. [7].

El último censo formal del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo de la Contraloría General de la República de Panamá refleja la cantidad de empresas, en el territorio nacional, distribución que se observa en la tabla 1.

**Tabla 1.** Número de empresas en la República, por naturaleza jurídica, según provincia: año 2009. Fuente: [8]

Provincia	Número de Empresas			
	Total	Naturaleza Jurídica		
		Individual	Anónima	Otras
<b>TOTAL</b>	<b>60,444</b>	<b>42,910</b>	<b>15,534</b>	<b>2,000</b>
Bocas del Toro	1,483	1,344	126	13
Coclé	3,864	3,410	374	80
Colón	3,871	2,443	1,331	97
Chiriquí	7,861	6,548	1,161	152
Darién	962	935	15	12
Herrera	3,084	2,556	334	194
Los Santos	2,723	2,310	205	208
Panamá	32,334	19,523	11,655	1,156
Veraguas	4,262	3,841	333	88

Según la Ley 8 del año 2000 [9], por la cual se crea la Autoridad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, denominada AMPYME, en el artículo 5 define la micro, pequeña y mediana empresa:

- Microempresa: Unidad económica, formal o informal, que genere ingresos brutos o facturación

anuales hasta la suma de ciento cincuenta mil balboas (B/. 150,000.00).

- Pequeña empresa: Unidad económica que genere ingresos brutos o facturación anuales desde ciento cincuenta mil balboas con un centésimo (B/. 150,000.01) hasta un millón de balboas (B/. 1,000,000.00).
- Mediana empresa: Unidad económica que genere ingresos brutos o facturación anuales desde un millón de balboas con un centésimo (B/. 1,000,000.01) hasta dos millones quinientos mil balboas (B/. 2,500,000.00).

Actualmente, existen registradas en la AMPYME más de 60.000 pequeñas y medianas empresas, las cuales le brindan sustento a más de medio millón de personas en todo el país, según [10].

Uno de los más importantes desarrollos tecnológicos de los últimos años ha sido el de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Los beneficios potenciales de estas tecnologías para una organización incluyen desde los beneficios de carácter operativo, como el aumento de la eficiencia, [11].

“Las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) representan el principal motor de la economía en América Latina con proyecciones de crecimiento favorables para los próximos años y con una tendencia a la adopción de herramientas tecnológicas que faciliten las labores al interior de sus organizaciones, es así que de acuerdo con un estudio de Brother International Corporation realizado con pequeñas y medianas empresas (PYMES), el 49% de estas afirmó que la inversión en elementos tecnológicos sería su prioridad para el presente año”, [12].

El estudio realizado por [13], presenta que, las Tecnologías de Información y Comunicación están logrando incrementar el desarrollo eficaz y productivo en las PYME. Su utilización y aplicación aporta una serie de ventajas potenciales en todas las áreas funcionales de la empresa, permitiendo una mayor agilidad en la generación, acceso y distribución de la información, una mayor coordinación en la toma de decisiones, una mejora en la conexión y asistencia a clientes y proveedores. Desde diversos ámbitos se afirma que la correcta utilización de las TIC en la organización de la PYME puede resultar una importante ventaja competitiva.

Uno de los ítems de gran relevancia en la implementación de las TIC son las infraestructuras, se entienden por el conjunto de medios físicos (*hardware*),

la parte blanda de las tecnologías (*software*) y las redes de comunicación, que incluyen líneas y equipos de transmisión, así como nodos de conmutación y los equipos servidores, que albergan los contenidos e informaciones a los que acceden los usuarios.

Uno de los factores que influyen en la decisión de adopción, así como los beneficios operativos y estratégicos que brinda el uso de TIC, es diferenciarse de la competencia; teniendo presente los cambios que requiere una organización para brindar un adecuado uso a las TIC adoptadas, lo cual se relaciona con el tamaño de la empresa, su actividad económica, su experiencia previa con las TIC, la escasez relativa de recursos y la centralización de la toma de decisiones [14].

De acuerdo con los temas analizados, en la figura 3 se propone un modelo conceptual que resume las variables relacionadas con las TIC y que tienen en principio un impacto en la competitividad de las PYMES. Las principales variables de las TIC son las competencias (dominio y conocimientos), sus capacidades (*Hardware*, *Software*, Internet, Personal), su potencial de Inversión, el alineamiento con la estrategia del negocio, y la generación de ventajas competitivas para la organización [16].



**Figura 3.** Modelo de Competitividad de las PYMES y las TIC. Fuente: [15].

Según la investigación [17], en Panamá el tema tecnológico se encuentra en el último lugar (17) entre las prioridades de las PYMES. Sin embargo, los hallazgos de la investigación indican que:

- Un porcentaje significativo de estas empresas emplea tecnología tradicional;
- quienes invierten en tecnología son una proporción mínima;
- los altos costos de la tecnología son una de las razones de esta deficitaria inversión;

- no hay clara conciencia de los beneficios de la adopción de nueva tecnología;
- y este fenómeno es más recurrente en las pequeñas empresas que en las medianas.

Un estudio realizado por la Fundación para el Desarrollo Sostenible en América Latina [18], presenta en su avance de investigación, los obstáculos al desarrollo de las pequeñas y medianas empresas en América Latina de un trabajo que se realiza en seis países: Argentina, Colombia, Costa Rica, Chile, El Salvador y Panamá, donde resume que: uno de los aspectos relevante guarda relación con la calidad del recurso humano. En muchos casos, se hace referencia a la poca calificación (teórica y práctica) del personal. Esto tiene que ver, por un lado, con la formación básica y, eventualmente, técnica y, por otro lado, con la experiencia previa. Claramente, se observa que existe un divorcio entre la formación y las necesidades del mercado laboral, razón por la cual es clave en este aspecto el papel del sistema educativo y de las propias empresas.

Según [19], la educación continua podría ser una opción para llevar actualización en el área de las tecnologías de información y comunicación. Una de las grandes características que posicionan la educación continua son los cursos de capacitación, talleres, seminarios, workshop y diplomados, ya que son más específicos y responden de manera directa y rápida a la demanda de las instituciones, organizaciones y colaboradores de grandes compañías.

La capacitación se ha vuelto una de las prioridades en el sector de Pequeñas y Medianas Empresas en Panamá, en donde los pequeños empresarios han tomado conciencia de que sin los conocimientos adecuados no podrán mantener sus negocios a largo plazo, [10].

En base a los antecedentes recabados se pretende dar respuesta a la pregunta de investigación, ¿Cuál es el nivel Académico-Técnico del Personal Administrativo y su relación con la Aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicación en las Pequeñas y Medianas Empresas del distrito de Changuinola?

Esta investigación es de vital importancia para los empresarios, la cámara de comercio, industrial y agropecuaria de Bocas del Toro (CCIAB) y la Autoridad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (AMPYME) del distrito de Changuinola, provee datos sobre la incorporación de las TIC en las PYMES en el distrito de Changuinola, las cuales generan un alto porcentaje de

empleo y de valor agregado, por lo que se consideran actores centrales en este trabajo.

## 2. Materiales y métodos

Este estudio se desarrolló con las Pequeñas y medianas empresas del distrito de Changuinola, provincia de Bocas del Toro, Panamá, región noroccidental fronteriza con Costa Rica en donde funcionan, actualmente, 162 PYMES, con ingresos que van desde los 70,000.00 hasta los 2,500,000.00 de dólares, saliendo una muestra de 114 con un nivel confianza del 95% y un margen de error de 5%. Para garantizar presencia de pequeñas y medianas empresas de todos los corregimientos del distrito de Changuinola, se procedió a realizar un muestreo estratificado por conglomerado, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Sujetos y Muestra de los estratos

Estrato	Identificación	Sujetos	Proporción	Muestra
1	Centro	64	39,5%	45
2	Cuadrante	6	3,7%	4
3	El Empalme	31	19,1%	22
4	Finca 11	15	9,3%	11
5	Finca 4	6	3,7%	4
6	Finca 6	9	5,6%	6
7	Finca 8	5	3,1%	4
8	Guabito	17	10,5%	12
9	Las 60 y 30	9	5,6%	6
		<b>162</b>	<b>100,0%</b>	<b>114</b>

La unidad de análisis fueron las personas consideradas como propietarios y/o gerentes que administran las PYMES.

Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo porque las variables del estudio fueron medidas y cuantificadas para verificar su aplicabilidad. El diseño de la investigación fue no experimental, ya que, no se manipulan las variables del estudio. El tipo de investigación fue descriptiva, debido a que, se analizó el nivel académico y capacitación técnica del personal administrativo y su relación con el uso de las tecnologías de la información y comunicación y, Por otro lado, transversal porque se midieron las variables del estudio en un solo momento.

### 2.1 Criterios

- **Criterios de inclusión:**

Empresas con ingresos que van desde los 70,000.00 hasta los 2,500,000.00 de dólares.

- **Criterios de exclusión:**

Empresas grandes con ingresos mayores de 2,500,000.00 de dólares y Microempresas con ingresos menores de 70,000.00 dólares.

La hipótesis de investigación quedó formulada de la siguiente manera: Un alto nivel académico o capacitación técnica del personal administrativo y adecuado equipamiento en *hardware*, *software* y conectividad en las PYMES beneficia el uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación.

### 2.2 Instrumentos de recolección de datos

Sobre la recolección de los datos [20], escribe que una vez seleccionamos el diseño de investigación apropiado y la muestra adecuada, de acuerdo con nuestro problema de estudio e hipótesis, se procede a recolectar los datos pertinentes sobre los atributos, conceptos o variables del estudio. Se utilizó la técnica encuesta con el instrumento cuestionario, conformado por preguntas cerradas para obtener los datos necesarios para determinar el uso de las TIC, nivel académico-técnico e infraestructura (equipamiento de *hardware*, *software* y conectividad). Para obtener esta información, se les solicitó a los administradores de las PYMES que llenaran la encuesta, divididas en tres bloques.

- **Variables: Nivel Académico-técnico**

El primer bloque contiene los ítems que responden al nivel académico-técnico del personal administrativo: Nivel académico, Capacitación en TIC, Cómo obtuvo el conocimiento en TIC y Experiencia en manejo de TIC.

- **Variable: uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación**

Este segundo bloque contiene los ítems que responden al uso de las tecnologías de la información y comunicación entre empresas: Uso internet en el negocio, Frecuencia de uso del computador, Nivel tecnológico de la empresa, Cantidad de personas adicional que usa TIC, Uso de las tecnologías en el negocio, Uso de las TIC para comunicar la empresa, Razones porque no tiene TIC en la empresa, Recibir asesoría y/o capacitación en el manejo de TIC.

- **Variables: Equipamiento hardware, software y conectividad**

Este tercer y último bloque contiene los ítems que responden el tipo de equipamiento *hardware*, *software* y conectividad: Utilización de Equipamiento en TIC, Tipo de equipamiento, Conexión a Internet, Tipo de conexión

de Internet, Tipo de comunicación Interna y Externa, y Tipo de software instalados.

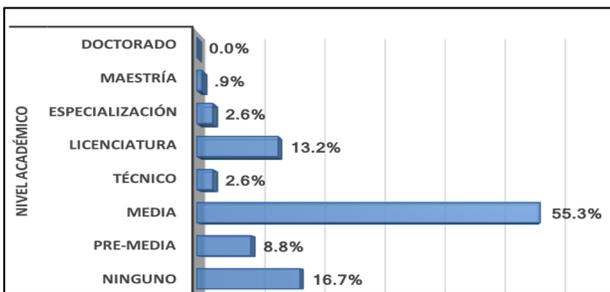
### 3. Resultados

Para determinar la validez de contenido del cuestionario, se aplicó el método de agregados individuales, en donde se solicitó a tres (3) especialistas en sistemas o negocios para que certificaran si, efectivamente, las preguntas, reactivos o afirmaciones seleccionadas eran claras y coherentes con el tema investigado.

En la evaluación de confiabilidad del instrumento, se utilizó el procedimiento Test-Retest, que implica la aplicación de la misma prueba o test dos veces a los mismos sujetos. Este procedimiento nos permitió evaluar el grado de estabilidad del instrumento en el tiempo. Posteriormente, se correlacionaron los pares de puntuaciones para obtener el coeficiente de fiabilidad del método Test-Retest, el cual debe estar entre 0.7 y 1.0 para aceptar las preguntas y los que estén por debajo de 0.7 para reformularlas o eliminarlas [21]. El coeficiente de fiabilidad obtenido para instrumento en curso fue de 0.9.

Para determinar la posible relación entre el nivel académico-técnico, el equipamiento de *hardware*, *software* y conectividad con el uso de las TIC se efectuó un análisis de estadística descriptiva, correlación de Pearson y la prueba de  $X^2$  (Chi al cuadrado). Estos procedimientos se realizaron con el apoyo del programa SPSS versión 22.0 y Microsoft Excel 2016.

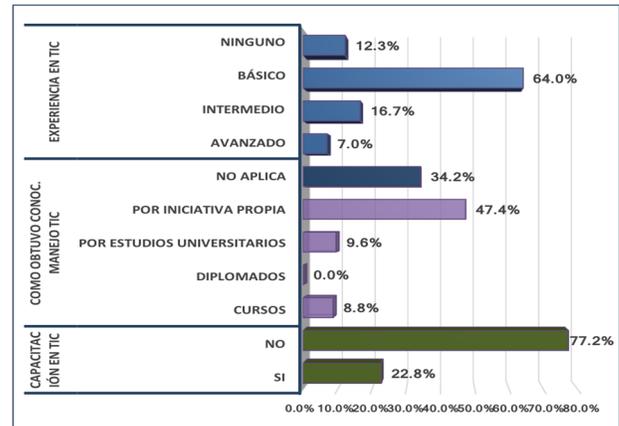
La figura 4 muestra, que de los propietarios y/o administradores encuestados, se destaca el hecho que, el nivel académico más notorio entre los administradores es el nivel medio (Bachillerato) con un 55.3% y solo el 19.3% posee estudios técnicos-universitarios.



**Figura 4.** Nivel Académico de los administradores de las PYMES.

La figura 5 muestra que, en función del nivel de experiencia obtenida en el manejo de las TIC, el 64% de

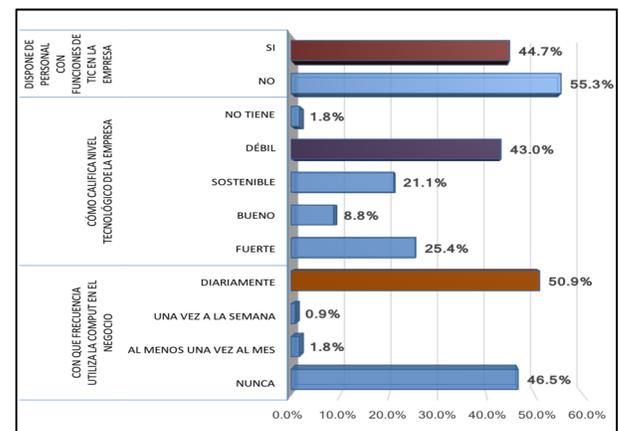
los administradores tiene los conocimientos básicos y sólo el 23.7% tiene un nivel de experiencia en manejo de TIC de intermedia a avanzada. Por otra parte, el 34.2% no tiene conocimiento en TIC, y el 47.4% obtuvo el conocimiento en manejo de las TIC de manera empírica o por iniciativa propia. Cabe resaltar que el 77.2% restante no ha tomado capacitación en el manejo de las TIC para la empresa.



**Figura 5.** Capacitación, conocimiento y experiencia de los administradores de las PYMES en TIC.

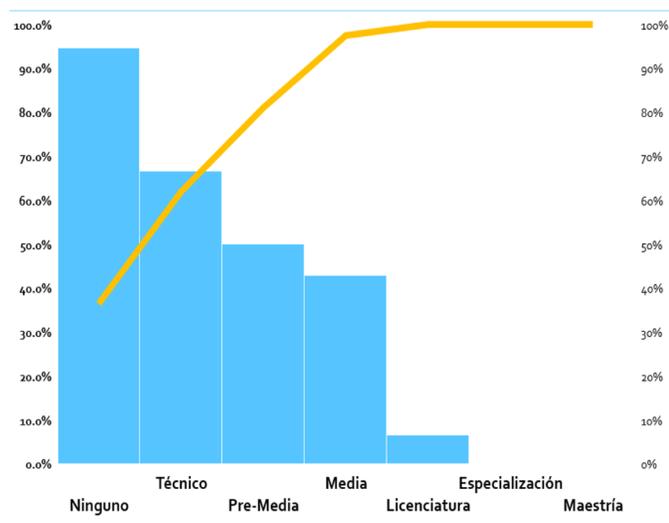
La figura 6 muestra que solo el 44.7% de las empresas tienen terceras personas para manejar las TIC. De las empresas que manejan tecnología, se destaca que el 43% considera tener un débil nivel tecnológico y solo el 25.4% considera tener un fuerte nivel tecnológico.

La frecuencia con que se utiliza la computadora en el negocio, el 50% la utiliza diariamente y el 46.1% no la utiliza en el negocio.



**Figura 6.** Personal con funciones TIC, nivel tecnológico y frecuencia de uso de las TIC en las PYMES.

Al realizar la correlación de Pearson, encontramos que existen niveles significativos aceptables de 0.507 entre las variables nivel académico-técnico del personal administrativo y su relación con el uso de las tecnologías de la información y comunicación, las dos variables se correlacionan en sentido directo. A mayor nivel académico-técnico, mayor frecuencia de uso de las TIC y a menor nivel académico-técnico, menor frecuencia de uso de las TIC, ver figura 7.



**Figura 7.** Relación entre el nivel académico-técnico de los administradores y la frecuencia de uso de las TIC en las PYMES.

Existe una relación entre nivel académico de los propietarios o/y administradores con la frecuencia de uso de las TIC en la empresa. Esto demuestra que a menos nivel académico menos uso frecuente de las TIC en el negocio.

El  $\chi^2$  "P=0.00001" es menor que 0.01, concluye que las dos variables nivel académico-técnico y frecuencia de uso de las TIC, no son independientes. El nivel académico-técnico está relacionado con la frecuencia de uso de las TIC y no son independientes.

El nivel académico y capacitación técnica está relacionado con la frecuencia de uso de las TIC, por ende, se demuestra, estadísticamente, que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación.

#### 4. Conclusiones

Al analizar el nivel académico-técnico del personal administrativo y su relación con el uso de las tecnologías de la información y comunicación en las pequeñas y

medianas empresas del distrito de Changuinola podemos concluir:

Las relaciones entre nivel académico de los propietarios o/y administradores con la frecuencia de uso de las TIC en la empresa, demuestra que, a menos nivel académico, menos uso frecuente de las TIC en el negocio.

Al realizar la correlación de Pearson, se encontró que existen niveles significativos aceptables de 0.507 entre las variables nivel académico-técnico del personal administrativo y su relación con el uso de las tecnologías de la información y comunicación, las dos variables se correlacionan en sentido directo. De las PYMES encuestadas, la que poseían administradores con un mayor nivel académico-técnico tenían una frecuencia de uso mayor de las TIC en la empresa y los que tenía un menor nivel académico-técnico, tenían una frecuencia menor de uso de las TIC en el negocio.

Sobre las relaciones entre si se ha recibido capacitación en TIC y su uso frecuente por los administradores y/o propietarios de las PYMES encuestadas, al realizar la correlación de Pearson, se encontró que existen niveles significativos aceptables entre las variables Capacitación en TIC del personal administrativo y su relación con el uso frecuente de las TIC, las dos variables se correlacionan en sentido inverso.

El  $\chi^2$  tiene una significancia de  $p=0.0001$  es menor que alfa, concluye que las dos variables nivel académico-técnico y frecuencia de uso de las TIC, no son independientes. Dados estos resultados se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis de investigación, que afirma que, un alto nivel académico o capacitación técnica del personal administrativo y adecuado equipamiento en *hardware*, *software* y conectividad en las PYMES beneficia el uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación.

De este trabajo nace la idea de investigar sobre, como Internet influye en las PYMES del distrito de Changuinola.

#### 5. Agradecimiento

La historia de un trabajo de investigación es, a fin de cuentas, la historia de todos los que han aportado en el desarrollo de este proyecto: de manera especial, agradecer al Dr. Vicente Herrera y Dra. Vanessa Valdés, por su asesoramiento y apoyo; a la Autoridad para la

Micro, Pequeña y Mediana Empresa, oficina provincial de Bocas del Toro; Al magíster Julio Aguilera presidente de la Cámara de Comercio, Agropecuaria e Industrial de Bocas del Toro; Al Instituto Nacional de Estadística y Censo, oficina regional de Bocas del Toro; y en especial a los propietarios y/o administradores de las pequeñas y medianas empresas del Distrito de Changuinola por confiar en este trabajo.

## 6. Referencias

- [1] G. Ekuobase y V. Olutayo, «Study of Information and Communication Technology (ICT) maturity and value: The relationship,» *Egyptian Informatics Journal*, vol. 17, n° 3, pp. 239-249, 11 2016.
- [2] A. Mačiulytė-Šniukienė y E. Gaile-Sarkane, «Impact of information and telecommunication technologies development on labour productivity,» *Procedia, social and behavioral sciences*, vol. 2014, n° 110, pp. 1271-1282, 2013.
- [3] D. Wanyoike, E. Mukulu y A. Waititu, «ICT Attributes as Determinants of E-commerce Adoption by Formal Small Enterprises in Urban Kenya,» *International Journal of Business and Social Science*, vol. 3, n° 23, pp. 65-74, 12 2012.
- [4] Unión Internacional de las Telecomunicaciones, «Evaluación de las TIC para el desarrollo económico y social,» 2006. [En línea]. Available: <https://robertoigarza.files.wordpress.com/2008/11/rep-evaluacion-de-las-tics-para-el-desarrollo-social-resumen-uit-2006.pdf>. [Último acceso: 20 11 2016].
- [5] ITU, «Measuring the Information Society Report. Volume 2. ICT Country profiles,» Geneva, 2017.
- [6] S. Rovira, P. Santoleri y G. Stumpo, «ICTs adoption in Latin American firms: the use and disuse of public policies to encourage their dissemination,» 1 2013. [En línea]. Available: [https://mpr.ub.uni-muenchen.de/65711/1/MPRA\\_paper\\_65711.pdf](https://mpr.ub.uni-muenchen.de/65711/1/MPRA_paper_65711.pdf). [Último acceso: 5 11 2016].
- [7] A. Tarutė y R. Gatautis, «ICT Impact on SMEs Performance,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 110, pp. 1218-1225, 1 2014.
- [8] INEC, «Cuadro 14. Empresas en la República, por naturaleza jurídica, según nivel de ingreso y provincia: año 2009,» 2009. [En línea]. Available: [https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=54&ID\\_PUBLICACION=510&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=10](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=54&ID_PUBLICACION=510&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=10). [Último acceso: 2 11 2016].
- [9] Asamblea Legislativa, «LEY N° 8 De la Autoridad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa,» Changuinola, 200.
- [10] R. Gonzalez, «Capacitación: prioridad para PYMES panameñas,» 23 6 2015. [En línea]. Available: <http://www.anpanama.com/3839-Capacitacion-Prioridad-para-PYMES-panamenas.note.aspx>. [Último acceso: 15 4 2017].
- [11] M. Perez, A. Martinez, P. De Luis y M. Vela, «Las TIC en las PYMES: Estudio de resultados y factores de adopción,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.minetad.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/360/3P93-105\\_%20Ei%20360-10.pdf](http://www.minetad.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/360/3P93-105_%20Ei%20360-10.pdf). [Último acceso: 1 11 2016].
- [12] L. Berrio, «PYMES crecen con el uso de herramientas tecnológicas,» 6 9 2016. [En línea]. Available: <http://www.capital.com.pa/pymes-crecen-con-el-uso-de-herramientas-tecnologicas/>. [Último acceso: 10 12 2016].
- [13] N. Hernandez, E. De La Garza y L. Falcon, «Análisis Comparativo de factores competitivos de las PYMES del estado de Colima, Durango y Veracruz,» *Revista Global de Negocios*, vol. 2, n° 2, pp. 113-123, 2014.
- [14] J. A. Hoyos y A. Valencia, «El papel de las TIC en el entorno organizacional de las PYMES,» *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, n° 7, pp. 105-122, 12 2012.
- [15] C. E. Carlos-Ornelas, D. Ábrego Almazán, M. Aguilar, L. Aguilera, M. Fernando, M. Camarena y L. Galván, «Paradigmas Emergentes en Ciencias Administrativas y Desarrollo Regional,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Monica\\_Sanchez\\_Limon/publication/309397837\\_La\\_calidad\\_de\\_los\\_servicios\\_publicos\\_basados\\_en\\_la\\_percepcion\\_de\\_los\\_usuarios\\_del\\_Supremo\\_Tribunal\\_de\\_Justicia\\_del\\_Estado\\_de\\_Tamaulipas/links/580e379e08ae7525273d12b4.pdf#page=60](https://www.researchgate.net/profile/Monica_Sanchez_Limon/publication/309397837_La_calidad_de_los_servicios_publicos_basados_en_la_percepcion_de_los_usuarios_del_Supremo_Tribunal_de_Justicia_del_Estado_de_Tamaulipas/links/580e379e08ae7525273d12b4.pdf#page=60). [Último acceso: 20 1 2017].
- [16] Fundación EOI, «Las nuevas tecnologías TIC y su impacto en la competitividad de las Pymes y en la demanda de empleo con nuevos perfiles profesionales,» 1 1 2003. [En línea]. Available: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20484/las-nuevas-tecnologias-tic-y-su-impacto-en-la-competitividad-de-las-pymes-y-en-la-demanda-de-empleo-con-nuevos-perfiles-profesionales>. [Último acceso: 1 11 2016].
- [17] E. Zevallos, «Obstáculos al desarrollo de las pequeñas y medianas empresas en América Latina,» 6 2006. [En línea]. Available: <http://jefas.esan.edu.pe/index.php/jefas/article/view/186>. [Último acceso: 20 10 2016].
- [18] E. Zevallos, «Obstáculos al desarrollo de las pequeñas y medianas empresas en América Latina,» 2006.
- [19] C. Ossa, «La Educación Continua un Modelo de Desarrollo,» 10 4 2017. [En línea]. Available: <https://revistaempresarial.com/educacion/diplomados-y-especializaciones/educacion-continua-modelo-desarrollo/>. [Último acceso: 14 4 2017].
- [20] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, Sexta ed., México: McGraw Hill, 2014, p. 613.
- [21] M. d. R. Silva y M. L. Brain, *Validez y confiabilidad del estudio socioeconómico*, México: UNAM, 2006.

# Estudio experimental del concreto poroso con la incorporación de distintas granulometrías

## Experimental study of porous concrete with the incorporation of different granulometries

Manuel R. Pinto <sup>1\*</sup>, Clara I. Carrasco <sup>2</sup>, Karen E. Caballero <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Grupo de Investigación: Ciencia y Tecnología del Concreto (CITEC), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [marodrigo11@hotmail.com](mailto:marodrigo11@hotmail.com)

**RESUMEN**— El concreto poroso por lo general es un tipo de concreto sin agregado fino cuya principal característica y diferencia del concreto convencional es su permeabilidad, gracias a su estructura porosa. En este documento se presenta un estudio del comportamiento del concreto poroso en su resistencia a compresión y permeabilidad con diferentes nominaciones de grava, con la finalidad de encontrar resistencias que vayan acuerdo a las diferentes aplicaciones en campo como aceras y hombros de pavimentos. Para lograrlo se utilizaron diferentes granulometrías con diámetros de grava que van de 3/4" a 3/8", cemento tipo 1 estructural y aditivos. Como resultado se obtuvo las propiedades en estado fresco como el reventamiento y propiedades en estado endurecido como la permeabilidad y las resistencias a compresión de cada serie presentada y su variación a medida que se cambia el tipo de agregado.

**Palabras clave**— *concreto poroso, permeabilidad, porosidad, tasa de filtración.*

**ABSTRACT**— Porous concrete is usually a type of concrete without fine aggregate whose main characteristic and difference from conventional concrete is its permeability, thanks to its porous structure. This paper presents a study of the behavior of porous concrete in its resistance to compression and permeability with different gravel nominations, in order to find resistances that are suitable for different applications in the field such as sidewalks and pavement shoulders. To achieve this, different granulometries with gravel diameters ranging from 3/4" to 3/8", structural type 1 cement and additives were used, resulting in properties in the fresh state such as slump and hardened properties such as permeability. and the compression resistance of each series presented and its variation as the type of aggregate is changed.

**Keywords**— *porous concrete, permeability, porosity, filtration rate.*

### 1. Introducción

El hormigón poroso es un hormigón sin finos, o con pocos finos, con una relación agua/cemento baja, que se usa principalmente en aplicaciones de poco volumen. Es un hormigón de baja resistencia, seco, permeable, que se puede usar para crear un pavimento de buena calidad estructural, que drene el agua de lluvia, lo que reduce el escurrimiento y favorece el abastecimiento de las aguas subterráneas [1].

El diseño de concreto poroso en pavimentos de estructura porosa, en obras de vías y carreteras, proporciona los siguientes beneficios: disminuye el riesgo en la circulación en presencia de lluvia, disminuye los gradientes térmicos y de humedad, y el material presta dos funciones adicionales: drenaje y auto ventilación; al aumentar la estructura de los macro poros. Esto como

consecuencia de la infiltración del agua en la superficie del pavimento [2].

Existen diferentes estudios y aplicaciones que se le ha realizado al concreto poroso, Orozco [3] realizó estudios sobre la porosidad del concreto y los efectos que tiene en la durabilidad y la resistencia.

Por otro lado, Vladimir et. al [4] realizaron estudios sobre el comportamiento del concreto poroso bajo un agregado grueso específico con diferentes porcentajes de vacíos en su diseño, de esta manera obteniendo una comparativa entre la resistencia obtenida con el porcentaje de vacíos.

En cuanto a la diferencia que hay entre un concreto convencional y el concreto poroso, los autores Tennis et. al [5] mencionan que, en los pavimentos permeables, aparte de tomar en cuenta para su diseño la resistencia a

**Citación:** M. Pinto, C. Carrasco y K. Caballero, "Estudio experimental del concreto poroso con la incorporación de distintas granulometrías", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (57-65), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 1 de marzo de 2018. **Recibido con correcciones:** 20 de septiembre de 2018. **Aceptado:** 16 de octubre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/idt.v14.2.2074>

**Copyright:** 2018 M. Pinto, C. Carrasco y K. Caballero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

la carga aplicada y sus propiedades mecánicas, como en los pavimentos convencionales, también se toman en cuenta factores hidráulicos como la relación de vacíos y permeabilidad.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el comportamiento del concreto poroso con la incorporación de diferentes granulometrías y de esta manera obtener resistencias adecuadas para la aplicación en campo.

## 2. Programa experimental

Para la presente investigación se utilizó los 3 tipos de grava como especifica la Norma ACI 522R-06 [6], las cuales van de 3/4" como tamaño máximo hasta 3/8" como tamaño de agregado mínimo. En el estudio se eliminó el uso de agregado fino, arena.

Para llevar un orden de los resultados se propuso seis diferentes tipos de series para evaluar las propiedades con agregados de una sola nominación y también combinados, las cuales se muestran a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1.** Series de concreto poroso propuestos

Número de Serie	Concreto poroso (Nominación de grava)
Serie 1	Agregado 3/4"
Serie 2	Agregado 1/2"
Serie 3	Agregado 3/8"
Serie 4	Agregado combinado 75% de 3/4" y 25% de 3/8"
Serie 5	Agregado combinado 75% de 1/2" y 25% de 3/8"
Serie 6	Agregado premezclado

En el diseño de mezcla del concreto poroso es de suma importancia garantizar resistencias que sean factibles para diferentes aplicaciones en la rama de la ingeniería civil, así como también su permeabilidad.

Estas resistencias son alcanzadas mediante parámetros que definen el comportamiento de este tipo de concreto, los cuales se mencionan a continuación.

### 2.1 Relación agua/ cemento

La relación agua/cemento en el concreto poroso es sumamente importante, ya que modifica las resistencias e influyen en la estructura de vacíos. Según la Norma ACI 522R-06 [6], se usan generalmente relaciones agua/cemento que van desde el rango de 0.26 a 0.45,

dependiendo del agregado y el uso de aditivos. En nuestra investigación se utilizó una relación agua/cemento de 0.36, ya que por estudios experimentales previos, utilizando relaciones agua/cemento de 0.57, 0.45, 0.40 y 0.38, la pasta de cemento se escurría al fondo y no contribuía a la cohesión y adherencia de la grava dentro de la mezcla, tapando también los poros, afectando su permeabilidad. Mientras que utilizando una relación agua/cemento de 0.33 y 0.30 la pasta de cemento quedaba parcialmente seca por la poca cantidad de agua que contenía. A continuación, en las figuras 1, 2 y 3 se muestran los efectos de las relaciones agua/cemento dentro de la matriz del concreto.



**Figura 1.** Muestra de concreto poroso con poca cantidad de agua. Tennis et. al [5]



**Figura 2.** Muestra de concreto poroso con adecuada cantidad de agua. Tennis et. al [5].



**Figura 3.** Muestra de concreto poroso con mucha cantidad de agua. Tennis et. al [5].

## 2.2 Relación agregado/ cemento

Se utilizó una relación de agregado/cemento de 1:4 según el criterio de Tennis et. al [5] para el agregado de 3/4", es decir 1 parte de cemento y 4 partes de agregado, ya que este agregado al ser de mayor tamaño necesitaba más pasta para cubrir las partículas de este agregado y así obtener mejor cohesión entre las partículas. Mientras que para los otros agregados 1/2" y 3/8" se utilizó una relación de agregado/cemento de 1:4.5 según Tennis et. al [5], es decir 1 parte de cemento y 4.5 partes de agregado.

## 2.3 Revenimiento

La prueba de revenimiento o como también se le conoce, prueba de asentamiento, es el ensayo que se le realiza al concreto para medir la consistencia de la misma. Esta prueba se realizó según la norma ASTM C143 [7] la cual es la que se utiliza para concreto convencional.

## 2.4 Resistencia a compresión

El ensayo de resistencia a compresión se regula bajo la norma ASTM C39 [8], la cual presenta los diferentes parámetros y procedimientos a seguir para realizar la prueba, así como también el equipo a utilizar.

Todos los cilindros ensayados se les confeccionó una capa de yeso y cemento en ambas superficies, esto para garantizar una superficie plana y evitar errores en el ensayo. La base del cilindro y la superficie donde iba ser aplicada la carga, eran rugosas y no uniformes, debido al tamaño de las partículas. Gracias a la superficie de yeso y cemento, el pistón de la máquina de compresión bajaba totalmente centrado y uniforme en todo el cilindro, evitando de esta manera errores en los resultados. Los más comunes varían entre 140 kg/cm<sup>2</sup> y 176 kg/cm<sup>2</sup> según la Norma ACI 522R-06 [6].

A continuación, en la figura 4 se muestran los cilindros sin la superficie de yeso y cemento y en la figura 5 se muestra los cilindros con la superficie ya descrita.



**Figura 4.** Cilindros de concreto poroso sin superficie de yeso y cemento.



**Figura 5.** Cilindros de concreto poroso con superficie de yeso y cemento.

## 2.5 Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad busca determinar la tasa de filtración que se tiene en el concreto poroso. Para realizar la prueba de permeabilidad se confeccionó una losa con dimensiones ya descritas anteriormente de 16" largo x 16" de ancho x 3" de altura, la cual fue probada para ver su capacidad de filtración.

La prueba de permeabilidad se realizó según los parámetros descritos en la Norma ASTM C1701 [9]. Consiste en verter agua en una losa de concreto poroso previamente fabricada y cronometrar el tiempo, de esta manera calcular la tasa de filtración. El lugar donde se vaya a realizar la prueba no debe tener ningún tipo de inclinación y debe estar limpio.

Se debe colocar un anillo de filtración de 11.5" a 12" de diámetro, de esta manera controlar el espacio donde se va a verter.

A continuación, en la figura 6 se muestra la instalación del anillo de filtración en la losa de concreto, al igual que el sistema completo para realizar la prueba.



Figura 6. Anillo de filtración de 11.5'' de diámetro.



Figura 7. Sistema de captación de agua completo para prueba de filtración.

El agua fue filtrada por la losa, mientras esto ocurría se estará cronometrando el tiempo. El tiempo se cronometra desde que el agua toca la superficie del concreto poroso hasta que este deje de filtrar.

Una vez cronometrado el tiempo se procede a realizar los cálculos según la Norma ASTM C1701 [9].

Para calcular la tasa de infiltración ( $I$ ) utilizando unidades consistentes se utiliza la siguiente fórmula que describe la norma Norma ASTM C1701 [9].

$$I = \frac{KM}{(D^2 \times t)} \quad (1)$$

En donde:

$I$  = Tasa de infiltración, mm/h (pulgadas/horas)

$M$  = Masa de infiltración de agua, kg (lb)

$D$  = Diámetro interior del anillo de infiltración, mm (pulg)

$t$  = Tiempo requerido para que una cantidad medida de agua se infiltre en el concreto, (s)

$K$  = 4,583,666,000 ( $mm^3 \times \text{seg}$ ) / (kg / hora) en el Sistema Internacional o 126,870 ( $pulg^3 \text{ seg}$ ) / (lb x hora) en el Sistema Pulgada-Libra.

Los valores más comunes varían entre 18 gal/min/pies<sup>2</sup> (81 to 730 L/min/m<sup>2</sup>) según la Norma ACI 522R-06 [6].

### 3. Diseño de mezcla de concreto poroso

El concreto poroso al no tener agregado fino se dificulta su manejabilidad, ya que este comienza a fraguar rápidamente. Para mejorar este efecto se utilizó un aditivo superplastificante-retardante el cual mejoró la trabajabilidad de la mezcla.

Por otro lado, para los diseños propuestos se asumió una densidad de 2000 kg/m<sup>3</sup> la cual está dentro de los parámetros de densidades del concreto poroso, según la ACI 522R-06 [6], y el mismo permite el aumento de los parámetros de diseño (cemento, grava, agua).

Para cada una de las seis series mencionadas anteriormente se fabricaron cuatro cilindros cuyas medidas se especifican en la norma ASTM C-39 [8], cuyo ensayo se realizaba a los 7 y 28 días. Adicional se fabricó una losa de 16''x16''x3'' la misma se utilizó para evaluar la permeabilidad.

A continuación, se muestra la tabla 2 donde se aprecia el resumen del diseño para gravas de diámetro de 3/4'' con una relación de agregado/cemento 1:4 y la Tabla 3 donde se muestra el resumen del diseño para gravas de diámetro de 1/2'' y 3/8'' con una relación de agregado/cemento 1:4.5.

Tabla 2. Resumen de diseño del concreto poroso donde predomine la grava 3/4''

Diseño donde predomine la grava 3/4''	
Proporciones para el diseño	
A/C	0.36
Aditivo (%)	0.30%
Cemento (kg)	26.43
Agregado Grueso (kg)	105.71
Agua (kg)	9.51

Tabla 3. Resumen de diseño del concreto poroso para gravas de 1/2'' y 3/8''

Diseño donde predomine la grava 1/2'' y 3/8''	
Proporciones para el Diseño	
A/C	0.36
Aditivo (%)	0.30%
Cemento (kg)	24.17
Agregado Grueso (kg)	108.78
Agua (kg)	8.70

## 4. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos dentro de los ensayos y posteriormente el análisis que se ha realizado para el presente estudio.

### 4.1 Revenimiento

A continuación, en la tabla 4 se muestra los resultados obtenidos en el revenimiento.

**Tabla 4.** Resultados de las series para la prueba de revenimiento

Concreto poroso (Nominación de Grava)	Revenimiento (pulgadas)
Agregado 3/4"	0
Agregado 1/2"	0.2
Agregado 3/8"	0.2
Agregado combinado 75% de 3/4" y 25% de 3/8"	0.1
Agregado combinado 75% de 1/2" y 25% de 3/8"	0.3
Agregado premezclado	0.2



**Figura 8.** Prueba de revenimiento a la serie 1, con agregado de 3/4".

Como se puede observar en la tabla 4, el revenimiento para todas las series es casi nula. La serie 1 de material 3/4" presentó el menor revenimiento que fue de 0 mientras que la mayor la presentó la serie 5 de material combinado de 1/2" con 3/8" con un revenimiento de 0.3 cm.

A pesar que se usó el aditivo en las seis series, no afectó directamente al ensayo de revenimiento en cuanto

a su consistencia, como se muestra en la figura 8, sin embargo sí ayudó a su trabajabilidad y retardo del fraguado gracias a la reducción de su uso al 0.3%.

### 4.2 Resistencia a Compresión

Los resultados al ensayo de la resistencia a compresión del concreto poroso se muestran en la tabla 5 y tabla 6 a continuación.

**Tabla 5.** Resultados al ensayo a compresión de las series con grava de una sola nominación

Resistencia a compresión Serie 1 (3/4")			
		Esfuerzo	
Día	Carga (kg)	kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	23400	132.42	135.25
	24400	138.08	
Resistencia a compresión Serie 2 (1/2")			
		Esfuerzo	
Día	Carga (kg)	kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	29800	168.63	160.71
	27000	152.79	
Resistencia a compresión Serie 3 (3/8")			
		Esfuerzo	
Día	Carga (kg)	kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	35600	201.45	197.49
	34200	193.53	

**Tabla 6.** Resultados al ensayo a compresión de las series con grava combinada

Resistencia a compresión Serie 4 (75% 3/4" - 25% 3/8")			
		Esfuerzo	
Día	Carga (kg)	kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	27000	152.79	149.96
	26000	147.13	
Resistencia a compresión Serie 5 (75% 1/2" - 25% 3/8")			
		Esfuerzo	
Día	Carga (kg)	kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	31000	175.42	176.55
	31400	177.69	

Resistencia a compresión Serie 6 (Premezclado)			
		Esfuerzo	
Día	Carga (kg)	kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	46800	264.83	248.42
	41000	232.01	

### 4.3 Permeabilidad

Los resultados de la prueba de permeabilidad se muestran a continuación en la tabla 7 y tabla 8.

**Tabla 7.** Resultados en las pruebas de permeabilidad del concreto poroso para series 1,2 y 3

Número de Serie	1	2	3
Prehumectación (seg)	12.26	12.26	13.30
Cantidad Vertida (kg)	18	18	18
Tiempo de Filtración (seg)	36.03	36.03	37.07
Agua filtrada por Losa (kg)	17.75	17.75	17.35
Agua Retenida por Losa (lt)	0.25	0.25	0.65
Infiltración (pulgada/hora)	1065.02	1065.02	1035.14
Infiltración (mm/hr)	27051.5	27051.5	26292.5

**Tabla 8.** Resultados en las pruebas de permeabilidad del concreto poroso para series 4,5 y 6

Número de Serie	4	5	6
Prehumectación (seg)	13.53	10.79	13.37
Cantidad Vertida (kg)	18	18	18
Tiempo de Filtración (seg)	35.53	35.21	37.90
Agua filtrada por Losa (kg)	17.85	17.85	17.65
Agua Retenida por Losa (lt)	0.15	0.15	0.35
Infiltración (pulgada/hora)	1050.53	1041.07	1012.47
Infiltración (mm/hr)	26683.5	26443.2	25716.7

## 5. Análisis De Resultados

### 5.1 Análisis de Resultados en los ensayos de resistencia a compresión

En los ensayos a compresión, las series donde se presentó una sola nominación de grava, es decir las series

1, 2 y 3, ver tabla 5; se pudo observar que la resistencia más baja fue de la serie 1 de 3/4", esto se debe a que la partícula es más grande y a pesar que tenga el mismo volumen para un cilindro, no tiene la misma capacidad para soportar carga.

Para la serie 2 de 1/2" presentó un ligero aumento en la resistencia a los 28 días, como era de esperarse ya que la partícula al ser de menor tamaño que 3/4" aumenta la cohesión entre las partículas, mejorando de esta manera el confinamiento entre ellas. El aumento presentado fue de 18.8% de la resistencia respecto a la serie 1.

Para la serie 3 de 3/8" se presentaron los mejores resultados para las series de una sola nominación, donde aumentó un 46% más de resistencia con respecto a la serie 1. En la tabla 9 se tabulan los resultados con el porcentaje en aumento de resistencia a medida que se disminuye el tamaño nominal de la grava.

**Tabla 9.** Aumento de resistencias en las series de una sola nominación

Número de Serie	Promedio de resistencia a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Aumento en resistencia
Serie 1	135.25	
Serie 2	160.71	18.8 %
Serie 3	193.53	46%

Por otro lado, para las series de nominación combinadas 4 y 5 presentaron ligeros aumentos en resistencia cuando se combinaba con el 25% de agregado 3/8". Para la serie 1 de 3/4" y la serie 4 de 3/4" con 3/8" se presentó un aumento del 10.8% de la resistencia gracias al porcentaje de 3/8" que presentaba la serie 4, ver tabla 10.

**Tabla 10.** Aumento de resistencia en la serie 4 con respecto a la serie 1.

Número de Serie	Promedio de resistencia a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Aumento en Resistencia
Serie 1	135.25	
Serie 4	149.96	10.8%

El 25% de agregado 3/8" que tiene la serie 4 contribuye en los espacios de mayor tamaño en la estructura del concreto poroso sean rellenados y de esta

manera tener más confinamiento entre las partículas junto con la pasta de cemento para tener ese aumento en la resistencia.

De igual manera para la serie 5 de 1/2" con 3/8" se presentó un aumento de la resistencia con el 25% de agregado de 3/8" con respecto a la serie 2 de 1/2". El aumento presentado fue de un 10% con respecto a la serie 2, ver Tabla 11.

**Tabla 11.** Aumento de resistencia en la serie 5 con respecto a la serie 2

Número de Serie	Promedio de resistencia a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Aumento en resistencia
Serie 2	160.71	
Serie 5	176.55	10%

Para la serie número 6 de premezclado en el cual no se hace ningún tipo de división de material o porcentajes, presentó los mejores resultados de resistencia en todas las series, gracias a la combinación de los tres tipos de gravas que se utilizaron en el concreto. El confinamiento entre las partículas fue el mejor, de manera que cuando estaban sometidos a cargas se lograra alcanzar resistencias más elevadas.

Por medio de la granulometría del agregado se puede observar qué porcentaje de cada nominación de material se encontraba en el concreto de la serie 6. Los resultados del porcentaje de cada material se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12.** Porcentaje de cada grava en serie 6

Tipo de grava	% que contenía
3/4"	61.64 %
1/2"	32.15 %
3/8"	5.47 %
N.º4	0.09%
N.º8	0.65%

Como se puede observar en la tabla 12, la grava predominante en la serie era la de 3/4". Al tener mayor porcentaje de esta grava, hay mayor cantidad de vacíos en la estructura del concreto. La grava de 1/2" ayudaba llenar estos huecos dejados por el material 3/4" y de esta manera mejorar el confinado. Lo mismo pasaba con la

grava 3/8" que a pesar de tener un bajo porcentaje en el concreto, ayudaba a tener más confinamiento en la estructura del concreto. Los demás porcentajes eran muy bajos por los que se podían considerar despreciables para una amasada.

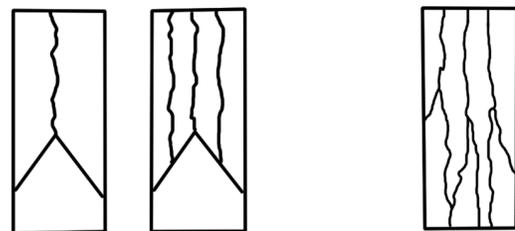
De esta manera, en resumen, los mejores resultados para las series de una sola nominación la presentó la serie 3 de material único nominal de 3/8", mientras que los mejores resultados para las series combinadas la presentó la serie 6 de material premezclado. En la tabla 13 se puede ver los resultados para estas dos series.

**Tabla 13.** Mejores resultados presentados en los ensayos a compresión

Número de Serie	Promedio de resistencia a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
Serie 3	193.53
Serie 6	248.42

## 5.2 Tipos de fallas presentadas

Según la norma ASTM C39 [8] hay seis tipos de fallas que depende de muchos factores como lo son: la formación de los conos, confinamiento de las partículas, nivelación de los cabezales, entre otros. En la figura 9 se muestran los tipos de fallas que se presentaron en los ensayos.



**Tipo 2**

Cono bien formado en un extremo, grietas verticales que atraviesan las tapas, sin cono bien definido en el otro extremo.

**Tipo 3**

Fisuras verticales a través de cada extremo, sin conos bien formados.

**Figura 9.** Esquema de los patrones típicos de fractura (ASTM C39) [8].

Al realizar los ensayos a compresión a los especímenes de concreto poroso, se obtuvieron los

siguientes tipos de fallas que se describen en la tabla 14 y tabla 15.

**Tabla 14.** Tipos de fallas presentadas en el concreto poroso con grava de una sola nominación

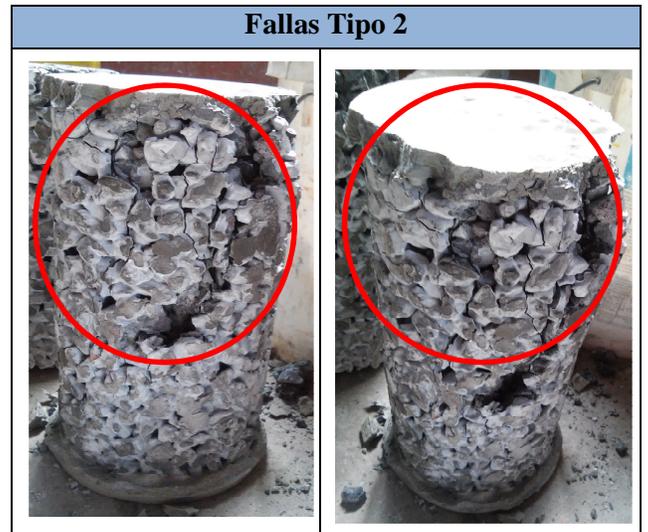
Número de Serie	Tipo de material	Edad (Días)	Tipo de falla
1	3/4"	7	3
			2
		28	3
			3
2	1/2"	7	3
			2
		28	3
			3
3	3/8"	7	3
			3
		28	3
			3

**Tabla 15.** Tipos de fallas presentadas en el concreto poroso con grava combinada

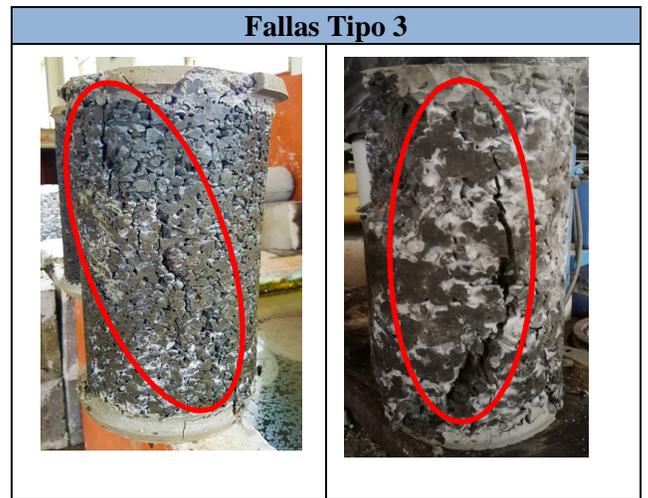
Número de Serie	Tipo de material	Edad (Días)	Tipo de falla
4	75% -3/4" y 25% - 3/8"	7	3
			2
		28	3
			3
5	75% -1/2" y 25% - 3/8"	7	2
			3
		28	3
			3
6	Premezclado	7	3
			3
		28	3
			3

En los resultados se puede observar que la falla predominante es la falla tipo 3, la que corresponde a un agrietado vertical. Esto se debe a la uniformidad de los agregados en el molde del cilindro, al no tener agregado fino el cilindro depende directamente del agregado y la pasta de cemento, lo que dificulta el varillado y la formación del cilindro. Lo mismo pasa con la falla tipo 2, que produce grietas verticales en el cilindro ya que los conos no están bien formados por la uniformidad de los agregados. Garantizar la homogeneidad en el concreto

poroso a la hora de fabricar un espécimen se dificulta a medida de que el tamaño nominal es más grande. En la figura 10 se muestra las fallas tipos 2 presentadas en el concreto poroso y en la figura 11 las fallas tipo 3.



**Figura 10.** Fallas Tipo 2 presentadas en la serie 1 de agregado 3/4".



**Figura 11.** Fallas Tipo 3 presentadas en la serie 3 de agregado 3/8" (izquierda) y en el premezclado (derecha).

### 5.3 Análisis de resultados en los ensayos de permeabilidad

Las variaciones en la tasa de filtración fueron mínimas en cada serie. En la tabla 18 se muestran los resultados de las tasas de filtración para cada serie en unidades de pulgadas/hora.

**Tabla 16.** Resultados de la permeabilidad de las series en unidades (pulgadas/hora)

Número de serie	Tasa de filtración (pulgadas/hora)
Serie 1	1065.02
Serie 2	1065.02
Serie 3	1035.14
Serie 4	1050.53
Serie 5	1041.07
Serie 6	1012.47

Como se observa en la tabla 16, los resultados tienen pocas variaciones entre sí. Esto se debe a que tanto los parámetros de diseños como el proceso de capas y compactación en la fabricación de las losas fueron los mismos en todos. Se alcanzó a consolidar los diferentes tipos de gravas puestas en estudio con la pasta de cemento para que de esta manera el porcentaje de vacíos fuera el mismo en todas las series. De esta manera alcanzando resultados óptimos para todos los ensayos a compresión y permeabilidad.

## 6. Conclusiones

De acuerdo a la investigación realizada y subsecuente al análisis de los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Los resultados de las series indican que, utilizando una relación de agua/cemento de 0.36 se consigue una mejor manejabilidad y trabajabilidad del concreto poroso y de esta manera garantizar el confinamiento y adherencia de la grava con la pasta de cemento.
2. Los resultados muestran que a medida que disminuye el tamaño nominal de la grava aumenta la resistencia a compresión debido al confinamiento de las partículas. Mientras que para la permeabilidad a medida que el tamaño de la grava aumenta, mayor será la permeabilidad.

3. La nominación de grava de 3/8" fue la que más aportó en las resistencias a la hora de combinarse con otro tipo de grava.
4. La capacidad de filtración del concreto poroso no depende únicamente de la granulometría del agregado, esta se ve afectada, por la relación agua/cemento y la homogeneidad que se logre al momento de la fabricación, es importante procurar que los poros se encuentren conectados entre sí, de manera que el paso del agua a través de la superficie porosa sea continua.
5. El concreto poroso formado con grava de 3/8" y de material premezclado de 3/4" presentaron resultados a compresión por encima de lo estipulado en la Norma ACI 522R-06 [6], al igual que en permeabilidad. Por lo que se recomienda el uso de este concreto con estos tipos de grava en las aplicaciones en campo.

## 7. Referencias

- [1]. Carlos Aire (2008), "El hormigón permeable como alternativa sostenible".
- [2]. Ligia M. Vélez (2010), "Permeabilidad y Porosidad del Concreto".
- [3]. Juan Orlando López Orozco (2004), "Porosidad del Concreto".
- [4]. Barahona, R. A. , Martinez, M. V. , Zelaya, S. E. (2013), "Comportamiento Del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso De Las Canteras, El Carmen, Aramuaca Y La Pedrera, De La Zona Oriental De El Salvador".
- [5]. Paul D. Tennis, Michael L. Leming, and David J. Akers (2004) "Pervious Concrete Pavements".
- [6]. 522R-06 Pervious Concrete (2006) - ACI Committee 522.
- [7]. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete - ASTM C143 (2015).
- [8]. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens - ASTM C39 (2014).
- [9]. Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete - ASTM C1701 (2017).

# Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda

## Resource allocation for the recharging of electric vehicles in service stations based on the demand response

Jhonatan Fabricio Meza Cartagena <sup>1\*</sup>, Edwin Marcelo García Torres <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

\*Autor de correspondencia: [jmezac@est.ups.edu.ec](mailto:jmezac@est.ups.edu.ec)

**RESUMEN**— La Respuesta a la Demanda (DR), dirigida a la carga de la red eléctrica ocasionada al incorporar Vehículos Eléctricos (EVs), es considerada de gran importancia debido a un alto impacto que provocan dichos vehículos a los sistemas eléctricos. El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar asignación de recursos energéticos para la recarga de EVs en estaciones de servicio y así atenuar el impacto que los mismos generan, además de los distintos tipos de carga ante la red eléctrica con varios escenarios. Se plantea un modelo heurístico que se basa en la respuesta a la demanda por medio del algoritmo Húngaro, es decir, se consiguió la adecuada asignación de recursos energéticos para la carga de EVs.

**Palabras clave**— *Baterías de Vehículos Eléctricos, Energías Renovables, Estaciones de recarga, Respuesta a la Demanda, Optimización, Vehículos Eléctricos.*

**ABSTRACT**— Demand Response (DR), directed at the electric grid load caused by the incorporation of Electric Vehicles (EVs), is important to a large extend due to the high impact caused by vehicles to the electric systems. The present work results in the allocation of energy resources for recharging EVs in service station and their impact, as well as the different electric charge. It is a Heuristic model based on the demand response to demand in the middle of the Hungarian algorithm, that is, it has the appropriate allocation of energy resources for the charging of EVs. Taking into account several load stages that focus on the DR for which they are modeled and determined the types of load that were used with: a) slow, b) fast, c) ultra-fast, d) ultra-fast, in which, the different behaviors will be evaluated that results when inserting EVs, will be evaluated. It also explains the different varieties and the different varieties of EVs that are used for the purpose of achieving an efficient use of solar radiation for winter and summer.

**Keywords**— *Electric Vehicles Batteries, Renewable Energies, Recharge stations, Demand Response, Optimization, Electric Vehicles.*

### 1. Introducción

La Respuesta a la Demanda [DR, siglas en inglés (Demand Response)] nos denota a la manera en la cual se realiza el cambio del suministro eléctrico y a la vez del cómo varía el consumo de energía eléctrica por parte de los consumidores ante las respectivas empresas de distribución y con los esperados patrones de precio establecidos para un tiempo en los cuales se dan incentivos, para lograr restar el consumo y minimizar los picos en horas de gran demanda de consumo eléctrico y evitar inconvenientes o peligro de fallas en el sistema [1]. El objetivo primordial de la DR tiene como gestión la demanda requerida, al asignar los recursos existentes de una manera en la cual permita utilizar la energía ya disponible ayudando a no incrementar nueva

capacidad en generación [2]. La DR nos oferta un interés comercial muy positivo, pero aún no tiene una madurez concreta en otros ámbitos, como es el caso de la residencial [3].

En este documento, se considera el problema de asignación de recursos energéticos basándonos en una óptima respuesta de la demanda mediante el algoritmo Húngaro que permite una optimización en la que se resuelven problemáticas de asignación dentro de un período de tiempo que en este caso se ha analizado hora a hora durante un día. De acuerdo con lo denotado anteriormente, el modelo heurístico propuesto permitirá modelar un sistema óptimo de respuesta a la demanda que minimice el impacto de cargar vehículos eléctricos en un sistema de distribución, de esta manera se

propone una estrategia que logre conseguir adecuadamente la asignación de recursos energéticos referidos a la literatura de vehículos eléctricos. Se introducen algunos índices que nos permitirán estimar la eficacia del modelo propuesto.

El modelo para solventar el problema de DR para EVs es un problema de optimización NPL (programación no lineal), debido al número de variables involucradas y también es debido a las restricciones propuestas. Por lo tanto, las técnicas propuestas se han evaluado en escenarios que abordan diferentes tipos de dispositivos eléctricos con distintos requisitos de energía, en escalas diversas se ha comparado el rendimiento de la técnica con diferentes líneas de base [4]. Por otro lado, el insertar EVs vehículos eléctricos nos proporciona una opción más factible para la reducción de combustibles de origen fósil y también mermar el alto impacto que producen al medio ambiente. De tal manera en la que comerciantes y productores de automóviles han insertado propuestas e innovaciones tecnológicas enfocadas a los vehículos eléctricos que han ido incrementando en muy corto tiempo, estas innovaciones han dado como resultado la mitigación de emanaciones de CO<sub>2</sub> al ambiente [5]. Sin embargo, al insertar generación eléctrica proveniente de energías renovables y que varían de acuerdo al tiempo en los sistemas de distribución provocan una mayor necesidad de confiabilidad y estabilidad en la red y generar un equilibrio mediante la optimización para vehículos eléctricos incluidos en la red [4], tanto así que se logre reducir la contaminación a la atmósfera.

Distintas innovaciones tecnológicas entre los cuales tenemos: los vehículos eléctricos de batería, vehículos eléctricos híbridos y vehículos de pila de combustible de hidrógeno [6], la alta posibilidad y riesgo de degradación de las baterías, es decir, la vida útil de la batería se acorta cada vez más dependiendo de la relación de carga y descarga que se realice.

La energía renovable como alternativa aparece en las últimas décadas en lugar de las centrales de generación eléctrica convencionales. Su mayor beneficio viene sustentado por la fácil instalación en sitios cercanos a las demanda y además, no generar variaciones y pérdidas de voltaje de una manera elevada [7] y los costos de inversión [8]. Al ser insertados en la red de

distribución eléctrica conlleva a generar e incrementar retos, ya que posee una aleatoriedad de generación. Con lo que surgen los sistemas de almacenamiento como son las baterías con elevada capacidad las que aportan en beneficio y soporte de la red.

Para la carga de EVs sus estaciones de carga serán las que contienen la energía almacenada en este caso provenientes de las energías renovables [9], como ejemplo claro una de ellas es la energía que proviene del sol o también llamada fotovoltaica, esta energía es inyectada a sistema de distribución justo en el momento que es generada lo cual nos proporciona una energía limpia, óptima y sin tantas pérdidas lo que evita afectación a la red. La inmensa cantidad de energía solar es de gran efectividad y ayuda, debido a que llega a la tierra aproximadamente a 101 PWh por hora [10], que en cifras aproximadas son la misma cantidad a la demanda mundial consumidas de energía es decir, que la energía renovable Fotovoltaica(PV) está mejorando paulatinamente como parte de la solución [11].

El presente trabajo muestra el estudio del impacto de carga asumida por la red al insertar EVs, se utilizó el Algoritmo Húngaro para la asignación de recursos energéticos al tener una estación de carga, en la cual ingresan cuatro vehículos de manera aleatoria durante 24 horas, por lo cual se tendrá en cuenta que la carga va a ser distinta, por lo que se ha presentado que existen cuatro tipos de cargas: carga lenta, carga rápida y dos cargas ultra rápidas.

En adelante este documento se organiza de la siguiente manera. En la sección II se hace un estado de arte concerniente a vehículos eléctricos y baterías. En la sección III se denota la formulación de un modelo basado en el algoritmo Húngaro. En la sección IV se exponen los resultados del modelo propuesto. En la sección V finalmente exponemos nuestras conclusiones.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Vehículos eléctricos EVs

El uso de los vehículos eléctricos son una de la soluciones más plausibles ya que no emiten gases de efecto invernadero hacia el ecosistema, no emiten gases nocivos y es un medio para proteger al ecosistema, además de una manera de usar energía eléctrica que proviene de fuentes limpias y naturales [11]. Se puede decir que, a comparación de los vehículos tradicionales,

los EVs poseen hasta un 80% mayor de eficiencia y al ser más ergonómicos son menos complejos debido a

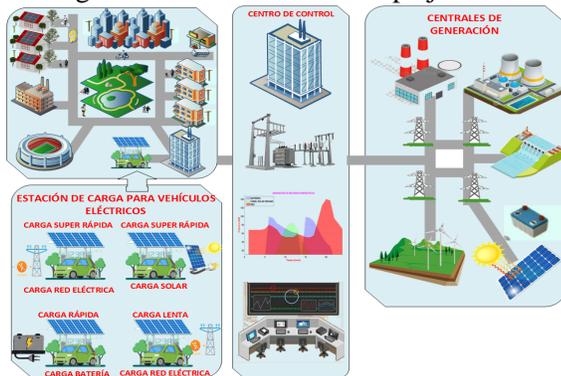


Figura 1. Asignación de recursos

su motor eléctrico y a la batería recargable [12-13].

Los beneficios que nos transmiten los EVs han incrementado los mercados de producción de los mismos como los son: Renault, Kia, Nissan, General Motors. Los cuales han ganado popularidad a los consumidores que en su gran mayoría son los países industrializados que han propuesto como método de reducir la contaminación en sus países.

## 2.2 Baterías de vehículos eléctricos

Estos equipos o más bien dispositivos que se usan para el almacenamiento de energía producida de manera química, para luego ser convertida en energía eléctrica al momento de usarla [14]. Existen distintos y diversos tipos de materiales de los cuales se construyen las baterías, pero el más utilizado son las baterías de ion-litio. En los materiales que componen la batería, poseemos una pequeña celda eléctrica la cual se compone por un elemento electroquímico conformando por un electrolito y dos electrodos en su interior [12], [13]. Dicho electrolito está cargado con una inmensa cantidad de iones y sustancias que contienen los electrodos, estos son semiconductores y permiten que la batería almacene la energía [15].

Encontramos parámetros existentes que caracterizan al comportamiento de una batería.

### Capacidad

Podemos mencionar que la capacidad de la batería se puede suministrar en una unidad de tiempo (Ah). Para encontrar y calcular el valor de la capacidad (C) es necesario aplicar la integral a la corriente que circula

por la batería visto en un periodo de tiempo, como se indica en (1) [14].

$$C = \int_{t_1}^{t_2} i * \partial t \quad (1)$$

### Índice de capacidad (C)

Se refiere a la capacidad o cantidad de electricidad que atraviesa los terminales de la batería. Realizando procesos que se ejecutan al interior de la batería como carga y descarga, este proceso se realiza en un específico lapso de tiempo, que se lo llama ciclo de carga o descarga esta viene dada en (A) ejercida en un periodo de tiempo (h), por lo cual su valor se representa mediante (A/h) [14].

### Auto descarga

Se considera como la pérdida de capacidad de la batería cuando está en circuito abierto, viene dada en porcentajes como la razón de la pérdida de la capacidad con respecto a la capacidad nominal se los realiza en periodos de tiempo en un mes [15].

### Profundidad de descarga

Es la capacidad entregada y se la mide en amperios cada hora (A/h) cuando existe la descarga de la batería con una relación con la capacidad nominal de la batería, por lo general se le denomina DOD por las siglas en inglés.

### Tipo de carga

Contamos con tres categorías para los tipos de carga las cuales se dividen según sus características (tipo de alimentación, tiempo y se encuentran varios otros parámetros eléctricos) los cuales nos determinan la velocidad de (100%) de carga de la batería. En la tabla 1 se plantea la carga de una batería de 24kWh de capacidad.

Tabla 1. Características de los tipos de carga de baterías de EVs [15]

Tipo de carga	Tipo de Alimentación	# fases	V	I	t_carga (24 kWh)
Lenta	C.	1	127	16-30	6-8h

	Altern a	V	A	
	2	230 V	16-30 A	6-8h
Rápida	3	400 V	64 A	3-4h
Ultra Rápida	C. Contin ua	1+, 1- 400 V	400 A	15-30 min

	(W/kg)	
Densidad de E (Wh/l)	80	290
Auto descarga (% / mes)	4_6	2
Vida cíclica (ciclos carga /descarga)	500-600	>3000
\$ / KWh	120-150	600-800

### 2.3 Baterías de ion de litio vs baterías de plomo ácido

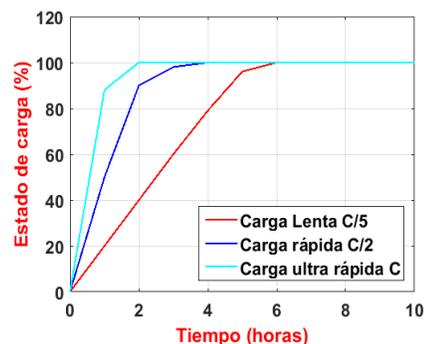
Existen muchas, un sin número de tipos de baterías pero para este estudio se han considerado dos tipos de baterías, estas son las más habituales en el mercado.

Tenemos características muy importantes para las baterías de ion litio las cuales se posicionan como las principales en el mercado, entre las más conocidas están su peso y el nivel de voltaje. La condición del peso reducido es por contar con electrodos de litio y carbono [14], [15]. Ya que el litio al ser un metal muy reactivo cuenta con una inmensa energía potencial que se almacena en sus átomos, que son contenidos en espacios sumamente reducidos lo que conlleva a una batería de menor volumen y con una mayor cantidad de carga [15]. Cuenta con un altísimo nivel de tensión 4V por celda (4V/celda) y también tiene un sin número de ciclos de carga/descarga a la cual no afecta su rendimiento [14]. En la tabla 3 se especifica y se compara entre las dos baterías más utilizadas.

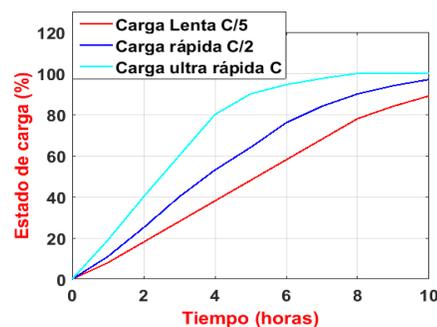
**Tabla 2.** Resumen comparativo de las principales características de baterías

CARACTERÍSTICAS BATERÍAS		
	Pb- Acido	Li-ion
T. nominal (V/celda)	2.0	4.0
E específica (Wh/kg)	40	140
P. específica	150-300	420

También es necesario mencionar que para las baterías y al cargarlas mientras más lenta sea la carga y descarga de la misma, mayor rendimiento se obtendrá debido a que se reducen las pérdidas [15]. En la figura 2 y 3 podemos observar los ciclos de cargas de las dos baterías.



**Figura 2.** Curvas de carga lenta, rápida y ultra rápida de baterías de ion-Li [16].



**Figura 3.** Curvas de carga lenta, rápida y ultra rápida de baterías de Plomo-ácido [16].

## 2.4 Energía fotovoltaica

La alta integración de energías renovables tales como la energía solar ha sido en gran magnitud debido a la manera limpia y su fuente constante de producción de energía. Este tipo de producción de energía eléctrica depende plenamente de las horas de sol que los paneles solares captan, la radiación es otro factor muy importante por lo cual se obtienen diferentes valores de radiación que para nuestro estudio hemos considerado para invierno y verano como se muestra en la figura 4.

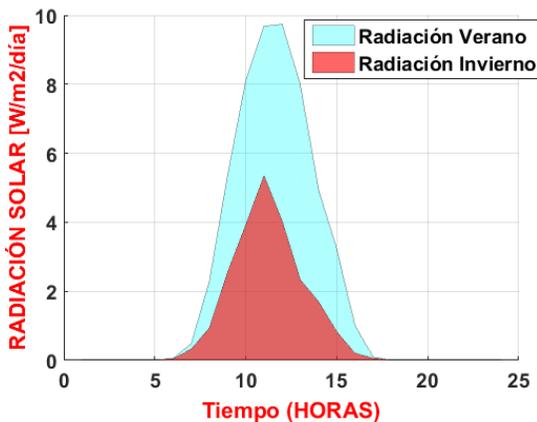


Figura 4. Curvas de radiación del panel solar.

## 3. Formulación del problema

El planteamiento del problema viene dado como la óptima asignación de recursos energéticos para una respuesta a la demanda basándose en el algoritmo húngaro, mediante el cual se logrará reducir el impacto de carga que produce el EVs a la red de distribución eléctrica, en sus diferentes tipos de carga y a sus diferentes períodos de tiempo.

### 3.1 Aleatoriedad de EVs

Para el estudio se realizó un análisis hora tras hora durante un día, para lo cual nuestra estación de recarga de EVs cuenta con cuatro islas por las cuales se despachará la energía de manera aleatoria, dicho de otro modo los EVs tendrán distinto tipo de carga cada hora y podrán ingresar en cualquiera de las cuatro islas disponibles en la estación, esto significa que ningún tipo de carga es igual y pueden ocuparse las cuatro islas al igual que no puede ser utilizada ninguna.

### 3.2 Asignación de recursos mediante algoritmo Húngaro

El algoritmo Húngaro ha sido creado como solución para la asignación óptima de recursos y resolver problemas de asignación, a través del teorema sobre elementos ceros de una matriz, utiliza como plan de asignación óptimo, el cual se refiere a asignar una sola tarea de un conjunto de tareas a una sola persona dentro de un conjunto de personas, todo esto visto desde la eficiencia que posea cada persona para resolver cada tarea [17]. El modelo que se va a proponer está idealizado en la teoría de un plan de asignación óptimo no cambia más que un número constante de filas o columnas de la matriz que muestra la eficiencia. Para entender el algoritmo Húngaro básicamente toca seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Se construye la matriz de eficiencias del problema de asignación ( $M$ ), en la misma que se detalla la eficiencia que tiene cada individuo para realizar todas las tareas. Esta matriz debe ser de dimensiones  $n \times n$ .

Paso 2: Todos los elementos de cada fila de la matriz de eficiencias se deben restar para el mínimo de cada fila, creando nuevamente una matriz  $M$ .

Paso 3: Todos los elementos de cada columna de la matriz  $M$  se deben restar para el mínimo de cada columna, formándose una nueva matriz  $M$ .

Paso 4: Todos los elementos cero de la matriz  $M$  deben ser cubiertos por líneas rectas, cubriendo la mayor cantidad de ceros con la menor cantidad de líneas, si el número de líneas es igual al tamaño de la matriz  $M$ , avanzar al paso 6, de lo contrario, seguir al paso 5.

Paso 5: A todos los elementos de la matriz  $M$  que no estén cubiertos por líneas se los debe restar para el mínimo de los elementos no cubiertos; todos los elementos de la matriz  $M$  que son cubiertos por dos líneas, es decir, se encuentran en la intersección de dos líneas se deben sumar con el mínimo de los elementos no cubiertos formándose una nueva matriz  $M$ . Luego se reemplaza la matriz  $M$  por la matriz  $M$  y se vuelve a la comparación del paso 4.

Paso 6: El plan de asignación óptimo se puede obtener asignando las tareas a cada individuo en base a la ubicación de elementos cero de la matriz  $M$ .

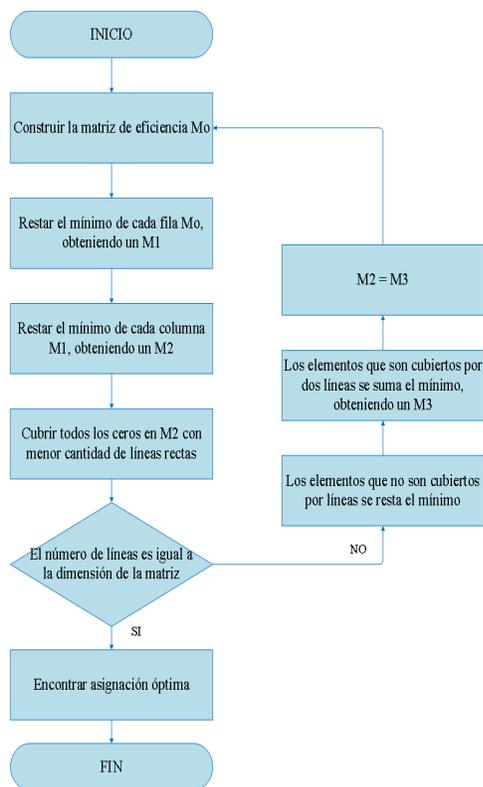


Figura 5. Diagrama de flujo del algoritmo Húngaro [17].

#### 4. Análisis de resultados

El presente trabajo realizado tiene como objetivo obtener una óptima asignación de recursos energéticos para generar una respuesta de la demanda en los EVs utilizando el algoritmo Húngaro, a continuación se detalla los resultados obtenidos en los casos de estudio.

##### 4.1 Casos de estudio

El objetivo del trabajo fue asignar los recursos energéticos en nuestro caso se tomó en cuenta dos casos de estudio en la cual se analizó la asignación de recursos energéticos para la óptima respuesta a la demanda tanto en invierno como en verano.

##### 4.1.1 Verano

Aquí tomamos en cuenta que el índice de radiación solar es el máximo como observamos en la figura 4, el cual muestra que en verano existirá mayor generación mediante los paneles solares, por otra parte, el banco de baterías tendrá la misma capacidad en los dos casos.

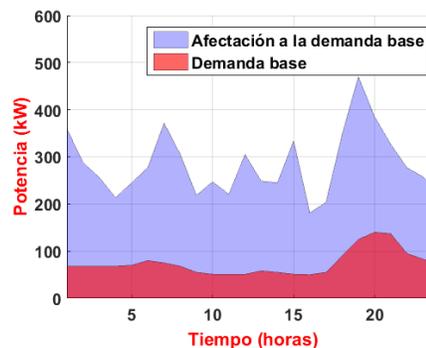


Figura 6. Afectación de la demanda verano.

Para figura 6 podemos analizar del como afecta la inserción de EVs a la demanda base, siendo la curva de color rojo la demanda base y la curva azul la demanda base siendo afectada por el ingreso de EVs a la estación de carga incrementando la demanda de la red para este en 518.27 kWh [18].

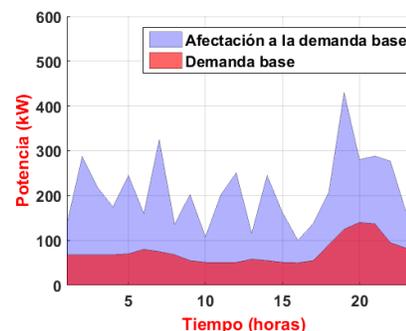


Figura 7. Asignación sin Húngaro Verano.

En la figura 7 se indica el cómo afecta a la demanda base la inserción de EVs, pero ya asignando los recursos energéticos lo cual nos permite reducir la potencia requerida, para este caso es de 346.84 kWh, pero aún existen picos significantes [18].

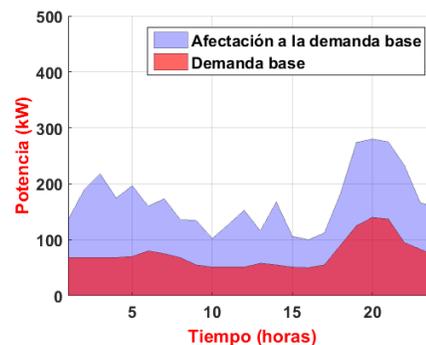


Figura 8. Asignación con Gestión mediante Húngaro Verano.

En la figura 8 podemos observar como gracias a la utilización del algoritmo Húngaro se asigna de manera óptima una respuesta a la demanda, cumpliendo con el objetivo de optimizar el uso de los recursos energéticos, en este caso se logró reducir a 239.87 kWh, obteniendo una reducción significativa de los picos en las curvas.

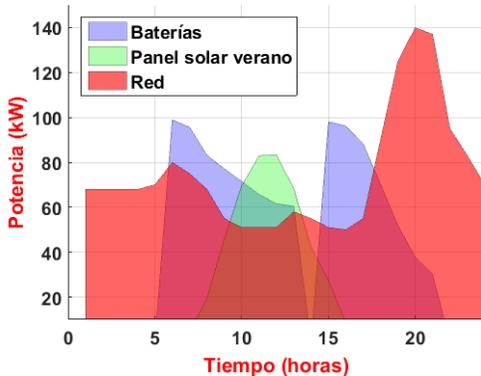


Figura 9. Asignación de Recursos Energéticos Verano.

En la figura 9 podemos observar de manera clara el cómo están asignados los recursos energéticos en la estación de carga para el caso de verano, siendo aquí que el mayor recurso a utilizar es el banco de baterías y los paneles solares, logrando una disminución cuantiosa de energía proveniente de la red [18].

#### 4.1.2 Invierno

En este caso al igual que en el de verano, aplicamos el mismo estudio, pero para el caso de invierno la radiación disminuye notablemente en comparación de verano, por lo cual la generación de los paneles solares de igual manera será mucho menor.

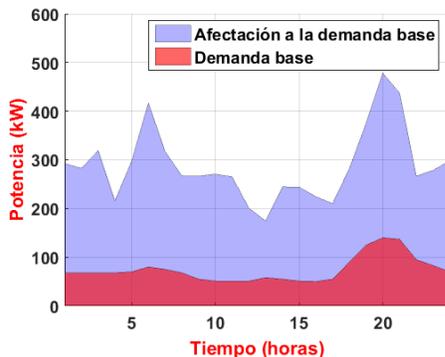


Figura 10. Afectación de la demanda invierno.

En la figura 10 para el caso de invierno podemos decir que la demanda mayor o pico se da por las noches teniendo que suministrar por la red 514.77 kWh.

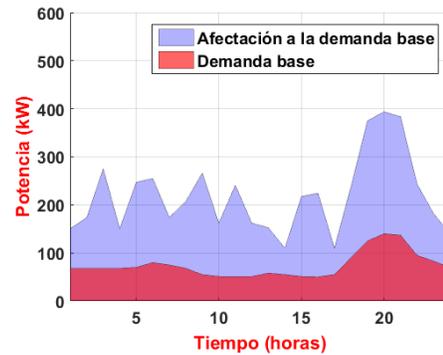


Figura 11. Asignación sin Húngaro Invierno.

En la figura 11 se observa la manera en la cual al asignar los recursos el incremento que produce la inserción de EVs se reduce considerablemente, pero aún existe una gran demanda y los picos de la curva de color azul poseen picos debido a la gran demanda que esta requiere, en este caso se necesitan 346.38 kWh [18].

En la figura 12 podemos ver el cómo se asignan los recursos energéticos optimizando la curva de demanda que producían significantes picos debido a la inserción de carga de EVs, mediante el algoritmo Húngaro se consiguió una óptima respuesta de la demanda consiguiendo reducir hasta 243.79 kWh, con la ayuda el

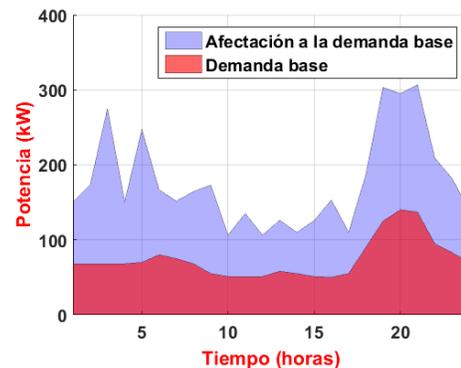
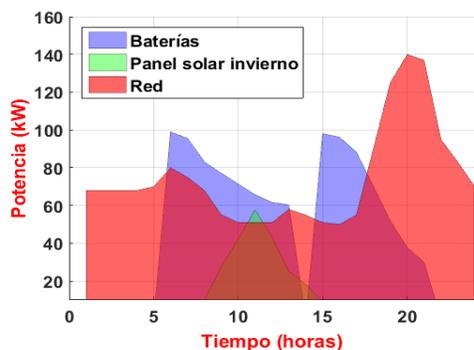


Figura 12. Asignación con gestión mediante húngaro en invierno.

algoritmo húngaro las fuentes de energía no convencionales aumentan el aporte para el sistema de distribución mejorando la confiabilidad de la red [18].



**Figura 13.** Asignación de recursos energéticos invierno.

En la figura 13 se puede analizar la manera en la cual se despacha los recursos energéticos, de tal modo que para el caso de invierno la producción de los paneles solares disminuye debido a la baja radiación que existe en este caso, al terminar de despachar los bancos de baterías estos se recargan ya sea por energía sobrante de la red o por los paneles solares para luego ser utilizados para la carga de los EVs [18].

## 5. Conclusiones

Al despachar los recursos energéticos de una manera óptima y lograr una respuesta de la demanda de EVs mediante el algoritmo Húngaro, nos resulta de gran ayuda para reducir en gran cantidad los picos en la curva de la demanda en horas de alta carga, que de manera frecuente suele ocurrir en horas de la noche y de este modo lograr que los EVs se carguen en horas que no existan carga significativas y así reducir el aumento de carga a la red para evitar fallos.

La utilización de energías de fuentes renovables como por ejemplos los paneles solares, nos brinda una gran ayuda para reducir la contaminación al usar combustibles fósiles, al igual que representa una alternativa para usar energía en lugares que no poseen generación eléctrica convencional.

Al asignar los recursos energéticos utilizando el algoritmo Húngaro ayuda a la red debido a que este proporciona de una manera eficaz los recursos que servirán para luego recargar los EVs, así equilibrar la carga mediante el usos de los recursos disponibles y no directamente de la red de distribución.

## 6. Referencias

[1] D. Paul, W. De Zhong, and S. K. Bose, "Demand Response in Data Centers Through Energy-Efficient Scheduling and

Simple Incentivization," *IEEE Syst. J.*, vol. 11, no. 2, pp. 613–624, 2017.

- [2] H. T. Haider, O. H. See, and W. Elmenreich, "A review of residential demand response of smart grid," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 166–178, 2016.
- [3] M. Muratori, B. A. Schuelke-Leech, and G. Rizzoni, "Role of residential demand response in modern electricity markets," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 546–553, 2014.
- [4] S. Nan, M. Zhou, and G. Li, "Optimal residential community demand response scheduling in smart grid," *Appl. Energy*, vol. 210, pp. 1280–1289, 2018.
- [5] J. Wang, H. Zhong, Z. Ma, Q. Xia, and C. Kang, "Review and prospect of integrated demand response in the multi-energy system," *Appl. Energy*, vol. 202, pp. 772–782, 2017.
- [6] I. Dusparic, A. Taylor, A. Marinescu, F. Golpayegani, and S. Clarke, "Residential demand response: Experimental evaluation and comparison of self-organizing techniques," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, no. July, pp. 1528–1536, 2017.
- [7] F. Ruelens, B. J. Claessens, S. Vandael, B. De Schutter, R. Babuska, and R. Belmans, "Residential Demand Response of Thermostatically Controlled Loads Using Batch Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 1–11, 2016.
- [8] J. Martínez-Lao, F. G. Montoya, M. G. Montoya, and F. Manzano-Agugliaro, "Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. June, pp. 970–983, 2017.
- [9] P. Nunes and M. C. Brito, "Displacing natural gas with electric vehicles for grid stabilization," *Energy*, vol. 141, pp. 87–96, 2017.
- [10] M. Liu, P. K. Phanivong, Y. Shi, and D. S. Callaway, "Decentralized Charging Control of Electric Vehicles in Residential Distribution Networks," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, pp. 1–16, 2017.
- [11] R. Figueiredo, P. Nunes, and M. C. Brito, "The feasibility of solar parking lots for electric vehicles," *Energy*, vol. 140, pp. 1182–1197, 2017.
- [12] E. M. Garcia Torres, B. D. Benalcazar Lopez, and I. M. Idi Amin, "Analysis of the Voltage Profile by the Insertion of Electric Vehicles in the Distribution Network Considering Response to Demand," *2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 7–13, 2017.
- [13] M. García, Torres, Edwin and I. Isaac, "Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users," in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, IEEE, 2016.
- [14] P. Moreno and E. M. Garcia Torres, "Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos," *I+D Tecnológico*, vol. 12, 2016.
- [15] E. M. García Torres and I. Isaac, "Multi-objective optimization for the management of the response to the electrical demand in commercial users," *INCISCOS 2017 - Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 14–20, 2017.

# Revisión sobre la forensía digital en dispositivos móvil con sistemas operativos Android

## Review on digital forensics on mobile devices with Android operating systems

José Moreno<sup>1</sup>, Isabel Leguias<sup>2</sup>, Miguel Vargas Lombardo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Salud Electrónica y Supercomputación, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [miguel.vargas@utp.ac.pa](mailto:miguel.vargas@utp.ac.pa)

**RESUMEN-** Esta investigación está enfocada en los procedimientos, mecanismos y metodologías de análisis forense digital en dispositivos móviles, con la intención de contar con un manual o metodología para el manejo de evidencias digitales en estos dispositivos. Por otra parte, trataremos las herramientas de *software* libre y privativas utilizadas para el análisis forense de *smartphones* con sistemas operativos Android. Como resultado se detectaron métodos de antiforensía que impiden la adquisición de los artefactos en los teléfonos inteligentes. En consecuencia, identificamos técnicas antiforensía como técnicas criptográficas empleadas por los cibercriminales para esconder sus huellas o evidencias.

**Palabras clave-** Adquisición, análisis, android, artefactos, antiforensía, datos, forensía, forensía para dispositivos vestibles, herramientas, protección de datos, teléfonos inteligentes.

**ABSTRACT-** This research is focused on the procedures, mechanisms and methodologies of digital forensic analysis in mobile with the intention of having a manual or methodology for handling digital evidence in these devices. On the other hand, we will discuss the free and proprietary *software* tools used for the forensic analysis of *smartphones* with android operating systems. As a result, antiforensy methods were detected that prevent the acquisition of devices in *smartphones*. Consequently, identified antiforensic techniques as cryptographic techniques used by cybercriminals to hide their traces or evidence.

**Keywords-** Acquisition, analysis, android, artifacts, antiforensy, data, forensics, forensics for wearable devices, tools, data protection, smartphone.

### 1. Introducción

Forensía es la ciencia de examinar y descubrir ideas para la evidencia digital en la corte de acuerdo con la ley [1].

En el año de 1984 el FBI y diversas agencias que se dedican al cumplimiento de la ley inician el desarrollo de programas que examinan las evidencias computacionales. La primera persona procesada por un delito informático se da en 1989. El primer equipo conformado por el FBI es establecido en el año de 1991. Y en el año 1996 es utilizada la primera evidencia digital en un caso de delito informático en una corte [2].

Forensía digital es la disciplina o rama de la criminología y de la seguridad informática que consiste en obtener pruebas de un sistema.

En síntesis, el Principio de intercambio de Locard indica que cualquiera o cualquier objeto que ingrese en la escena del crimen transfiere un rastro en la escena o en la víctima y recíprocamente (se lleva consigo). En

consecuencia, cada contacto deja un rastro o evidencia que lo asocia a la escena del crimen.

Igualmente, la informática forense incluye la preservación, identificación, extracción y documentación de la evidencia digital en forma de medios de almacenamiento magnético, óptico o electrónico. En consecuencia, dicha ciencia es sumamente importante a medida que los criminales expanden el uso de tecnología en actividades ilegales [3].

### 2. Sobre el alcance de la informática Forense

La informática forense es el proceso de investigación de los sistemas de información para detectar toda evidencia que pueda ser presentada como medio de prueba fehaciente para la resolución de un litigio dentro de un procedimiento digital [4]. Por otro lado, la evidencia digital se desarrolla sobre los elementos que pueda almacenar información en formato electrónico, de forma física o lógica y que permita constatar un hecho

investigado o el esclarecimiento del mismo. Son pruebas encontradas en algún componente de un sistema, pueden ser (memoria de un equipo, medio de almacenamiento, equipo de comunicación, periférico, etc.). Con referencia a la evidencia digital se explica cómo los materiales de la computadora y sus derivados pueden ser usados como evidencia contra actividades ilícitas [5].

## 2.1 Tipos de evidencia digital

Podemos clasificar las evidencias digitales en los siguientes tipos:

### 2.1.1 Evidencia volátil

Toda aquella evidencia que puede ser alterada con relativa facilidad.

Algunos ejemplos de evidencias volátiles son:

- Memoria caché
- Tablas de Enrutamiento
- Proceso en ejecución
- Memoria Ram.

### 2.1.2 Evidencia no volátil

Evidencia que no cambia con facilidad, sin embargo, igualmente cambia, pero no de manera constante.

Evidencias No volátiles:

- Discos duros
- CD/DVD
- Unidad *Flash*

### 2.1.3 Gestión de la evidencia digital

En este sentido se pretende evitar la invalidación de la evidencia digital, para ello el SANS define nueve elementos del proceso de forensia móvil [6] que explicaremos a continuación y podemos apreciar en la figura 1.

- **Adquisición:** recibe el dispositivo como prueba y se admite la solicitud de evaluación.
- **Identificación:** identifica las especificaciones y capacidades del dispositivo. Identifica las metas de la examinación e identifica la autoridad legal para realizar la evaluación.
- **Preparación:** se preparan los métodos y herramientas a utilizar. Prepara los medios de comunicación y la estación de trabajo forense para la evaluación, además prepara las herramientas a la versión más reciente.
- **Aislamiento:** se protege la evidencia y se evita la destrucción remota de datos, aislando el dispositivo de la red celular, *bluetooth* y *Wi-Fi*.

- **Procesamiento:** conduce a la adquisición forense y realiza el análisis forense, así como la búsqueda de *software* malicioso.
- **Verificación:** valida la adquisición, hallazgos forenses.
- **Documentación/Informes:** se toman notas sobre sus hallazgos y proceso para elaborar los informes forenses.
- **Presentación:** prepara las exposiciones y se presentan sus hallazgos.
- **Archivar:** mantiene una copia de los datos en un lugar seguro y de preferencia; mantenga los datos en formatos comunes para futuro.

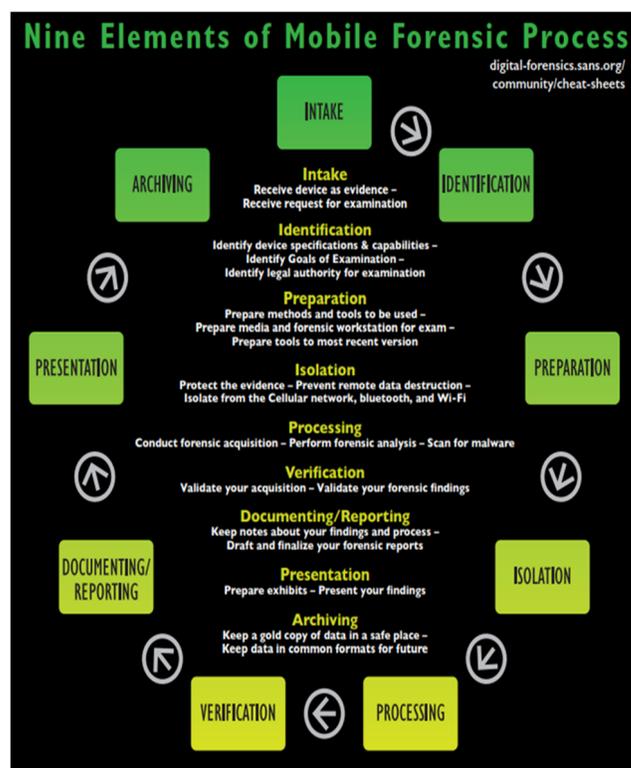
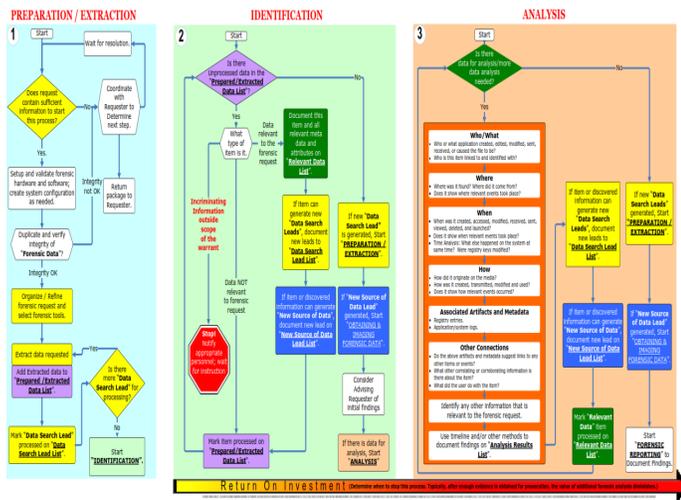


Figura 1. Diagrama de los nueve Elementos del Proceso de Forensia Móvil según el SANS [6].

## 3. Metodología Digital de Análisis Forense

Como Complemento del punto anterior en la siguiente sección identificamos los elementos o el esquema general para la Metodología Digital de Análisis Forense, según los autores [7] y que podemos observar el diagrama de la figura 2.



**Figura 2.** Mapa de la Metodología Digital de Análisis Forense según el departamento de justifica de los Estados Unidos [7].

### 3.1.1 Preparación y extracción de la información Forense

En esta fase los investigadores inician cuestionando si hay suficiente información para proceder, asegurando que hay una solicitud clara y que haya suficientes datos; si existe algún faltante coordinan con el solicitante, para luego establecer si continúan el proceso del análisis forense.

El primer paso de un proceso forense es la validación tanto del *hardware* y *software*, para asegurar que funcionen correctamente. Cuando el escenario forense está preparado para la investigación, el investigador duplica los datos forenses proporcionados en la solicitud y verifica su integridad. Se asume que los datos han sido obtenidos por un proceso legal apropiado y se ha creado una imagen forense de los mismos.

Los examinadores se aseguran de que la copia en su posesión esté intacta e inalterada. Por lo general, hacen esto verificando un *hash*, o huella dactilar digital, de la evidencia. En un examen posterior verifica la integridad de los datos a analizar y se desarrolla un plan para extraer datos. Luego se seleccionan las herramientas forenses que permitan responder las preguntas necesarias para resolver el caso. Los investigadores generalmente tienen ideas preliminares sobre las pistas (qué buscar), basándose en la solicitud. Estas pistas se agregan a una "Lista de pistas de búsqueda", que es una lista de ejecución de los elementos solicitados. Por ejemplo, la solicitud podría proporcionar pistas sobre "búsqueda de pornografía infantil".

Para cada pista de la búsqueda, los examinadores extraen los datos relevantes y marcan dicha pista de la búsqueda como procesado. Además, agregan cualquier

cosa extraída a una segunda lista llamada "Lista de Datos Extraídos". Los examinadores persiguen todas las pistas de búsqueda, añadiendo resultados a esta segunda lista. Luego pasan a la siguiente fase de la metodología, la identificación.

### 3.1.2 Identificación de los parámetros

Durante el proceso de identificación, los investigadores repiten el proceso de identificación de cada artículo en la lista de datos extraídos. Primero determinan el tipo de artículo y si es o no relevante para la solicitud forense, donde es marcada como procesada y se mueve a la siguiente evidencia. Si un examen comprueba que el artículo es incriminante, pero está fuera del alcance del mandato de búsqueda original, se recomienda detener la actividad de manera inmediata y proceder a notificar a las personas apropiadas. Un ejemplo en esta situación la policía podría tomar una computadora por evidencia de fraude fiscal, pero el investigador encuentra pistas de pornografía infantil. En esta situación lo más prudente es detener la búsqueda y obtener una segunda orden que permita ampliar la búsqueda.

Si un artículo es relevante para la solicitud forense, los investigadores proceden a documentar en una tercera lista denominada Lista de Datos Relevantes. Esta lista es una colección de datos relevantes para responder a la solicitud forense original. Por ejemplo, en un caso de robo de identidad, los datos pertinentes pueden incluir números de seguridad social, imágenes de falsa identificación, *emails* sobre el robo de identidad, etc. También es posible que un elemento genere otra pista de búsqueda. Un *mail* podría revelar que un objetivo estaba usando otro apodo. Eso conduciría a una nueva búsqueda de palabras clave para el nuevo apodo. Los investigadores deberían añadir la pista a la Lista de pistas de Búsqueda para que pudieran remitir e investigarlo completamente.

Si los datos simples extraídos e identificados no son suficientes, los examinadores pasan a la siguiente fase, el análisis.

### 3.1.2 Análisis de los datos a investigar

Para lograr que los investigadores unan los puntos y obtengan una imagen completa para el solicitante. Por cada elemento de la lista de datos relevantes los investigadores deben responder preguntas como: ¿Quién?, ¿Qué?, ¿Cuándo?, ¿Dónde? y ¿Cómo? Tratando de explicar qué usuario o aplicación creó, editó, recibió o envió cada elemento y cómo se originó la existencia.

Los investigadores producen el análisis más valioso al observar cuándo sucedieron las cosas y producir una línea temporal que cuenta una historia coherente.

El análisis es documentado y cualquier información pertinente a la solicitud forense en la última lista "Lista de resultados de análisis". Esta es una lista de todos los datos significativos que responde: quién, qué, cuándo, dónde, cómo y otras preguntas. La información en esta lista satisface la solicitud forense. Incluso en esta última etapa del proceso, cualquier cosa podría generar nuevos datos de búsqueda o una fuente de datos.

Fase de presentación de informes. En esta fase los investigadores documentan los resultados para que el solicitante pueda entenderlos y utilizarlos en el caso.

Los informes forenses son importantes porque todo el proceso forense vale tanto como la información que transmiten los investigadores al solicitante. Después de la presentación de informes, el solicitante realiza un análisis en el que interpreta los hallazgos en el contexto de todo el caso.

#### 4. Forensía móvil

Es un nuevo tipo de recopilación de pruebas digital, basado en la extracción de pruebas desde el interior de la memoria de un teléfono móvil, cuando existe la capacidad de acceder a los datos [8].

En forensía de dispositivos móviles, nos ocupamos de al menos tres principales sistemas operativos *standard*, así como varios otros propietarios, que no necesariamente son "Imagen" de un dispositivo móvil como lo hacemos a un disco duro.

Los dispositivos de destino son "encendido" en lugar de "apagado". Es común, sin embargo, al oír a un investigador de informática forense, decir que forensía de dispositivos móviles no son, "real forensía" porque no hacemos una imagen en el teléfono de la misma manera que una imagen de disco duro.

##### 4.1 Realidad móvil

- Los teléfonos inteligentes se han convertido en parte esencial para nuestra vida diaria.
- Se utilizan como una oficina móvil o centro de entretenimiento.
- Se han hecho susceptibles a las mismas y mayores vulnerabilidades que las PC.
- Los datos en los teléfonos inteligentes, tales como imágenes, documentos, correos electrónicos, videos y mensajes cortos (SMS) se puede acceder de forma remota si el dispositivo está conectado a Internet.

- Hay muchas aplicaciones que pueden ejecutarse en un teléfono inteligente y más se desarrollan todos los días.
- Teniendo en cuenta la variedad de vendedores, aplicaciones móviles y protocolos de red, la tarea de análisis forense en los teléfonos móviles es cada vez un reto.

#### 4.2 Adquisición

En forensía digital la adquisición consiste en crear un archivo que contenga toda la información contenida en la evidencia original. En la tabla 1, se muestra la evidencia más relevante en *smartphones* según el SANS.

**Tabla 1.** Evidencias relevantes según el SANS [6]

Lógica	Archivos del Sistema	Física	Manual
Incluye información activa a partir de datos almacenados.	Incluye archivos, activos y carpetas de sistema de archivos.	Incluye data activa y borrada.	El examinador se desplaza a través de los archivos contenidos en el dispositivo.
Cuenta con el apoyo de la mayor parte dispositivos de casi todas las herramientas.	Puede contener restos de objetos eliminados.	Absoluto vs. Registros.	Las fotografías o video de datos mostrados.
Reporte sencillo.	Cuenta con el apoyo de la mayor parte dispositivos de casi todas las herramientas.	No es compatible con todos los dispositivos.	Soporte para todos los dispositivos a no ser que este dañado físicamente.
	Generación de informes puede ser más complejo	Los informes son generalment e más complejos.	Generación de informes simple.

#### 4.3 Medios de almacenamiento

En relación con las implicaciones de las evidencias relevantes podemos mencionar los medios de

almacenamiento de información en los sistemas operativos Android [9]:

- **SIM:** Significa (Subscriber Identity Module) y es componente esencial de un celular GSM (Global System Mobile Communications) que contiene información particular al usuario. Contiene típicamente entre 16 y 64 KB de memoria, un procesador, y un sistema operativo. Un SIM identifica de forma exclusiva el abonado, determina el número de teléfono, y contiene los algoritmos necesarios para autenticar un abonado a una red.

El sistema de archivos se utiliza para almacenar los nombres y números de teléfono, recibe y envía mensajes de textos e información de configuración de red.

- **Memoria del dispositivo:** Contiene la data creada y almacenada por el usuario, MMS, mensajes de textos, fotografías, media, además del sistema operativo del *smartphone*.
- **Tarjeta micro SD:** Permite extender la capacidad de almacenamiento de un teléfono celular. También proporcionan otra vía para el intercambio de información entre los usuarios que tienen *hardware* compatible.

Los medios extraíbles son de almacenamiento no volátil, capaz de retener datos grabados cuando se extraen de un dispositivo.

#### 4.4 Tipo de información

Los diversos tipos de información que encontramos dependiendo del cuadro de evidencias relevantes en sistemas operativos Androids, se presentan a continuación en la tabla 2.

**Tabla 2.** Evidencias Relevantes [8]

Evidencias	
<i>Text messages (SMS/MMS)</i>	<i>Search history</i>
<i>Contacts</i>	<i>Driving directions</i>
<i>Call logs</i>	<i>Facebook, Twitter, and other social media clients</i>
<i>E-mail messages (Gmail, Yahoo, Exchange)</i>	<i>Files stored on the device</i>
<i>Instant Messenger/Chat</i>	<i>Music collections</i>
<i>GPS coordinates</i>	<i>Calendar appointments</i>

<i>Photos/Videos</i>	<i>Financial information</i>
<i>Web history</i>	<i>Financial information</i>
<i>Shopping history</i>	<i>File sharing</i>

#### 4.5 Artefactos en dispositivos móviles

El término artefacto es ampliamente utilizado en la informática forense, aunque no existe una definición oficial de este término.

En situaciones cuando se efectúa un análisis forense y no encuentra evidencias tienen que buscar rastros que dejan las aplicaciones o el propio sistema operativo. Los mecanismos que dejan rastro de la actividad de los usuarios, de los programas que se utilizan, los accesos, conexiones y aplicaciones, si han navegado, descargado o ejecutado algún programa, son los comúnmente denominados como artefactos [10].

Algunos de los artefactos de más relevancia en sistemas operativos Androids, podemos observarlo en la tabla 3, son los siguientes:

**Tabla 3.** Artefactos relevantes según el SANS [6]

Partición	Archivos	Tablas	Descripción
Data	<i>Root/Property/persist.sys.timezone</i>	*	Timezone
Data	<i>Root/Property/netpolicy.xml</i>	*	Timezone
Data	<i>com.android.providers.contacts/contacts2.db</i>	llamadas	Llamadas Logs
Data	<i>com.android.providers.contacts/contacts2.db</i>	Cuentas	Login info
Data	<i>com.android.providers.contacts/contacts2.db</i>	contactos & raw contacts	Contactos
Data	<i>com.android.providers.telephony/mmssms.db</i>	sms & part	SMS/MM S
Data	<i>com.google.android.apps.maps/da_destination_history</i>	Historial de destino	Mapas
Data	<i>com.google.android.apps.maps/search_history.db</i>	Historial y sugerencias	Mapas
Data	<i>com.android.email/webviewCache.db</i>	*0	Historial de Internet

Data	com.android.browser/databases/Browser.db	*	Historial de Internet
Data	com.android.browser/databases/webview.db	*	Historial de Internet
Data	com.android.browser/databases/webviewCache.db	*	Historial de Internet
Data	com.android.browser/app_databases/http_www.google.com_0.localstorage	*	Historial de Internet
Data	com.android.browser/app_geolocation/GeolocationPermissions.db	*	Historial de Internet
Data	/data/com.google.android.gm/databases/<mail-name>.db	conversations & messages	Gmail

#### 4.6 Herramientas software para Forensía Digital Móvil

En relación con las herramientas para la adquisición de evidencia digital, mencionaremos algunas de las herramientas más utilizadas para realizar la extracción de dicha evidencia:

- **UFED Cellebrite:** es una extensa y reconocida herramienta forense utilizada en más de 60 países. El mecanismo de autodetección del software proporciona una guía paso a paso para el proceso de extracción, los dispositivos que se encuentran dentro del listado de soporte. Para los dispositivos móviles no listados, UFED ha desarrollado un perfil genérico para proporcionar soporte [11] y podemos ver la interfaz de la herramienta en la figura 3.

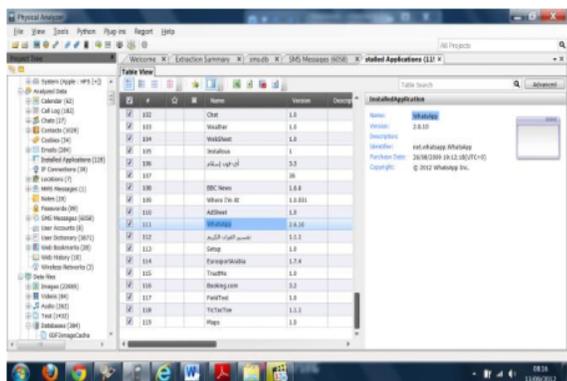


Figura 3. Análisis de aplicación instalada con UFED Cellebrite [8].

- **Oxygen Forensic Suite:** Oxygen Forensic es un software forense para la extracción y análisis de datos

de teléfonos celulares, teléfonos inteligentes y tablets. Usando protocolos propietarios que permiten la extracción de artefactos, datos relevantes y garantiza un funcionamiento de footprint cero, sin dejar rastros y sin hacer modificaciones en el contenido del dispositivo. El software se distribuye a la policía, los organismos gubernamentales, militares, investigadores privados y otros especialistas forenses [1], la interfaz de la herramienta se puede observar en la figura 4.

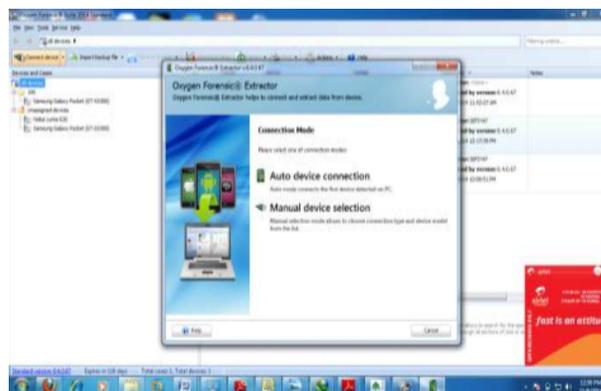


Figura 4. Oxygen forensic display [1].

- **MOBILedit:** es una herramienta para extracción y análisis de datos en dispositivos móviles, además es un generador de informes en una sola solución. Utiliza tanto los métodos de adquisición de datos físicos como lógicos, recuperación de datos eliminados, procesamiento simultáneo de teléfonos. Permite acceder a las copias de seguridad bloqueadas de ADB o iTunes con aceleración de GPU y operaciones multihilo para la máxima velocidad, para ello necesita de la contraseña y el código PIN [1]. En la figura 5 vemos la interfaz para el análisis, dependiendo del tipo de sistema operativo móvil.

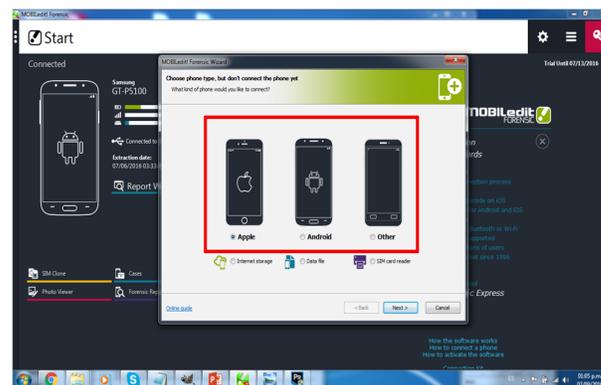


Figura 5. MOBILedit selección del dispositivo: Fuente propia.

- **Santoku:** Sistema operativo Linux basado en Debian, especializado en análisis forense móvil. Podemos observar la interfaz del sistema operativo en la figura 6.



Figura 6. Santoku instalado en una máquina virtual: Fuente propia.

Dentro de esta distribución encontramos una herramienta llamada “aflogical-ose”, que abre el *shell* de Santoku con opciones de ejecución de AFLogical, para ellos debemos tener el dispositivo móvil por analizar, conectado al PC por USB y habilitar el modo programador y transferencia por USB en el dispositivo móvil, ver figura 7.

El comando ejecutado crea una aplicación y la manda al dispositivo móvil para que esta sea ejecutada y pueda coleccionar la información del dispositivo como apreciamos en la figura 7.

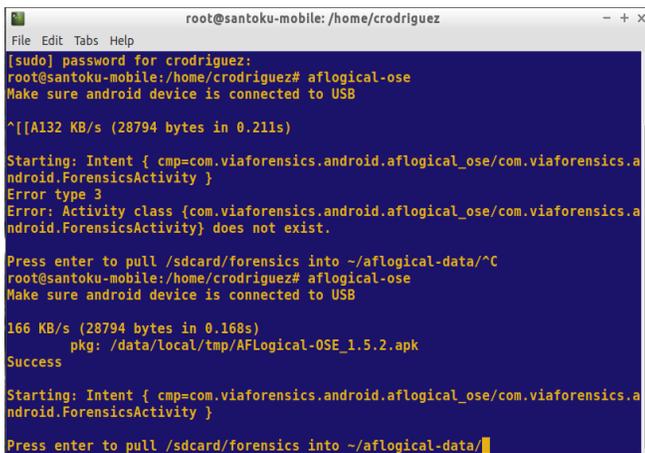


Figura 7. Aflogical generando la aplicación: Fuente propia.

Luego, la herramienta recolecta la evidencia y crea el folder y los archivos de la data coleccionada por el AFLogical, observamos este procedimiento en la figura 8.

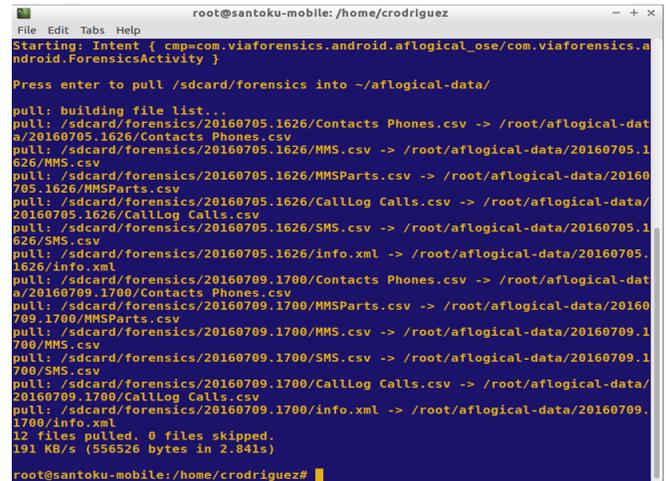


Figura 8. Aflogical recolectando información: Fuente propia.

## 5. Técnicas antiforensia

Definimos antiforensia como un método iniciado con la finalidad de impedir el proceso de investigación digital llevado por los investigadores forenses [12].

### 5.1 Clasificación de técnicas antiforensia

De lo anteriormente expuesto podemos clasificar la antiforensia entre métodos y técnicas que se agrupa en las siguientes categorías:

- **Ocultar datos:** una de las maneras de ocultar datos más habituales en las técnicas antiforensia es la esteganografía [13].

La esteganografía (del griego *στεγανος* (*steganos*): cubierto u oculto, y *γραφος* (*graphos*): escritura), trata el estudio y aplicación de técnicas que permiten ocultar mensajes u objetos, dentro de otros, llamados portadores, de modo que no se perciba su existencia [14].

Existen programas de esteganografía desde la década de los 90, además de dichas herramientas la podemos encontrar para todos los sistemas operativos.

Podemos encubrir información digital y almacenarla dentro de diversos tipos de archivos que incluyen audio, video, imágenes y ejecutables.

En consecuencia, podemos encontrar métodos de esteganografía de baja tecnología que dificultan la informática forense. Un ejemplo de esto viene siendo ocultar texto blanco sobre un documento con fondo blanco con un mensaje oculto. Mensajes de código morse transpuestos sobre una imagen.

Sin duda este tipo de tecnologías de esteganografía de bajo nivel son improbables que sean detectadas por alguna herramienta automatizada. Existen un sin número de técnicas para ocultar, por ejemplo, datos

almacenados en espacios no asignados por el disco y metadatos de varios tipos de archivos.

- **Limpieza de artefactos:** con referencia a las herramientas para limpiar artefactos han existido por muchos años. Los programas de limpieza de artefactos eliminan archivos de datos y usan múltiples sobre escrituras, evitando que pueda realizarse la recuperación o sea prácticamente imposible. Estas herramientas son usadas comúnmente para la recuperación de espacio de almacenamiento eliminando archivos temporales innecesarios que fragmentan el disco duro. Otras herramientas de *software* más avanzadas no solo eliminan el historial de navegación, además borran archivos de caché, archivos del sistema operativo [15]. Tales como las siguientes:

1. *BC Wipe*
2. *Erarser*
3. *PGP Wipe*
4. *Evidence Eliminator*
5. *Secure Clean*
6. *Windowd Washer*

- **Ofuscación de registros:** la ofuscación se refiere a encubrir el significado de una comunicación haciéndola más confusa y complicada de interpretar.

La ofuscación de los rastros ha sido un problema desde la década de los 70 con programas maliciosos enmascarado como el inicio de sesión denominado *Logon Spoofing* (*suplantación de inicio de sesión*). La propagación de ataques de denegación de servicios y denegación de servicios distribuidos da inicio a partir del año 96, han hecho la intrusión a redes más difícil de investigar a pesar de que existen métodos para el rastreo de los *ip* a la fuente que inicia el ataque. El programa conocido como *Onion Rounting*, que permite sistemas de comunicaciones anónimas, usa técnicas donde los mensajes son encapsulados en capas de cifrado, por eso la analogía de una cebolla (*onion*). Los datos cifrados son transmitidos a través de una serie de nodos de red llamados *onion routers*, cada nodo despoja una sola capa, descubriendo el siguiente destino. Cuando la capa final es descifrada, el mensaje llega a su destino. El remitente permanece anónimo debido a que cada intermediario conoce únicamente la ubicación del nodo siguiente. Esta tecnología ha hecho casi imposible que se pueda hacer un análisis de tráfico de red.

- **Ataques contra herramientas de forensía digital:** los procedimientos anti forenses se enfocan en atacar la confiabilidad de la evidencia digital, si cabe alguna duda en la confiabilidad que pueda ser cuestionada, el valor en la corte se vuelve nulo.

Según los autores G. C. Kessler and G. C. Kessler,[12] la admisibilidad de la evidencia científica consta de cuatro factores:

1. **Pruebas:** puede y ha sido probado el procedimiento.
2. **Taza de error:** existe una taza de error conocida del procedimiento.
3. **Publicaciones:** ¿se ha publicado el procedimiento y está sujeto a revisión por pares?
4. **Aceptación:** ¿se acepta generalmente el procedimiento en la comunidad científica pertinente?

## 6. Hardware antiforensía

Existen herramientas como el USB Killer que explota la vulnerabilidad de sobretensión de alimentación en un USB, falla común en los dispositivos con conexiones USB. Muchos fabricantes para ahorrar gastos no protegen la energía o las líneas de datos de los dispositivos, lo que los deja abiertos a dicho ataque.

Cuando se conecta a un dispositivo, el USB Killer carga rápidamente sus condensadores desde las líneas de alimentación USB. Cuando se carga, -200VDC se descarga sobre las líneas de datos del dispositivo *host*. Este ciclo de carga y descarga se repite muchas veces por segundo, hasta que el USB Killer es removido.

### 6.1 Software antiForensía

Estas herramientas utilizan un mecanismo denominado *kill switch*, el cual apaga el dispositivo de manera abrupta, también puede ser una función de un *host* que deshabilita una aplicación o dispositivo de manera remota. Algunas de las herramientas más utilizadas según[12]:

- **USBkill:** herramienta antiforensía que espera un cambio en los puertos USB para entonces apagar de manera inmediata la computadora.
- **Silk-gurdian:** de igual manera que la herramienta anterior, esta espera un cambio en los puertos USB para limpiar la *ram*, borrar archivos y apagar la computadora.

### 6.2 MAFIA (Metasploit Anti-Forensics Project)

Cuya principal finalidad es desarrollar herramientas y técnicas para remover evidencia forense de las computadoras. Está compuesto de diversas herramientas como:

**Timestomp:** que permite remover o modificar las fechas de acceso, modificación, creación de los archivos. Podemos observar la ayuda del *framework* en consola en la figura 12.

```
C:\>timestamp.exe

Timestamp Usage Information:
-----
If you mix a lot of options, the behavior is unpredictable. All times
should be entered in local time because the utility automatically
converts to UTC time.

Timestamp <filename> [options]

<filename>      the name of the file you wish to modify
                 you may need to surround the full path in ""

options:

-m <date>       M, set the "last written" time of the file
-a <date>       A, set the "last accessed" time of the file
-c <date>       C, set the "created" time of the file
-e <date>       E, set the "mft entry modified" time of the file
-z <date>       z set all four attributes (MACE) of the file

<date>         "DayofWeek Month\Day\Year HH:MM:SS [AM|PM]"

-f <src file>   set MACE of <filename> equal to MACE of <src file>
                 time stamps change, but file attributes are unchanged
-b             set the MACE timestamps so that EnCase shows blanks
                 same as -b except it works recursively on a directory
-r             (aka the Craig option)
-v            show the UTC (non-local time) MACE values for <filename>

-h             show this menu, help

examples:

1) sets the "last written" attribute of targetfile.txt
   Timestamp targetfile.txt -m "Monday 7/25/2005 5:15:55 AM"

2) sets all four MACE attributes of targetfile.txt
   Timestamp targetfile.txt -z "Saturday 10/08/2005 2:34:56 PM"

3) set the MACE attributes of targetfile.txt equal to srcfile.exe
   Timestamp targetfile.txt -f srcfile.exe

4) set the MACE attributes of targetfile.txt equal to values that EnCase
   doesn't know how to display
   Timestamp targetfile.txt -b

5) show the MACE attributes of targetfile.txt
   Timestamp targetfile.txt -v
```

Figura 9. Herramienta *Timestamp*. Fuente Propia

- **Slacker:** permite ocultar datos en el espacio desperdiciado, creado cuando un sistema de archivos define el espacio útil para la escritura de un fichero, normalmente se define más espacio de almacenamiento del necesario. La figura 13 muestra la ayuda de la herramienta slacker.

```
C:\>slacker.exe

Hiding a file in slack space:
-----
slacker.exe -s <file> <path> <levels> <metadata> [password] [-dxl] [-n-k]-f <xorfile>
-s             store a file in slack space
<file>        file to be hidden
<path>        root directory in which to search for slack space
<levels>      depth of subdirectories to search for slack space
<metadata>    file containing slack space tracking information
[password]    passphrase used to encrypt the metadata file
-dxl          dumb, random, or intelligent slack space selection
-nkf         none, random key, or file based data obfuscation
<xorfile>     the file whose contents will be used as the xor key

Restoring a file from slack space:
-----
slacker.exe -r <metadata> [password] [-o outfile]

-r             restore a file from slack space
<metadata>    file containing slack space tracking information
[password]    passphrase used to decrypt the metadata file
[-o outfile]  output file, else original location is used, no clobber
```

Figura 10. Herramienta Slacker. Fuente Propia

- **Sam juicer:** un programa que adquiere los *hashes* del Security Access Manager sin manipular el disco duro.

## 7. Conclusiones

En nuestra sociedad utilizamos varios dispositivos electrónicos como celulares, dispositivos vestibles, dispositivos móviles en múltiples aspectos de nuestras vidas. Pero no somos los únicos que utilizamos dispositivos electrónicos también los cibercriminales que los utilizan con fines delictivos. La tecnología actual permite a los cibercriminales cometer actos delictivos de manera local e internacional y remota, obtener inteligencia y realizar contra espionaje con anonimidad. Como tal estos dispositivos almacenan datos que funcionan como evidencia de sus crímenes y pueden proveer informaciones en los sospechosos o víctimas.

En síntesis, el artículo presentado responde a la necesidad en Panamá de contar con un apoyo para el manejo de evidencias digitales con las mejores prácticas de parte de organismos internacionales como la OEA, el departamento de justicia de los Estados Unidos e instituciones de seguridad reconocidas a nivel mundial como el SANS.

Los procedimientos, herramientas y metodologías para las investigaciones de incidentes de seguridad informática o dispositivos con sistemas operativos embebidos son los mismos empleados en ambos casos, en el caso de los dispositivos de embebidos dado las limitantes en sus tecnología al ser dispositivos que son usados para una única función en la mayoría de los casos, por lo que el desarrollo de sus especificaciones técnicas y diseño de los mismos, son usados como nodos sensores que envían datos a otros nodos con mayor capacidad de computación, que analizan la data enviadas por los nodos sensores y, son estos equipos con mayor capacidad donde podemos realizar un análisis forense digital al sistema operativo que estén utilizando.

## 9. Referencias

- [1] O. Osho and S. O. Ohida, "Comparative Evaluation of Mobile Forensic Tools," I.J. Inf. Technol. Comput. Sci. Inf. Technol. Comput. Sci., vol. 1, no. 1, pp. 74–83, 2016.
- [2] D. A. J. ARCINIEGAS and M. L. T. MONCADA, "Estado Del Analisis Forense Digital En Colombia," 2016.
- [3] J. P. Craiger and D. Ph, "DRAFT : NOT FOR DISTRIBUTION Computer Forensics Procedures and Methods DRAFT : NOT FOR DISTRIBUTION," pp. 1–65.
- [4] J. CANO, "Admisibilidad de la evidencia digital: de los conceptos legales a las características técnicas," Boletín los Sist. Nac. Estadístico y ..., pp. 93–108, 2003.
- [5] D. Yadav, M. Mishra, and S. Prakash, "Mobile forensics challenges and admissibility of electronic evidences in India," Proc. - 5th Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks, CICN 2013, pp. 237–242, 2013.
- [6] C. Murphy, "Advanced Smartphone Forensics Most Relevant Evidence Per GIGABYTE!," POSTER SANS DFIR, vol. 30th Editi.

- [7] B. O. L. Carroll, S. K. Brannon, and T. Song, "Computer Forensics : Digital Forensic Analysis Methodology," Computer (Long. Beach. Calif)., vol. 56, no. 1, pp. 1–8, 2008.
- [8] M. Al-hadadi and A. AlShidhani, "Smartphone Forensics Analysis: A Case Study," Int. J. Comput. Electr. Eng., vol. 5, no. 6, pp. 576–580, 2013.
- [9] W. Jansen and R. Ayers, "Forensic Tools for Mobile Phone Subscriber Identity Modules," J. Digit. Forensics, Secur. Law, vol. 1, no. 2, pp. 75–94, 2006.
- [10] C. Altheide and H. a Carvey, Digital forensics with open source tools using open source platform tools for performing computer forensics on target systems: Windows, Mac, Linux, UNIX, etc. 2011.
- [11] J. Kong, "Data Extraction on Mtk-Based Android Mobile Phone Forensics," vol. 10N4, no. 4, pp. 31–42, 2015.
- [12] G. C. Kessler and G. C. Kessler, "Anti-Forensics and the Digital Investigator," 2007.
- [13] S. Azadegan, W. Yu, H. Liu, M. Sistani, and S. Acharya, "Novel anti-forensics approaches for smart phones," Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci., pp. 5424–5431, 2011.
- [14] G. C. Kessler, "An Overview of Steganography for the Computer Forensics Examiner," pp. 1–29, 2016.
- [15] S. M. A. Asbeh and S. M. Hammoudeh, "AES Inspired Hex Symbols Steganography for Anti- Forensic Artifacts on Android Devices," vol. 7, no. 5, pp. 319–327, 2016.
- [16] Y. Bai, L. Dai, and J. Li, "Issues and Challenges in Securing eHealth Systems," Int. J. E-Health Med. Commun., vol. 5, no. 1, pp. 1–19, 2014.
- [17] X. Li, M. H. Ibrahim, S. Kumari, and R. Kumar, "Secure and efficient anonymous authentication scheme for three-tier mobile healthcare systems with wearable sensors," Telecommun. Syst., pp. 1–26, 2017.
- [18] M. Ahmed and M. Ahamad, "Combating abuse of health data in the age of eHealth Exchange," Proc. - 2014 IEEE Int. Conf. Healthc. Informatics, ICHI 2014, pp. 109–118, 2014.

## Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview

### Funcionamiento y física de celdas solares fotovoltaicas: una visión general

Noemi Guerra <sup>1\*</sup>, Marco Guevara <sup>2</sup>, Cesar Palacios <sup>3</sup>, Felice Crupi <sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> *Dipartimento di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica, Università della Calabria, Italia*

<sup>1</sup> *Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá*

<sup>2</sup> *Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador*

<sup>3</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador*

\***Autor de correspondencia:** [noemi.guerra@utp.ac.pa](mailto:noemi.guerra@utp.ac.pa)

**ABSTRACT**— Solar energy is considered the primary source of renewable energy on earth; and among them, solar irradiance has both, the energy potential and the duration sufficient to match mankind future energy needs. Nowadays, despite the significant potential of sunlight for supplying energy, solar power provides only a very small fraction (of about 0.5%) of the global energy demand. In order to increase the worldwide installed PV capacity, solar photovoltaic systems must become more efficient, reliable, cost-competitive and responsive to the current demands of the market. In this context, PV industry in view of the forthcoming adoption of more complex architectures requires the improvement of photovoltaic cells in terms of reducing the related loss mechanism, focusing on the optimization of the process design, as well as, reducing manufacturing complexity and cost. Hence a careful choice of materials, a suitable architecture and geometric distribution, passivation techniques and the adoption of a suitable numerical modeling simulation strategy are mandatory. This work is part of a research activity on some advanced technological solutions aimed at enhancing the conversion efficiency of silicon solar cells. In particular, a detailed study on the main concepts related to the physical mechanisms such as generation and recombination process, movement, the collection of charge carriers, and the simple analytical 1D p-n junction model required to properly understand the behavior of solar cell structures. Additionally, the theoretical efficiency limits and the main loss mechanisms that affect the performance of silicon solar cells are explained.

**Keywords**— *Electric field, electron-hole pair, energy bands, IBC solar cell, passivation technique, photovoltaic effect, p-n junction diode.*

**RESUMEN**— La energía solar es considerada la principal fuente de energía renovable en la tierra y tiene tanto el potencial energético como la duración suficiente para satisfacer las necesidades energéticas futuras de la humanidad. Hoy en día, a pesar del importante potencial de la luz solar para el suministro de energía, proporciona solo una fracción muy pequeña (de aproximadamente el 0,5 %) de la demanda mundial de energía. Para aumentar la capacidad fotovoltaica instalada en todo el mundo, los sistemas fotovoltaicos solares deben ser más eficientes, confiables, competitivos en costos y sensibles a las demandas actuales del mercado. En este contexto, la industria fotovoltaica requiere la mejora de las celdas fotovoltaicas centrándose en la optimización del diseño del proceso, así como en la reducción de la complejidad y el costo de fabricación. Por lo tanto, una elección cuidadosa de materiales, una arquitectura adecuada y una distribución geométrica, técnicas de pasivación y la adopción de una estrategia de simulación de modelado numérico adecuada son imprescindibles. Este trabajo es parte de una actividad de investigación detallada sobre los conceptos principales relacionados con los mecanismos físicos, como el proceso de generación y recombinación, el movimiento, la colección de portadores de carga y el modelo analítico simple de uniones p-n 1D requerido para comprender adecuadamente el comportamiento de las estructuras de las celdas solares. Además, se explican los límites de eficiencia teóricos y los principales mecanismos de pérdida que afectan el rendimiento de las celdas solares de silicio.

**Palabras clave**— *Campo eléctrico, par de orificios de electrones, bandas de energía, células solares IBC, técnica de pasivación, efecto fotovoltaico, diodo de unión p-n.*

## 1. Introduction

Nikola Tesla said that “the sun maintains all human life and supplies all human energy”. The sun furnishes with energy all forms of living, start from the photosynthesis process; plants absorb solar radiation and convert it into stored energy for growth and development, thus

supporting life on Earth. For this reason, the sun is the most important and plentiful sources of renewable energies. This star is about 4.6 billion years old with another 5 billion years of hydrogen fuel to burn in its lifetime. This characteristic gives to all living creatures a sustainable and clean energy source that will not run out

**Citación:** N. Guerram M. Guervara, C.Palacios y F. Crupi, “Operation and Physics of Photovoltaic Solar Cells: an overview”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (84-95), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 21 de agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** 23 de octubre de 2018. **Aceptado:** 6 de noviembre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/iddt.v14.2.2077>

**Copyright:** 2018 N. Guerram M. Guervara, C.Palacios, C.Palacios y F. Crupi. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

anytime soon. In particular, solar power is the primary source of electrical and thermal energy, produced by directly exploiting the highest levels of the irradiated energy from the sun to our planet. Therefore, solar energy offers many benefits such as no-releasing greenhouse gases ( $GHG_s$ ) or other harmful gases in the atmosphere.

It is economically feasible in urban and rural areas and evenly distributed across the planet. Moreover, as it was mentioned above, solar power is also essentially infinite, a reason why it is close to being the largest source of electricity in the world by 2050. Besides, most of the energy forms available on earth arise directly from the solar energy, including wind, hydro, biomass and fossil fuels, with some exceptions like nuclear and geothermal energies.

Solar cell also called photovoltaic (PV) cell is basically a technology that convert sunlight (photons) directly into electricity (voltage and electric current) at the atomic level. This can be obtained through the photovoltaic effect, process in which two dissimilar materials in close contact produce an electrical voltage when struck by light or other radiant energy. Essentially, solar cells are composed of two different types of semiconductors: an n- and a p-type that are joined together to create a p-n junction. By joining these two types of semiconductors, an electric field is formed in the region of the junction as electrons move to the positive p-side and holes move to the negative n-side. This field causes negatively charged particles to move in one direction and positively charged particles in the other direction, thus, producing an electrical voltage. On the other hand, PV energy is also a renewable, versatile technology that can be used for almost anything that requires electricity, from small and remote applications to large, central power stations. PV can be friendly and a great alternative to satisfy the steady growing energy-demand in the entire globe by producing clean electric power which also reduces the negative greenhouse effects ( $GHE$ ). This work presents a concise review of the basic physical principles that characterize the method of function of solar cell devices.

Initially, a general report on a research activity on some advanced technological solutions aimed at increasing the conversion efficiency of silicon solar cells made in the photovoltaic industry since the middle of the 20th century is introduced. Furthermore, a description of the most used architectures of solar cells and an explanation of the main process-related to the PV effect is presented.

All these concepts support the comprehension of the working principle of silicon solar cells. Secondly, an analysis on the collection of charge carriers by using p-n

junction and a review of the set of the basic equations that describe the ideal properties of semiconductor devices in the drift-diffusion approximation is also included. Subsequently, the simple 1D diode model is first discussed in order to analytically derive the ideal solar cell illuminated I-V characteristics in order to complement the explanation of the physics mechanisms related to the solar cell operation.

## 2. Development of PV technology systems

Photovoltaic technology is one of the foremost ways to harness solar energy. A PV cell consists of an electrical device made out of certain semiconductor materials such as Silicon, that exhibit a particular property known as the *bulk photovoltaic effect*. The PV effect is a process that causes the absorption of photons of light and releases electrons, and when these free electrons are captured, an electric current is obtained. In other words, the PV system directly converts sunlight (photons) into electricity (voltage) without any intermediary. In 1954 the scientists Daryl M. Chapin, Calvin S. Fuller, and Gerald L. Pearson built the first modern silicon-based photovoltaic cell at Bell Laboratories in the United States, registering an efficiency of about 6% [3]. This paramount invention defines a new era for the current and future developments in the PV industry by offering advantages that include technical and environmental parameters, taking as a reference the positive and negative issues of conventional fossil-fuel power plants. By the early 1960s, laboratories started developing the first silicon solar cells to power space satellites. These applications were extremely expensive devices, unsuitable for terrestrial use. The first vast oil crisis, which occurred during the 1970s, gave a first important boost to the promotion of photovoltaics as an alternative energy-generation process for terrestrial use. Consequently, solar cells research and development experienced growing interest. As a result, solar cells began to quickly increase their energy-conversion efficiency (see figure 1) and the increase of the volume of cells produced for terrestrial use led to a significant reduction in solar cell manufacturing costs.

Therefore, in the late 1970s and 1980s, the developed PV systems were focused on terrestrial applications, and the first thin-film solar cell based on copper-sulphide/cadmium-sulphide junction amounted to an efficiency ( $\eta$ ) above 10%.



prevents light from entering the solar cell. The shading losses are determined by the transparency of the top surface, which, for a planar top surface, is defined as the fraction of the top surface covered by metal. The transparency is determined by the width of the metal lines on the surface and on the spacing of the metal lines. An important practical limitation is the minimum line-width associated with a particular metallization technology [12], [21], [38].

In table 1 there is a summary of some of the latest published manufacturing data of *c*-Si solar cells and their certified efficiency records.

### 3.2 Advanced solar cells

During the last thirty years, the PV research community has been focusing their efforts on optimizing the solar cell design and performance, with the main scope of achieving highest efficiencies while reducing typical loss mechanisms and production costs. In this way, innovative cell designs have been studied and developed, stating that the best concepts so far are based on monocrystalline wafers [48]. Silicon-based structures, which feature the highest conversion efficiencies, are classified into three main groups:

- Passivated Emitter Rear Locally diffused (PERL) solar cell.
- Silicon Heterojunction solar cell (SHJ).
- Interdigitated Back Contact solar cell (IBC) (also called back contact-back junction solar cell (BC-BJ)).

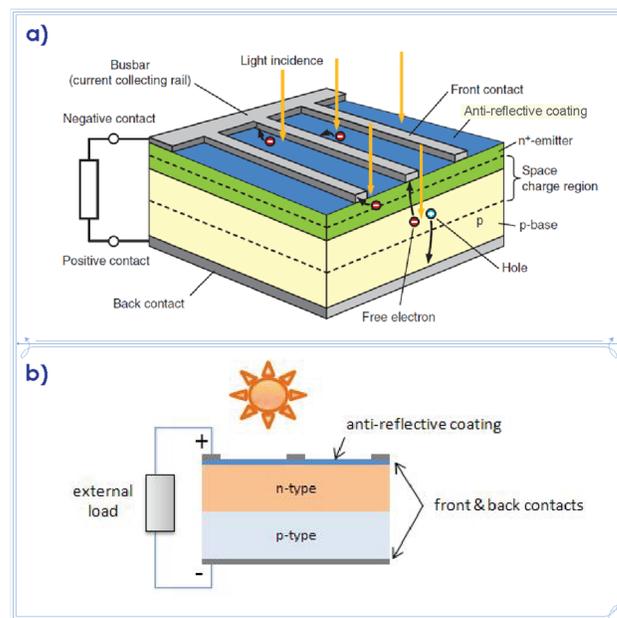
In the following sections a short review of these kinds of solar cells is presented.

#### 3.2.1 Passivated Emitter Rear Locally diffused (PERL) solar cell

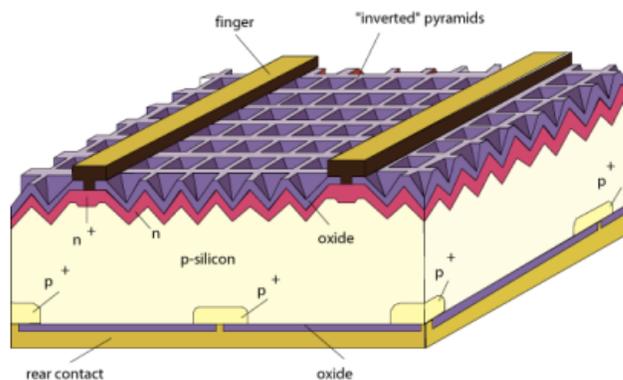
The *Passivated Emitter Rear Locally diffused* solar cell integrates two important concepts that minimise the recombination centers on the top and bottom of the solar cell. Substantially, the key features of PERL cells are listed as follows, the top surface of the solar cell is textured by using inverted-pyramid structures and covered by double-layer anti-reflecting coating (ARC) which significantly reduces the top surface reflection as well as the amount of carrier recombination. The front metal finger grids are defined by photolithography technology to be very thin therefore minimising metal shading loss. Both inverted-pyramid texturing and fine metal fingers decrease the optical losses which contribute to a higher current for the solar cell (see figure 3).

Conversely, at the rear side of the cell, a selective emitter technique is applied (heavily phosphorus diffused

regions underneath the metal contacts) whilst the rest of the top surface is lightly diffused to keep excellent “blue response” (absorbing the short-wavelength photons). This can mitigate both contact resistance and recombination at the rear while keeping a good electrical contact. PERL solar cell uses micro-techniques to produce cells with efficiencies. approaching 25% under the standard AM1.5 spectrum [16], [30], [47].



**Figure 2.** a) Three-dimensional (3D) view of a conventional solar cell featuring front and back contacts. b) Two-dimensional (2D) cross-section of a conventional solar cell. Taken from [26], [33].



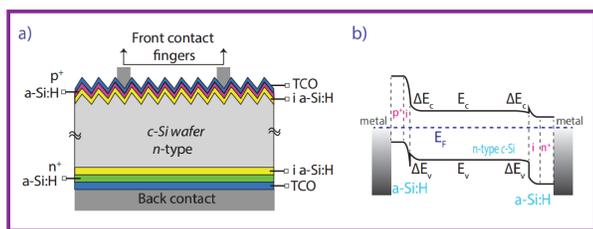
**Figure 3.** Structure of a high-efficiency PERL Solar cell. Reprinted from [13].

**Tabla 1.** Performance parameters of certified *c*-Si solar cells. (\*da: designated area, \*ta: total area, \*ap: aperture area)

Device	Area [cm <sup>2</sup> ]	V <sub>OC</sub> [mV]	J <sub>SC</sub> [mA/cm <sup>2</sup> ]	FF[%]	η[%]	Reference
Kaneka IBC HIT	180.43 (da)	744	42.3	83.8	26.3	[49]
Panasonic IBC HIT	143.7 (da)	740	41.8	82.7	25.6	[35]
SunPower IBC	153.5 (ta)	737	41.3	82.7	25.2	[42]
Kaneka SHJ	151.9 (ap)	738	40.8	83.5	25.1	[39]
Fraunhofer ISE TOPCon	4.0 (da)	718	42.1	83.2	25.1	[34], [41]
UNSW PERL ( <i>p</i> -type)	4.0 (da)	706	42.7	82.8	25.0	[16], [47]
Panasonic HIT	101.8 (ta)	750	39.5	83.2	24.7	[37]
EPFL MoO <sub>x</sub> SHJ	3.9 (ap)	725	38.6	80.4	22.5	[40]
IMEC PERT ( <i>n</i> -type)	238.9 (ta)	695	40.2	80.5	22.5	[44], [45]
Trina solar mono-Si PERC ( <i>p</i> -type)	243.7	680	40.5	80.3	22.1	[42]

### 3.2.2 Silicon Heterojunction (SHJ) solar cell

The *Silicon Heterojunction* solar cell is a structure made out of two different silicon-based semiconductor materials. One of these materials is applied as a thin layer between silicon and metal. This technique commonly considers the deposition of a thin amorphous silicon (*a*-Si) layer, demonstrating an evident increment of the open circuit voltage  $V_{oc}$  with no need of an expensive patterning process. Since *a*-Si has a wide band-gap layer,  $V_{oc}$  is enhanced and the high surface recombination in active metal contacts is lessened. A schematic of a two-dimensional cross view and a band diagram of a typical silicon heterojunction (SHJ) solar cell are illustrated in figure 4. The latest performance record for the heterojunction silicon-based (*c*-Si) concept has reported an open circuit voltage value of  $V_{oc} = 0.74V$  and a conversion efficiency equal to  $\eta = 25.6\%$  [42].

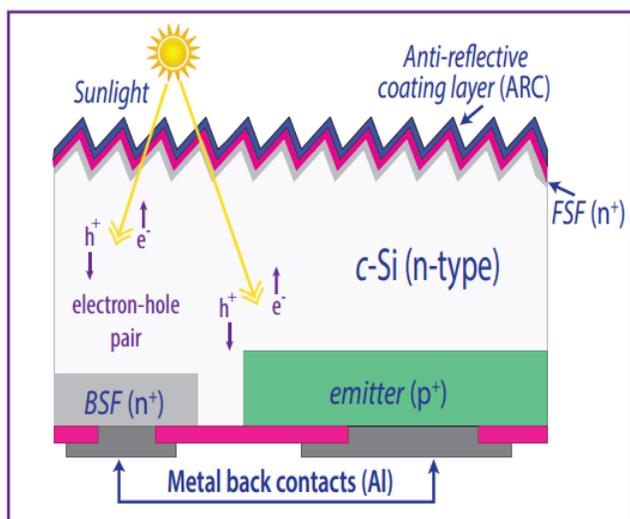


**Figure 4.** a) Two-dimensional (2D) cross section of a silicon heterojunction (SHJ) solar cell. b) Corresponding band diagram in dark at equilibrium. Reprinted from [33], [48].

### 3.2.3 Interdigitated Back Contact solar cell (IBC)

This architecture is also known as *back contact-back junction solar cell* (BC-BJ) and consists of a design where both metal contacts are located on the bottom of the *c*-Si wafer, simplifying the cell interconnection at module level. These characteristics of IBC cells also allow boosting the solar cell conversion efficiency  $\eta$  due

to the absence of front contact shadowing losses. In fact, this is the opposite case of traditional PV cells, where metal grids at the front surface are the main cause of electrical shading losses and an attenuated short circuit current  $J_{sc}$ . Since back contact-back junction cells are an evolution of conventional solar cells, they offer many other advantages as the possibility of coplanar interconnection and low series resistance, due to the facility of making much larger metallization coverage on the rear side. Nonetheless, some critical parameters must be kept in mind. Usually, carriers are generated near the top surface because most energetic photons are absorbed almost immediately within the first microns of the wafer. Subsequently, since BC-BJ has the junction on the rear side of the cell, charge carriers have to travel through the whole substrate to reach their respective collection centers, avoiding recombination. With regards to this, *back contact-back junction* solar cells are very sensitive to recombination mechanisms such as SRH in the bulk and at the interfaces [23]. These process can occur due to an inadequate passivation (i.e. a way to suppress the defects present in the crystal lattice) on the front and back surfaces, and also because of a low effective bulk lifetime  $\tau_{Bulk}$ , as well as, a high surface recombination velocity at front surface. Basically, the cell structure has both *n*-type and *p*-type sides alternating on the bottom of the substrate, and they are represented by the BSF and emitter regions, respectively. These regions are responsible for collecting the charge carriers selectively, by directing electrons into the BSF and holes into the emitter. Consequently, collected carriers must flow through their corresponding metal-point contacts located just below the *n*-type and *p*-type regions in order to extract power from the PV cell, as illustrated in figure 5.



**Figure 5.** Schematic of a simple single-junction back contact solar cell structure, where the photogeneration of electron-hole pairs is exhibited. Re-designed from [29].

#### 4. Solar cell operating principle

The working principle of a silicon solar cell is based on the well-known photovoltaic effect discovered by the French physicist Alexander Becquerel in 1839 [1]. As described in section 2 this effect generates an electric field at the junction of two materials in response to electromagnetic radiation (photons). It is worth noting that the PV effect is closely related to the photoelectric effect which was explained by Albert Einstein in 1905.

Basically, he assumed that photons are quantum energy which are present in light, and this energy is given by the following expression,

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

Where,  $h$  is Planck's constant and  $\nu$  is the frequency of the light. This scientific explanation granted Einstein the Nobel Prize in Physics in 1921 [2]. Accordingly, the photovoltaic effect takes place in a solar cell, a structure based on two types of semiconductor materials that are joined together to create a p-n junction diode that operates under solar illumination (see figure 5). Essentially, the PV effect is described by three basic process:

1. **Generation of charge carriers (electron-hole pair) due to the absorption of light.** When sunlight hits the semiconductor surface, a portion of photons is transmitted and, then, absorbed into the material producing photo-generated electron-hole pair; while the rest is reflected.

2. **Separation of the photo-generated charge carriers in the junction.** The electron-hole pair is

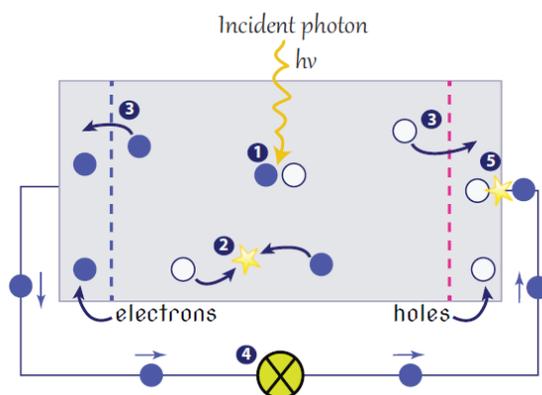
separated by the internal built-in electric field of the p-n junction before they recombine.

3. **Collection of the photo-generated charge carriers at the terminals of the junction.** The charge carriers are extracted from the solar cell with electrical contacts, thus contributing to the output current in the external circuit. Finally, the chemical energy of the charge carriers is converted to electric energy. At this point, as electrons have passed through the circuit, they will recombine with holes at a metal absorber interface, as sketched in figure. 6 [48].

### 5. Device physics of solar cells

#### 5.1 Semiconductor model equations

Once the electron-hole pairs are generated due to the light absorption process, they move around inside the crystal lattice and before recombining they should be collected in order to extract power from the PV cell. The way these electrical currents are generated is due to the transport of the electron-hole charges. Therefore, the well known Drift-Diffusion (D-D) model transport is the appropriated mechanism to describe the operation of charge carriers in the substrate under the influence of light and/or electric field, thus leading to a variation from the thermal equilibrium conditions. Basically, the D-D approximation consists in the solution of a set of five basic equations which derive the ideal properties of semiconductor devices including *Si* solar cells.



**Figure 6.** Schematic of a very simple solar cell model.

1 Absorption of a photon leads to the generation of an electron-hole pair. 2 Normally, the electrons and holes will recombine. 3 Electrons and holes can be separated by the n-type and p-type materials. 4 The separated electrons can be used to drive an electric circuit. 5 After the electrons have passed through the circuit, they will recombine with holes. Taken from [48].

### 5.1.1 Poisson equation

Poisson equation describes the electrostatics by relating the divergence of the static electric field  $\xi$  to the charge density  $\rho$ :

$$\nabla \cdot \xi = \nabla^2 \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2)$$

where  $\rho$  is the electrostatic potential and  $\varepsilon$  is the material permittivity. The charge density in a semiconductor device is given by,

$$\rho = q(p - n + N_D^+ - N_A^-) \quad (3)$$

where  $n$  and  $p$  are the electron and hole densities, and  $N_D^+$  and  $N_A^-$  are the densities of ionized donors and acceptors, respectively.

### 5.1.2 Drift-Diffusion transport model equations

It is widely known that the electrical current flow in a semiconductor device is generated by the transport of electrons and holes. This is possible through the two basic drift-diffusion (D-D) transport processes. First of all, drift mechanism takes place when applying an electric field  $\xi$  across the semiconductor, whereas diffusion transport process is driven by a concentration gradient.

Accordingly, the total current densities of electrons and holes denoted by,  $J_n$  and  $J_p$  are defined as,

$$J_n = q\mu_n n\xi + qD_n \nabla n \quad (4)$$

$$J_p = q\mu_p p\xi + qD_p \nabla p \quad (5)$$

where  $\mu_n$  and  $\mu_p$  are the electron and hole mobilities, and  $D_n$  and  $D_p$  are the electron and hole diffusion coefficients, respectively. The first terms on the right side of equation (4) and equation (5) represent the drift currents, whereas the second terms denote diffusion currents approximation. The mobility and diffusion coefficients are related through the Einstein relationship, as follows,

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q} \text{ and } D_p = \mu_p \frac{kT}{q} \quad (6)$$

For the case of solar cell devices, the simulator estimates charge distribution and transport mechanisms according to the well known Drift Diffusion (D-D) Model.

### 5.1.3 Continuity equations

In order to define the complete set of semiconductor equations, two more expressions are required. These last equations associate the divergence of the current densities to the generation and recombination rates of the related charge carriers. Besides, they take into account the law of conservation of charges. Under steady-state conditions, the electron and hole continuity equations can be defined as,

$$\frac{1}{q} \nabla \cdot J_n = R_n - G_n \quad (7)$$

$$\frac{1}{q} \nabla \cdot J_p = R_p - G_p \quad (8)$$

where  $G$  represents the optical generation rate of electron-hole pairs and,  $R_n$  and  $R_p$  are the recombination rates for electrons and holes respectively. For a uniformly doped semiconductor; band-gap, electric permittivity, mobility and diffusion coefficients are independent of position. Therefore, the equations (2), (4), (5), (7) and (8) represent the base for obtaining the reduced version of semiconductor equations.

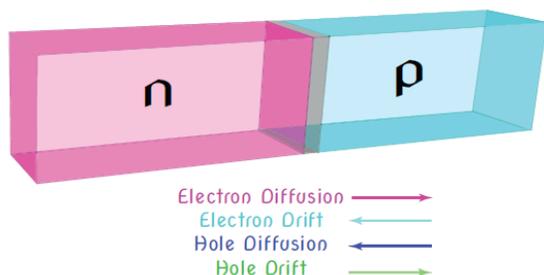
## 6. 1D p-n junction diode model

An ideal PV cell illuminated  $I$ - $V$  characteristics and output dark can be easily solved, from the set of equations already presented in the previous section 5.1. To achieve this, it is mandatory to adopt a simple 1D  $p$ - $n$  junction diode model for a silicon solar cell featuring a constant doping in the  $n$ - and  $p$ -type regions, and a blunt doping step transition, as well as additional simplified assumptions [31].

### 6.1 Electrostatics of the p – n junction

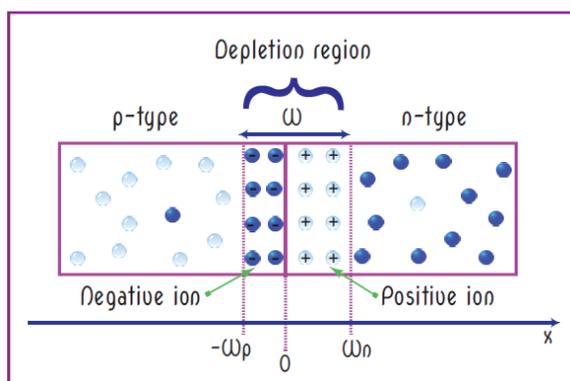
As already explained a conventional solar cell is simply formed by the well-known  $p$ - $n$  junction. It consists of a simple union of two oppositely doped silicon blocks that allows the operation of the device, aggregating all carrier transport (e.g., drift and diffusion effects) as illustrated in figure 7. The  $n$ -type block has a large number of free electrons negatively charged. Meanwhile,  $p$ -type block has also a big amount of free holes positively charged. Both charged carriers can move freely through the semiconductor material. When two pieces of  $n$ -type and  $p$ -type doped semiconductors are brought into contact, electrons diffuse from the region of high concentration ( $n$ -type side) to the region of low concentration ( $p$ -type side), due to the concentration gradient between the two types of material. Similarly, holes diffuse from  $p$ -type side to  $n$ -type side. As a

consequence, the electrons diffusion current from the  $n$ -doped to the  $p$ -doped region creates a charge imbalance in the  $n$ -type side, leading to a positively charged region in that side (see figure 8). Likewise, the holes diffusion causes a negative charge in the  $p$ -type side. This leads to the creation of an electric field that opposes the diffusion transport, thus resulting in an equilibrium situation.



**Figure 7.** Sketch of a 3D p-n junction semiconductor diode. Re-designed from [20].

The transition region between the  $n$ -type and  $p$ -type of the semiconductor material, where the electric field  $E$  is present, is known as the *depletion region* (denoted by  $W$ ), since it is depleted of free carriers (i.e. electrons and holes swept by the  $E$  electric field) [18], [22]. With regards to the energy band diagrams, the main concepts are illustrated in figure 9 a) where a structure of an  $n$ -type interdigitated back contact (IBC) crystalline silicon solar cell is sketched and features two phosphorus diffusions ( $n+$ ) to create the top region known as *front surface field* (FSF) and the bottom region called *back surface field* (BSF). The junction is at the back by the injection of Boron in the emitter region. On the other hand, figure 9 b) the p-n junction is in equilibrium. It shows a constant Fermi level  $E_F$ , thus causing the band bending of the conduction energy band  $E_C$  and the valence band  $E_V$ .



**Figure 8.** Simple solar cell schematic showing a 1D p-n

junction. The junction is in  $x = 0$ ,  $W$  is the width of the depletion region, whereas  $W_p$  and  $W_n$  represent the edges of the depletion region [27].

In figure 9 c) the Fermi energy level splits into two quasi-Fermi energy levels when the solar cell is working in a maximum power point. This is a consequence of the excess concentration of carriers generated by the one-sun illumination. A small gradient of the quasi-Fermi energy levels drives electrons to fall (as balls) to the left, whereas holes rise up (as bubbles) to the right side. This directional flow of electron-hole carriers is due to the fact that, electron density is several orders of magnitude higher than hole density on the left ( $n+$  region), and the opposite happens on the right side ( $p+$  region), as shown in figure 9 d). In terms of energy bands, the Fermi levels  $E_f$  of two separated  $p$ - and  $n$ -doped regions are different.

Instead, the p-n junction in equilibrium shows a constant Fermi level, thus causing the band bending of the conduction energy band  $E_C$  and the valence energy band  $E_V$  (see figure 9 b)). From figure 9 b), the electrostatic potential difference across the junction, known as the built-in potential  $j_0$ , can be expressed as:

$$q\phi_0 = E_g - E_1 - E_2 \tag{9}$$

where  $E_g = E_1 - E_2$  is the energy band-gap between the conduction and valence band edges.  $E_1$  and  $E_2$  can be derived from the Boltzmann expressions of the free carrier concentrations for non-degenerate doped semiconductors at thermal equilibrium, assuming that the dopants are fully ionized [5]:

$$n_0 = N_D = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{kT}\right) \tag{10}$$

$$p_0 = N_A = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right) \tag{11}$$

where  $N_C$  and  $N_V$  are the effective densities of states of the conduction and valence bands, respectively. The electrostatics of the p-n junction is defined by Poisson equation see equation (2).

## 7. Carrier Recombination Mechanisms

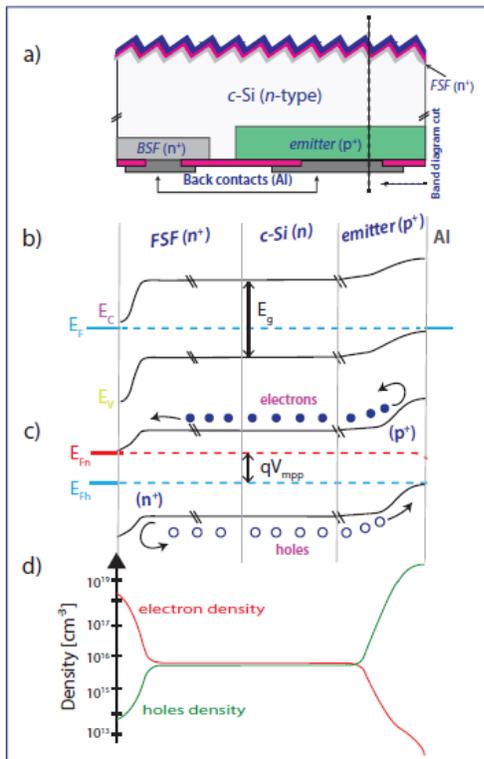
As discussed in section 4, generation and recombination of charge carriers are fundamental to the operation of several optoelectronic semiconductor devices such as solar PV cells. Moreover, it is crucial to know that both processes take place continuously in the crystal structure  $c$ -Si, where electrons and holes are created and then annihilated. On top of this, under equilibrium conditions, they are equal, and carrier density

is constant. The recombination rate  $U$  per unit time and volume can be defined as the difference between the recombination rate  $R$  and the generation rate  $G$ ,

$$U = R - G \quad (12)$$

The generation of the electron-hole pair is originated when a piece of semiconductor is illuminated by a light pulse with photon energy bigger than the band gap energy; enhancing the transition of electrons from the valence band to the conduction band, leaving holes behind in the valence band. In order to reach the thermal equilibrium in the system, the reverse process must also occur, the excess electrons in the conduction band will recombine with holes and the energy is released in the may recombine before they contribute to the collected current. These losses are frequently classified according to the region of the cell where they take place [33], [48].

Thus, the most common recombination mechanisms which contribute to the electrical losses are located in both, the bulk and the surface of the wafer. The first one is an intrinsic recombination process, i.e. they are inherent to the existence of separated energy bands of the material.



**Figure 9.** Energy band diagrams of a) simulated interdigitated back contact (IBC)  $n$ -type (5)  $c$ -Si solar cell featuring main regions such as bulk, FSF, BSF, and emitter. b)  $p$ - $n$  junction in

equilibrium. c) maximum power point operation. d) electron-hole density or concentration in the FSF, bulk and emitter regions, respectively.

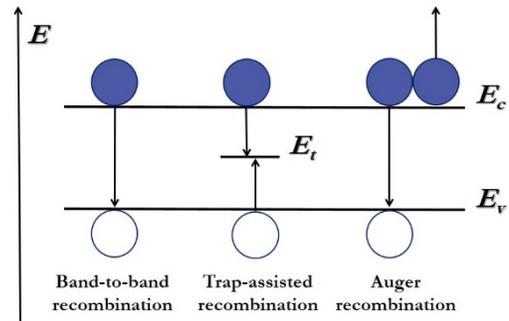


**Figure 10.** Sketch of a semiconductor in thermal equilibrium.  $E_v$  represents the valence band energy and  $E_c$  the conduction band energy, respectively. The electron-hole pair is denoted by  $e$ - $h$ . [18].

In the substrate of a single-crystal structure, the basic recombination mechanism is composed by the Radiative, Shockley-Read-Hall (SRH) and Auger (see figure 11).

The effects of the different recombinations add together to form a total rate of recombination in the bulk, as described in equation (13),

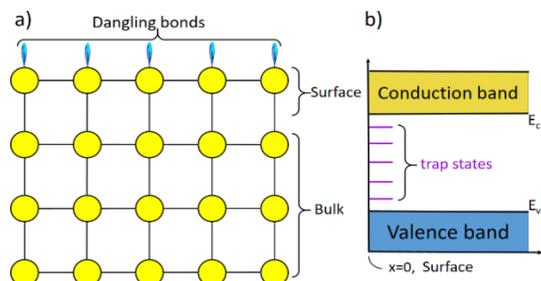
$$R_{Bulk} = (R_{RAD} + R_{AUGER} + R_{SRH}) \quad (13)$$



**Figure 11.** Schematic of the bulk recombination mechanisms in semiconductors. Taken from [20].

However, there is another important type of recombination which significantly impacts the performance of a semiconductor device, and we refer to it as *surface recombination*. This type is promoted by the presence of impurities and crystallographic imperfections at the surface, interface or within the material causing a high local recombination rate. These defects are denominated *dangling bonds* and generally are originated by interruptions to the periodicity of the silicon crystal lattice. Essentially, the dangling bond occurs when valence electrons on the silicon surface

cannot find a partner to create a covalent bond with, leaving an abrupt discontinuity of the crystal lattice, as exhibited in figure 12 a). As a consequence, dangling bonds enhance the creation of surface energy states in the forbidden band-gap, acting as trapping (recombination) centers for the minority carriers, inducing to *SRH* recombination (see figure 12 b)) [22]. In very pure semiconductors, recombination might be dominated by surface recombination.



**Figure 12.** a) Diagram of dangling bonds (surface defects or crystallographic imperfections) on a semiconductor surface; b) Sketch of the trapping state centers within the band-gap created by the dangling bonds. Taken from [48].

It is worth noting that, the presence of dangling bonds or defect (recombination) centers minimizes the *effective lifetime* of the excess minority carriers within the semiconductor, limiting the conversion efficiency  $\eta$  of the solar cells. For this reason, in order to boost the performance and quality of the solar cells, it is crucial to have a low *surface recombination velocity*  $S_r$  and hence reduce the number of dangling bonds in the silicon crystal lattice. This can be accomplished in two different ways:

1. First,  $S_r$  can be made low by reducing the trap density  $N_{sT}$ . In semiconductor technology, by depositing a thin layer of a suitable material onto the semiconductor surface can reduce the defect density. Because of this layer, the valence electrons on the surface can form covalent bonds, such that  $N_{sT}$  is reduced. This technique is known as *surface passivation* and it will be discussed in section 8.
2. Secondly, the excess minority carrier concentration (of electrons and holes) at the surface can be reduced by high doping of the region just underneath the surface in order to create a barrier. Because of this barrier, the minority carrier concentration is reduced and hence the recombination rate.

## 8. Surface passivation techniques

As it was mentioned above, silicon solar cells efficiency continues being degraded and limited by the

recombination losses of photogenerated carriers (i.e. electron-hole pairs) that take places at the interfaces and surfaces of the device. However, currently there is a large research activity focus on the implementation of effective processes to minimize the contamination control during fabrication and harmful surface defects. In order to enhance the quality and performance of solar cells, it is essential to limit the presence of crystallographic defects and external undesirable impurities (i.e. dangling bonds), while also keeping the surface recombination as low as possible. This is accomplished by the growth of an appropriate passivating film on the semiconductor surface (chemical passivation), or by immersing the sample into polar liquids [9], [17], [19]. *Surface passivation* is achieved by the chemical process of depositing a thin layer of a different material on top of a semiconductor surface, which partially restores the bonding periodicity of the atoms in the silicon crystal lattice [7], [8], [10], [11], [15], [24]. This leads to a lessened interface defect density of traps  $N_{sT}$  and a reduced surface recombination velocity  $S_r$  at the *Si* surface [14].

## 9. Conclusion

Solar PV cells are quite simple devices that convert sunlight into voltage or electric current by exploiting the capabilities of semi-conducting materials (e.g., *c-Si*) to absorb light and to deliver a portion of energy to carriers of electrical current. Reasoning from this fact, solar cell specialists have been contributing to the development of advanced PV systems from a costly space technology to affordable terrestrial energy applications.

Actually, since the early 1980s, PV research activities have been obtaining significant improvements in the performance of diverse photovoltaic applications. A new generation of low-cost products based on thin films of photoactive materials (e.g., amorphous silicon, copper indium diselenide (CIS), cadmium telluride (CdTe), and film crystalline silicon) deposited on inexpensive substrates, increase the prospects of rapid commercialization. It is worth mentioning that the photovoltaic market is dominated by the crystalline silicon *c-Si* solar cell devices because of the specific and beneficial characteristics of this semiconductor material in the electronics industry. Particularly, *Si* is abundant in nature and can be processed at relatively low costs, thus leading to a lowering on the energy payback time. In particular, the research on *c-Si* has a fundamental importance especially due to the low-costs achieved and the promising wide enhancements on the future electronic applications. Consequently, the photovoltaic

industry has focused on the development of feasible and high-efficiency solar cell devices by using accessible semiconductor materials that reduce production costs.

Nonetheless, photovoltaic applications must improve their performance and market competitiveness in order to increase their global install capacity. In this context, the design of innovative solar cell structures along with the development of advanced manufacturing process are key elements for the optimization of a PV system. Therefore, the understanding of the basic physical principles, loss mechanism and the adoption of a proper solar cell design, passivation techniques, materials, and doping profiles are fundamental to the operation of several optoelectronic semiconductor devices such as solar PV cells.

Accordingly, photovoltaic energy generates electricity in a distributed, clean and inexhaustible manner, being able, theoretically, to fully cover the worldwide energy demand, or at least an important portion.

## 10. Acknowledgement

This work has been sponsored by the Institute for Training and Benefit of Human Resources (IFARHU), National Secretariat of Science, Technology and Innovation under the National Research System (SNI), University of Calabria and the Technological University of Panama (UTP).

## 11. References

- [1] A. Becquerel, "Memoire sur les effets d'électriques produits sous l'influence des rayons solaires," *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 54, pp. 35–42, 1841.
- [2] A. Einstein, "On a heuristic point of view concerning the generation and transformation of light," *Ann. Phys.*, vol. 322, no. 6, pp. 132–148, 1905.
- [3] D. M. Chapin, C. Fuller, and G. Pearson, "A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power," *Journal of Applied Physics*, vol. 25, no. 5, pp. 676–677, 1954.
- [4] M. D. Lammert and R. J. Schwartz, "The interdigitated back contact solar cell: A silicon solar cell for use in concentrated sunlight," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 24, no. 4, pp. 337–342, 1977.
- [5] M. A. Green, "Solar cells: Operating principles, technology, and system applications," 1982.
- [6] R. M. Swanson, S. K. Beckwith, R. A. Crane, W. D. Eades, Y. H. Kwark, R. Sinton, and S. Swirhun, "Point-contact silicon solar cells," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 31, no. 5, pp. 661–664, 1984.
- [7] E. Yablonovitch, D. Allara, C. Chang, T. Gmitter, and T. Bright, "Unusually low surface-recombination velocity on silicon and germanium surfaces," *Physical review letters*, vol. 57, no. 2, p. 249, 1986.
- [8] D. Fenner, D. Biegelsen, and R. Bringans, "Silicon surface passivation by hydrogen termination: A comparative study of preparation methods," *Journal of Applied Physics*, vol. 66, no. 1, pp. 419–424, 1989.
- [9] R. Hezel and K. Jaeger, "Low-temperature surface passivation of silicon for solar cells," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 136, no. 2, pp. 518–523, 1989.
- [10] G. W. Trucks, K. Raghavachari, G. S. Higashi, and Y. J. Chabal, "Mechanism of hf etching of silicon surfaces: A theoretical understanding of hydrogen passivation," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 65, pp. 504–507, 4 1990.
- [11] J. J. Boland, "Scanning tunnelling microscopy of the interaction of hydrogen with silicon surfaces," *Advances in physics*, vol. 42, no. 2, pp. 129–171, 1993.
- [12] E. Lorenzo, *Solar electricity: engineering of photovoltaic systems*. Earthscan/James & James, 1994.
- [13] M. A. Green, *Silicon solar cells: advanced principles & practice*. Centre for Photovoltaic Devices and Systems, University of New South Wales, 1995.
- [14] A. G. Aberle, *Crystalline silicon solar cells: advanced surface passivation and analysis*. Centre for Photovoltaic Engineering. University of New South Wales, 1999.
- [15] S. Glunz, D. Biro, S. Rein, and W. Warta, "Field-effect passivation of the  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  interface," *Journal of Applied Physics*, vol. 86, no. 1, pp. 683–691, 1999.
- [16] J. Zhao, A. Wang, and M. A. Green, "24.5% efficiency silicon pert cells on mcz substrates and 24.7% efficiency perl cells on fz substrates," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 7, no. 6, pp. 471–474, 1999.
- [17] A. G. Aberle, "Surface passivation of crystalline silicon solar cells: A review," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 8, no. 5, pp. 473–487, 2000.
- [18] S. M. Sze, *Semiconductor devices: Physics and technology*, 2nd ed. John Wiley Sons Inc, New York, NY, 2002.
- [19] B. Richards, "Comparison of  $\text{TiO}_2$  and other dielectric coatings for buried-contact solar cells: A review," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 12, no. 4, pp. 253–281, 2004.
- [20] B. Van Zeghbroeck, "Principles of semiconductor devices," Colorado University, 2004.
- [21] A. R. Burgers, *New metallisation patterns and analysis of light trapping for silicon solar cells*. Energieonderzoek Centrum Nederland, 2005.
- [22] S. Sze and K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices*, 3rd ed. Wiley, 2006.
- [23] F. Granek, M. Hermle, C. Reichel, O. Schultz-Wittmann, and S. Glunz, "High-efficiency back-contact back-junction silicon solar cell research at fraunhofer ise," in *Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2008, pp. 991–995.
- [24] B. Hoex, J. Gielis, M. Van de Sanden, and W. Kessels, "On the c-si surface passivation mechanism by the negative-charge-dielectric  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ," *Journal of Applied Physics*, vol. 104, no. 11, p. 113 703, 2008.
- [25] M. A. Green, "The path to 25% silicon solar cell efficiency: History of silicon cell evolution," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 17, no. 3, pp. 183–189, 2009.
- [26] National instruments in academia, *Photovoltaic Cell Overview (Part I)*, National Instruments Corporation, Dec. 2009.
- [27] C. Hu, *Modern semiconductor devices for integrated circuits*. Prentice Hall, 2010.
- [28] J. L. Gray, *The physics of the solar cell*. John Wiley &

- Sons, Ltd, 2011, pp. 82–129.
- [29] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley, 2011.
- [30] J Zhao, “Passivated emitter rear locally diffused solar cells,” *Bulletin of advanced technology research*, vol. 5, no. 8, 2011.
- [31] R. De Rose, “Investigation of silicon solar cells by means of electro-optical numerical simulations,” PhD thesis, 2012.
- [32] EPIA, “European photovoltaic industry association, global market outlook for photovoltaics until 2016,” *Solar Industry Reports*, 2012.
- [33] K. Mertens, *Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice*. Wiley, 2013.
- [34] F Feldmann, M Simon, M Bivour, C Reichel, M Hermle, and S. Glunz, “Carrier-selective contacts for si solar cells,” *Applied Physics Letters*, vol. 104, no. 18, p. 181 105, 2014.
- [35] K. Masuko, M. Shigematsu, T. Hashiguchi, D. Fujishima, M. Kai, N. Yoshimura, T. Yamaguchi, Y. Ichihashi, T. Mishima, N. Matsubara, et al., “Achievement of more than 25% conversion efficiency with crystalline silicon heterojunction solar cell,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 4, no. 6, pp. 1433–1435, 2014.
- [36] D. D. Smith, P. Cousins, S. Westerberg, R. De Jesus-Tabajonda, G. Aniero, and Y.-C. Shen, “Toward the practical limits of silicon solar cells,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 6, no. 4, pp. 1465–1469, 2014.
- [37] M. Taguchi, A. Yano, S. Tohoda, K. Matsuyama, Y. Nakamura, T. Nishiwaki, K. Fujita, and E. Maruyama, “24.7% record efficiency hit solar cell on thin silicon wafer,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 4, no. 1, pp. 96–99, 2014.
- [38] M. Tao, *Terawatt solar photovoltaics: roadblocks and opportunities*. Springer, 2014.
- [39] D. Adachi, J. L. Hernández, and K. Yamamoto, “Impact of carrier recombination on fill factor for large area heterojunction crystalline silicon solar cell with 25.1% efficiency,” *Applied Physics Letters*, vol. 107, no. 23, p. 233 506, 2015.
- A. J. Geissbühler, J. Werner, S. M. De Nicolas, L. Barraud, Hessler-Wyser, M. Despeisse, S. Nicolay, A. Tomasi,
- B. Niesen, S. De Wolf, et al., “22.5% efficient silicon heterojunction solar cell with molybdenum oxide hole collector,” *Applied Physics Letters*, vol. 107, no. 8, p. 081 601, 2015.
- [40] S. Glunz, F Feldmann, A Richter, M Bivour, C Reichel, H Steinkemper, J Benick, and M Hermle, “The irresistible charm of a simple current flow pattern 25% with a solar cell featuring a full-area back contact,” in *Proceedings of the 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2015*, pp. 259–263.
- [41] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, “Solar cell efficiency tables (version 45),” *Progress in photovoltaics: research and applications*, vol. 23, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [42] Massachusetts Institute of Technology, “Solar photovoltaic technologies, MIT,” 2015.
- [43] M. R. Payo, F Duerinckx, Y Li, and E Cornagliotti, “Advanced Doping Profiles By Selective Epitaxy Energy Pert Cells in N-Type,” in *31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 2015*, pp. 433–439.
- [44] L. Tous, M. Aleman, R. Russell, E. Cornagliotti, P. Choulat, A Uruena, S. Singh, J. John, F. Duerinckx, J. Poortmans, et al., “Evaluation of advanced p-perl and n-pert large area silicon solar cells with 20.5% energy conversion efficiencies,” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 23, no. 5, pp. 660–670, 2015.
- [45] E. Franklin, K. Fong, K. McIntosh, A. Fell, A. Blakers, T. Kho, D. Walter, D. Wang, N. Zin, M. Stocks, et al., “Design, fabrication and characterisation of a 24.4% efficient interdigitated back contact solar cell,” *Progress in Photovoltaics: research and applications*, vol. 24, no. 4, pp. 411–427, 2016.
- [46] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, “Solar cell efficiency tables (version 47),” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 24, no. NREL/JA-5J00-65643, 2016.
- [47] A. Smets, K. Jger, O. Isabella, R. Swaaij, and M. Zeman, *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. UIT Cambridge, 2016.
- [48] K. Yoshikawa, H. Kawasaki, W. Yoshida, T. Irie, K. Konishi, K. Nakano, T. Uto, D. Adachi, M. Kanematsu, H. Uzu, and K. Yamamoto, “Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%,” *Nature Energy*, vol. 2, p. 17 032, 2017.

# TCAD 2D numerical simulations for increasing efficiency of AlGaAs – GaAs Solar Cells

## Simulaciones numéricas TCAD en 2D para mejorar la eficiencia de celdas solares basadas en AlGaAs - GaAs

César A. Palacios A.<sup>1\*</sup>, Noemi Guerra<sup>2</sup>, Marco Guevara<sup>3</sup>, María José López<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador

<sup>2</sup> Departamento de Investigación, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>3</sup> Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

\*Autor de correspondencia: [cesar.palacios@unach.edu.ec](mailto:cesar.palacios@unach.edu.ec)

**ABSTRACT**– The performance of solar cells has improved quickly in recent years, the latest research focuses on thin cells, multijunction cells, solar cells of the group III-V compounds, Tandem cells, etc. In the present work, numerical simulations are developed, using SENTAURUS TCAD as a tool, in order to obtain a solar cell model based on Gallium Arsenide (GaAs). This solar cell corresponds to the so-called "Thin Films" due to the fact that can make layers thinner than we would have if we work with conventional semiconductors, such as; Silicon or Germanium; thus opening the possibility of placing the cell as a top layer within a tandem solar cell configuration with compounds of group III-V. That is why two types of simulations are performed with respect to the contact of the rear contact; one corresponds to the cell with a lower contact equal to the length of the cell and the other with a small contact of 5  $\mu\text{m}$ . In addition, the cell undergoes an optimization process by modifying the geometry and doping of the layers that comprise it, in order to improve its performance. To achieve this objective, the initial conditions and the appropriate simulation parameters must be determined, which have been selected and corroborated with the literature, allowing us to arrive at coherent results and optimal models of solar cell design through numerical simulations.

**Keywords**– *Solar cells, AlGaAs-GaAs, solar energy, numerical simulations, TCAD, Sentaurus, optical simulation, electrical simulation.*

**RESUMEN**– Las prestaciones de las celdas solares han mejorado rápidamente en los últimos años, las últimas investigaciones se centran en las celdas delgadas (thin films), celdas multijunction, celdas solares con compuestos del grupo III-V, celdas tipo Tandem, etc. En el presente trabajo, se desarrollan simulaciones numéricas, usando SENTAURUS TCAD como herramienta, con el fin de obtener un modelo de celda solar basada en Arseniuro de Galio (GaAs), esta celda solar corresponde a las denominadas "Thin Films" debido a que se pueden realizar capas mucho más delgadas que las que tendríamos si trabajamos con semiconductores convencionales, como; Silicio o Germanio; abriendo así la posibilidad de colocar a la celda como una capa superior dentro de una configuración de celda solar tipo Tandem con compuestos del grupo III-V. Es por ello que se realizan dos tipos de simulaciones respecto al contacto de la parte inferior; una corresponde a la celda con un contacto inferior igual a la longitud de la celda y la otra con un contacto pequeño de 5  $\mu\text{m}$ . Además, la celda se somete a un proceso de optimización mediante la modificación de la geometría y el dopaje de las capas que la conforman, con el fin de mejorar su rendimiento. Para poder lograr este objetivo se deben determinar las condiciones iniciales y los parámetros de simulación adecuados, los cuales han sido seleccionados y corroborados con la literatura, permitiéndonos llegar a resultados coherentes y modelos óptimos de diseño de celdas solares mediante simulaciones numéricas.

**Palabras clave**– *Celdas solares, AlGaAs-GaAs, energía solar, simulaciones numéricas, TCAD, Sentaurus, simulación óptica, simulación eléctrica.*

### 1. Introduction

The Sun is a big fusion reactor, it consists mainly of four hydrogen atoms melted into one helium atom. In the center of the Sun the pressure–temperature conditions are such that nuclear fusion can take place. The fusion temperatures in this process are around 15 million

degrees Celsius [1]. Some characteristics of Sun are summarized on table 1.

#### 1.1 Solar Radiation

Every hot body gives off radiation to its surroundings, according to Planck's Law of Radiation. The amount of power continuously radiated by the sun is  $P_{Sun}=3,845 \times 10^{26} \text{W}$ , but the Earth only receives a small

**Citación:** C. Palacios, N. Guerra, M. Guevara y M. López, "TCAD 2D numerical simulations for increasing efficiency of AlGaAs – GaAs Solar Cells", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (96-107), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 21 de agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** 12 de noviembre de 2018. **Aceptado:** 12 de noviembre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/iddt.v14.2.2078>

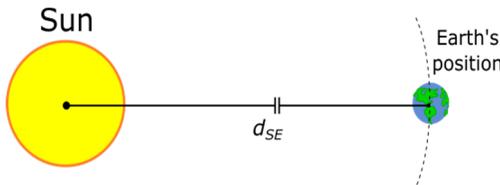
**Copyright:** 2019 C. Palacios, N. Guerra, M. Guevara y M. López. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

fraction [2]. To calculate this value, we assume there is a sphere around the Sun with a radius  $r = d_{SE}$ , as shown in figure 1.

**Table 1.** Characteristics of the sun [3]

Properties	Values
Diameter	$D_{Sun}=1,3 \times 10^6 \text{ km.}$
Mass	$m_S=1933 \times 10^{27} \text{ Kg}$
Surface temperature	$T_{Sun}=5578 \text{ K}$
Temperature at center	$15000000 \text{ K}$
Energy radiation	$P_{Sun}=3845 \times 10^{26} \text{ W}$
Mean distance Sun-Earth	$d_{SE}=149600000 \text{ Km}$

At the position of the Earth, the power density can be calculated as shown in Equation 1. The result of  $1367 \text{ W.m}^{-2}$  denotes the irradiance outside the Earth's atmosphere and it is called the solar constant.



**Figure 1.** Solar radiation at the Earth's position

$$I_0 = \frac{P_{sun}}{A} = \frac{P_{sun}}{4 \cdot \pi \cdot d_{SE}^2} \tag{1}$$

This value can be measured outside the Earth's atmosphere on a surface perpendicular to the solar radiation.

### 1.2 Solar spectrum

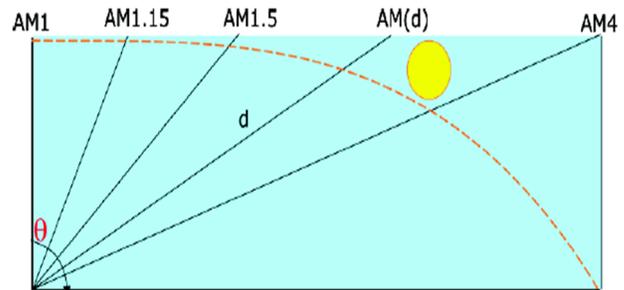
The solar spectrum denotes the composition of the light and the variation of the total irradiance due to the wavelengths. The typical measured values of radiation are usually lower than the solar constant, due to some factors of the atmosphere, as reflection of light by the atmosphere, absorption in the atmosphere (mainly  $O_3$ ,  $H_2$ ,  $O$ ,  $O_2$  and  $CO_2$ ), Rayleigh scattering and Mie scattering [4].

The absorption of light is selective and affects only some parts of the spectrum, is caused by the presence of different gases in the atmosphere, like water vapor, ozone and carbon dioxide. Ozone absorbs radiation with wavelengths below 300nm. Rayleigh scattering is

provoked by the presence of molecular air particles with diameters smaller than the wavelength of light. Shorter the light wavelength greater the Rayleigh scattering. Mie scattering, in the other hand, is caused by dust particles and air pollution. In this case, the diameter of the particles is larger than the wavelength of light. Mie scattering changes with the location, there is one type of scattering at mountains and there is a different for industrial regions [5].

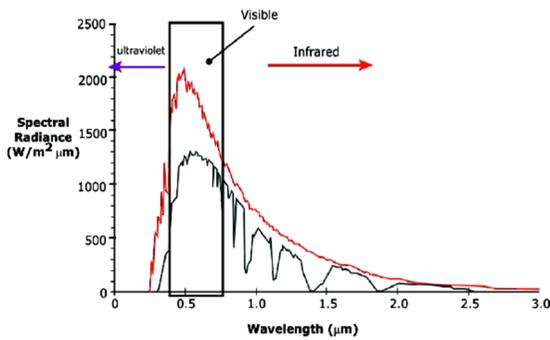
The most important factor that determines the solar irradiance is the distance that sunlight has to travel through the atmosphere. When the sun is at the zenith, the distance is the shortest. The ratio of a path length of the sunlight to this minimal distance is known as the Optical Air Mass [6]. Thus, the effect is greater, longer is the path of the light. When the sun is at its zenith the optical air mass is unity and the spectrum is called the air mass 1 (AM1) spectrum, as shown in figure 2. When the sun is at a different angle with the zenith, the air mass is given by equation 2.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \tag{2}$$



**Figure 2.** Air mass as a function of  $\theta$  angle.

In an easier way, we can say that the term AM 1.5 means the light has traveled 1.5 times the distance in comparison to the vertical path through the atmosphere. The Figure 3 shows the spectrum outside the atmosphere (AM 0) and at the surface of the Earth (AM 1.5). The spectrum describes the composition of the light and the contribution of the different wavelengths to the total irradiance.



**Figure 2.** AM0 and AM1 spectrum, at sun height of  $41,8^\circ$  [7].

Some characteristics of the solar spectrum are:

- The 7% of irradiation outside the atmosphere, i.e. the AM0, falls in the ultraviolet range and the 47% falls in the visible range.
- The AM 1.5 spectrum is reduced due to the absorption.

Because of the existence of many companies and laboratories that develop solar cells and photovoltaic systems, it is necessary to establish the conditions with which comparing the performance of the different solar cells and photovoltaic modules. These conditions are the standard test conditions(STC), characterized by:

- Irradiance of  $1\ 367\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
- AM1.5 spectrum
- and a cell temperature of  $25^\circ\text{C}$ .

The AM1.5 is defined in the International Standard IEC 60904-3[8]. STC and the AM 1.5 spectrum are used all over the world in industry and laboratories.

The incident radiation from the sun is the basis for all life on the Earth. Solar energy generation is the availability of transform sun light into any other form of energy, e.g. green plants, and some other organisms use sunlight to synthesize foods from carbon dioxide and water in a process called photosynthesis. Humans cannot directly transform the energy, but we use devices to mechanically or chemically convert it.

Photovoltaic energy conversion in general words can be explained as the technology that generates electrical power measured in Watts(W) from semiconductors when they are illuminated by photons [9].

The work is focused on to get the optical and electrical characteristics of two-dimensional(2D) single junction GaAs solar cell by using numerical simulations to develop and optimize semiconductor processing

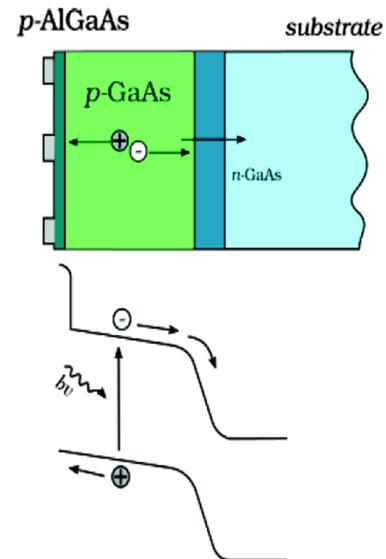
technologies and devices by means of *Sentaurus Technology Computer-Aided Design* (TCAD) [10] tools.

The process starts defining the geometrical structure and materials, then we obtain the generation profiles and insert those result in a process, called Visual, that extracts and filters the data to show graphics, curves, band diagrams and profiles of the figures of merit to evaluate the solar cell performance. Finally, in order to get an optimized GaAs solar cell, additional simulations have been done, changing the geometric and doping levels of the layers of the cell.

The simulated electrical characteristics include the light current–voltage (I–V) characteristics (using AM1.5 solar spectrum) and the energy band diagram. The optical characteristics that are obtained are the reflectance spectra, the spectral current densities and the quantum efficiency spectra (at short-circuit current density).

### 1.3 Photovoltaic energy conversion in a GaAs solar cell

As we know, a solar cell structure consists of an absorber layer, in which the photons of an incident radiation are efficiently absorbed resulting in a creation of electron-hole pairs. In order to separate the photogenerated electrons and holes from each other, the so-called “semi-permeable membranes” are attached to the both sides of the absorber [11].



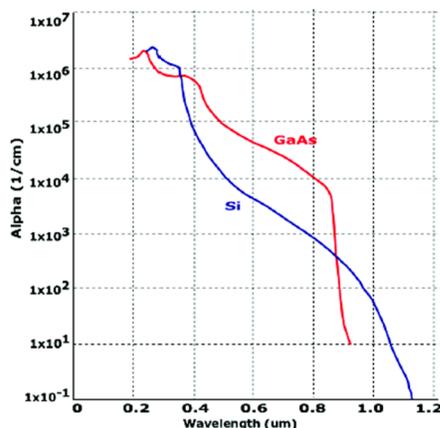
**Figure 4.** Photovoltaic effect in a GaAs solar cell.

A gallium-arsenide (GaAs) solar cell have a passivating Alluminum Gallium Arsenide (AlGaAs) layer that covers the top surface and prevents the surface recombination of minority carriers (electrons) from the emitter but transmits most of the incident light in the emitter layer where most of the power is generated, as sketched in figure 4.

#### 1.4 GaAs Solar cell features

Solar cell based in *AlGaAs-GaAs* alloys are used at high-efficiency, they are related with the semiconductors of the III-V group, because these are made with compounds of elements from the column III and V in the periodic table. *GaAs* is alloyed with *Al* to give the ternary compound  $Al_xGa_{1-x}As$ ; compound that was analyzed and simulated in this paper.

The characteristics of Gallium Arsenide (GaAs) have made of it, a photovoltaic material of interest. The bandgap of GaAs is 1.42 eV at 300K. This is very nearly ideal for a photovoltaic device operating in our solar spectrum. Therefore, GaAs solar cells can operate at higher temperatures than silicon (Si) cells and are expected to be very radiant resistant, furthermore GaAs solar cells have higher electron mobility and higher saturation velocity [12].



**Figure 5.** Photovoltaic effect in a GaAs solar cell.

The direct bandgap of the GaAs causes in the material a high optical absorption coefficient. This coefficient indicates how far the light of a particular wavelength can penetrate before that it have been absorbed. In a material with a low absorption coefficient, light is poorly absorbed, additional if the material is thin, it can be seen as a transparent layer [12]. The for GaAs rises very

steppy at the band edge ( $\lambda=0,88\mu\text{m}$ ) to values grater than  $104\text{cm}^{-1}$ , in contrast with the gradually rise of the absorption coefficient for silicon. We can see the curves of optical absorption vs. wavelength for the both of materials in figure 5.

About GaAs solar cells, there are some investigations with several techniques and processes to study the cells. In [13] an introduction to the concept of optical coupling matrix is presented, to account a photon recycling effects in a numerical model of a GaAs solar cell. Therefore, some techniques to separate a III-V solar cell structure from its underlying GaAs, are presented in [14].

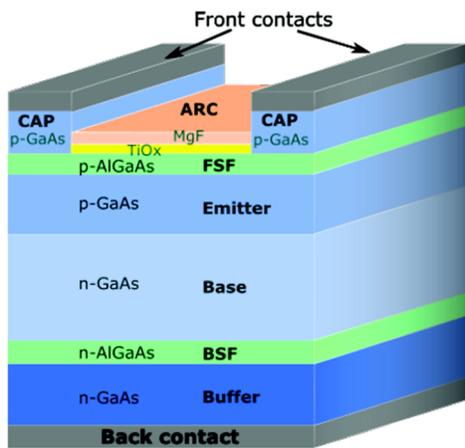
#### 1.5 Simulation software

Sentaurus is a TCAD software, developed by Synopsys, which solves the diffusion and transport equations, to modeling the structural properties and electrical behavior of semiconductor devices. All leading semiconductor companies use Synopsys TCAD tools throughout the technology development cycle. TCAD tools allow engineers to explore new design alternatives, test the quality of passivation layers, varying the lifetimes of charges executing simulations. Also is possible to evaluate, characterize, and optimize the process.

## 2. GaAs solar cell based analysis

In 1970 a Russian group reported a heterojunction solar cell consisting of a p-type emitter of  $Ga_{1-x}Al_xAs$ , grown on a *n-type* base of GaAs. It means that the layer can be made thick and heavily doped reducing the series resistance and reduce the surface recombination [12].

The solar cell that is analyzed and simulated is a GaAs based. It use two layers of an antireflective coating (ARC), the first one is a MgF2 layer and the second one a TiO<sub>2</sub> layer. The bulk is GaAs based with two different levels of doping, dividing the bulk in a emitter and a base. The characteristics and parameters for each material are introduced in the *sdevice* script of the software. To reduce the recombination losses, a front surface field (fsf), is used, and a back surface field (bsf) made of AlGaAs. A preliminary sketch of the solar cell is shown in figure 6.



**Figure 6.** Schematic of the GaAs solar cell. Electrons and holes are extracted through the front contact and the back contact.

## 2.1 The architecture of GaAs-AlGaAs solar cell

TCAD simulator requires some dimensions: lengths, shape geometry, mesh, and doping profiles. The bandgap of GaAs is close to the optimum  $E_g$  for single junction solar cells whose maximum efficiency is above 30% [15]. A sketch of the model is shown in figure 6.

Note that the structure has been studied under AM1.5 solar spectrum, with  $P=0,1W/cm^2$ , and at room temperature  $T = 300K$ .

The GaAs solar cell structure includes a "buffer layer" of *n-doped* GaAs, even though such a buffer layer is not needed theoretically. It was included for practical reasons, because the doping level and the surface quality of the GaAs wafer actually available have been found to lack adequate control. Furthermore, the higher  $n+$  doping level in the GaAs substrate rather than in the *n-doped* buffer layer allow easier fabrication of the back contact. The important characteristics for GaAs cells are: a thin (AlGaAs) fsf layer less than  $0,5 \mu m$  and a diffused electrical junction less than  $0,5 \mu m$  deep.

This ensures low optical absorption losses and minimizes the surface-recombination characteristic of GaAs surfaces and the latter ensures increased radiation hardness [17]. The detail of thickness and doping levels from figure 6, used for simulations are specified in table 2.

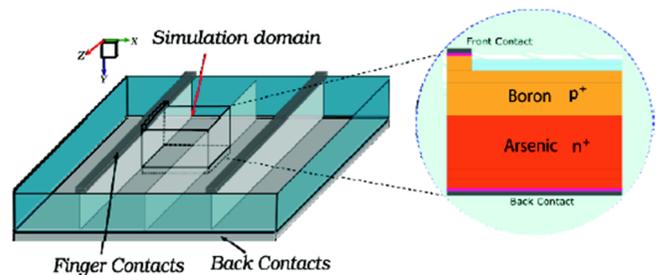
## 2.2 Simulation domains and mesh definition

The method of simulation adopted for this work consists in evaluate independently the optical and electric simulations. For instance, the meshing resolution

**Table 2.** Details of solar cell structure to simulate

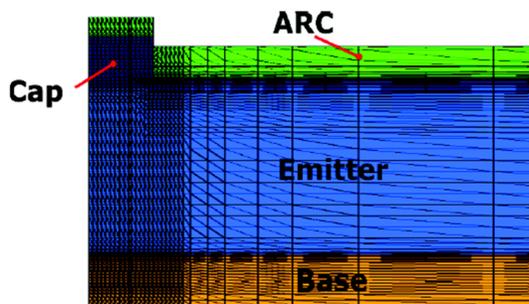
Region	Material	Thickness( $\mu m$ )	Doping( $cm^{-3}$ )
cap	GaAs	0,2	$-1,00e^{19}$
fsf	AlGaAs	0,04	$-2,00e^{18}$
emitter	GaAs	0,8	$-9,00e^{17}$
base	GaAs	3,2	$1,00e^{17}$
bsf	AlGaAs	0,2	$5,00e^{18}$
buffer	GaAs	0,35	$2,00e^{18}$
contacts	Aluminium	1	

size should be much finer than the needed to solve the electrical behavior, in the device. Even the considerations of sizing and shape are different for each one. Regarding the optical analysis, it is important considering the effects of surface texturing over the charge collection but is sufficient enough to take a look only in a portion that characterized the full surface roughness instead of unnecessary modeling the whole device area. Taking the case of a solar cell featuring finger as front contact and a back contact in the whole rear, it is sufficiently just modeling a small respective portion of the structure, that is typically half of the symmetry element in two dimensions, and a quarter of the symmetry element in three dimensions as is shown in figure 7.



**Figure 7.** Simulation domain. Left side, 3D simulation domain selection. Right side, 2D resulting simulation domain.

The electric-simulation domain is usually bigger than the optical one and requires another meshing strategy. The meshing procedure starts by creating a coarse grid in the whole structure followed by the addition of finer meshing refinements near to the junctions and metal contacts, as well as, in the uppermost part of the device, where most of the generation occurs. In figure 8, is sketched a mesh for the simulation domain from figure 7.



**Figure 8.** Mesh definition for a piece of the simulation domain.

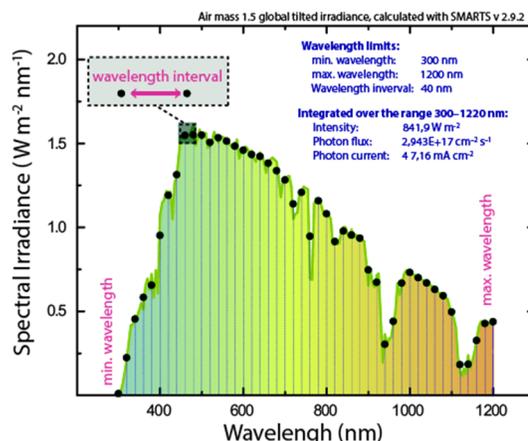
### 3. Optical simulation results

In order to obtain the optical characteristics in the simulation, we have to calculate the topics listed below:

- Optical intensity, absorbed photon density and optical generation rate using TMM solver.
- Optical intensity, absorbed photon density and optical generation rate using Raytracing solver.
- Integrated optical generation rate, which is used subsequently in Sentaurus Visual to compute the photogenerated current density  $J_{ph}(mA/cm^2)$ .
- Reflectance, transmittance and absorbance.
- Terminal current density  $J(mA/cm^2)$

#### 3.1 Optical generation profiles

Simulation of PV devices under illumination requires a source file numerically coupling, by Sentaurus TCAD, to the simulation domain that contains the geometry structure, mesh and optical physics information of materials to calculate the photogeneration rate of electron-hole pairs by solving the transport equations. The solar spectrum file sweeps the wavelength of incident sunlight from (300 nm) up to (1200 nm) using the conventional one-sun AM1.5d spectrum with an incident power of  $1000 W.m^2$ , defined in a file with two-columns format. The first column contains the wavelength in  $\mu m$  and the second one contains the intensity in  $Wcm^{-2}$ . This file is calculated based on the air mass 1.5 global tilted irradiance, by the spectral radiation model called SMARTS v 2.9.2 with inputs chosen per international standard IEC 60904-3-Ed2 [18], as shown in figure 9. The simulator also calculates the reflectance, transmittance, and absorbance as a function of the wavelength ( $\lambda$ ).



**Figure 9.** Air mass 1.5 global tilted irradiance.

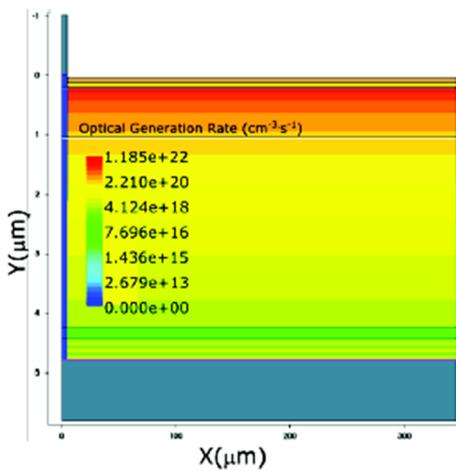
The absorption coefficient is computed from and Wavelength ( $\lambda$ ) according to  $\alpha = (4\pi/\lambda) \cdot k$ . It determines how far inside a material the light, with a particular wavelength, can penetrate before being absorbed to create electron-holes pairs. Semiconductor materials can only absorb energy from particles that have sufficient energy to excite an electron from the valence band to the conduction band.

#### 3.2 Optical results using the Transfer Matrix Method (TMM)

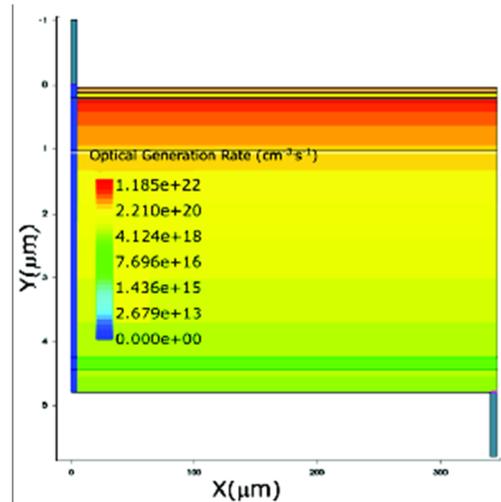
The TMM solver computes the optical intensity by taking into account the interference effects due to standing waves or by neglecting the phase and, therefore, the interference effects. Neglecting the phase is valid only for large layer thicknesses (depending on the extinction coefficient). It is assumed, in the model of the optical generation rate, monochromatic plane waves with arbitrary angles of incidence and polarization states penetrating a number of planar, parallel layers.

These matrices are functions of the complex wave impedances  $Z_j$  given by  $Z_j = n_j \cdot \cos(\theta_j)$  in the case of E polarization (TE) and by  $Z_j = n_j / \cos(\theta_j)$  in the case of H polarization (TM). Here,  $n_j$  denotes the complex index of refraction and  $\theta_j$  is the complex counterpart of the angle of refraction ( $n_o \cdot \sin(\theta_o) = n_j \cdot \sin(\theta_j)$ ).

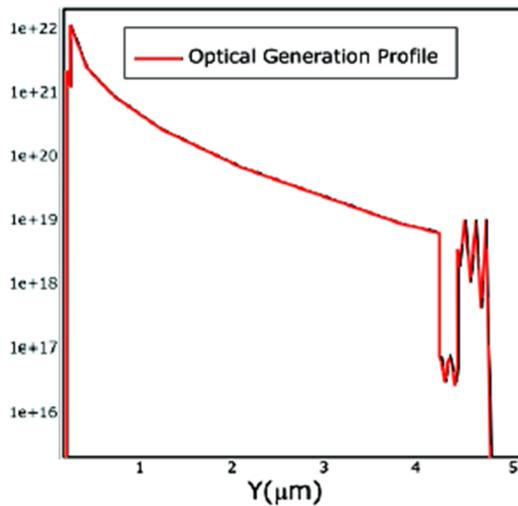
In the figures 10 and 11, are presented the optical generation rate and the optical generation profile in GaAs solar cell as a function of depth.



**Figure 10.** Optical generation rate for a full metallized rear contact.



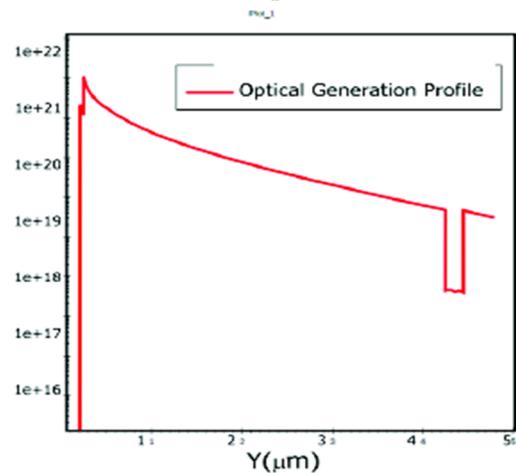
**Figure 12.** Optical generation rate for a 5μm rear contact.



**Figure 11.** Optical generation profile for a full metallized rear contact.

Two simulations have been done, one for the case in which the whole rear surface is completely metallized, figure 10 and figure 11, and the others for the case which considers a rear contact of  $5\mu\text{m}$ , as shown in figures 12 and 13.

The blue-colored region below the front contact finger indicates that the optical generation rate is zero in the region since it is not illuminated. The optical generation profile shows that the optical generation rate decreases as a function of depth.



**Figure 13.** Optical generation profile for a 5μm rear contact.

In both of the results we have present the effect of the bsf as a hole at the end of the curve. In the case of full metallized rear contact, it presents the effect of a full aluminum metallized rear contact as a kind of perturbations near to the back contact. In the other case, the effect of the rear contact is almost imperceptible.

In order to have a confront between the two optical generation profiles, the data is then post process using Matlab. The figure 14 shows the confront between the two optical generation profiles.

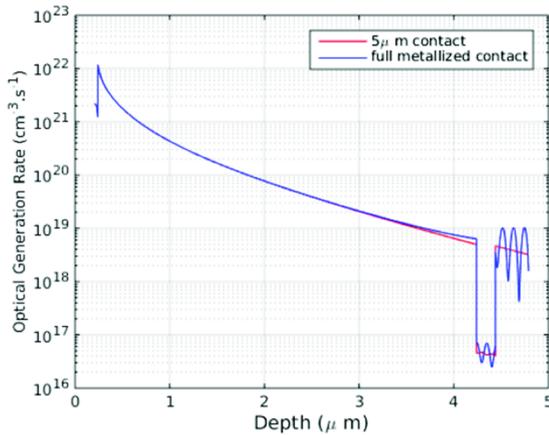


Figure 14. Optical generation profiles TMM-based.

### 3.3 Optical results using the “Raytracer” algorithm

In the section of the simulator called Sentauros Device, each material has a complex refractive index section defined in the parameter file. The raytracer solver uses a recursive algorithm that starts with a source of rays and it builds a binary tree that tracks the transmission and reflection of the rays. A reflection-transmission process occurs at interfaces with refractive index differences. The obtained results are shown in figures 15, 16, 17 and 18.

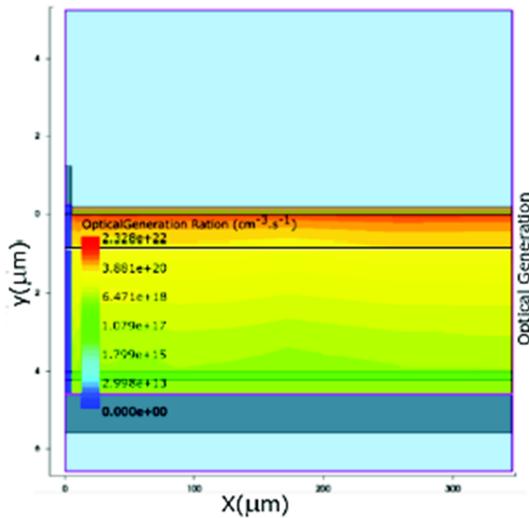


Figure 15. Optical generation rate for a full metallized rear contact. Raytracing method.

In the region over and under the cell there are also simulated the pieces of ambient that are used as sensor for the rays. The rays starts at a height of 2,5μm over the cell.

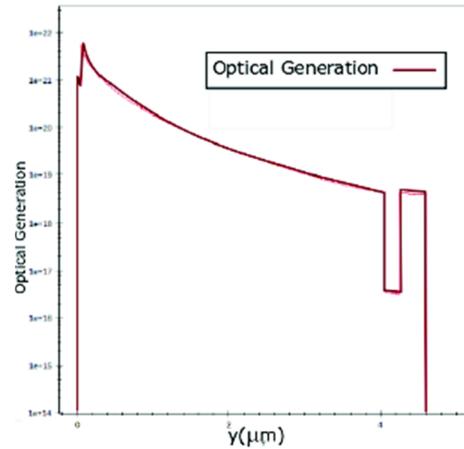


Figure 16. Optical generation rate for a full metallized rear contact.

The results of Raytracing are in the same range that the results of the TMM process. With this results we can say the both of the methods can work for the model of solar cell under the optical analysis. In the Raytrace 2D simulation there are oscillations and random values of optical generation due to the nature and behavior of the incident rays. Finally, in order to have the effect of the metalization on the cell, a confront between the optical generation with full metallized back contact and the contact of 5um, is presented.

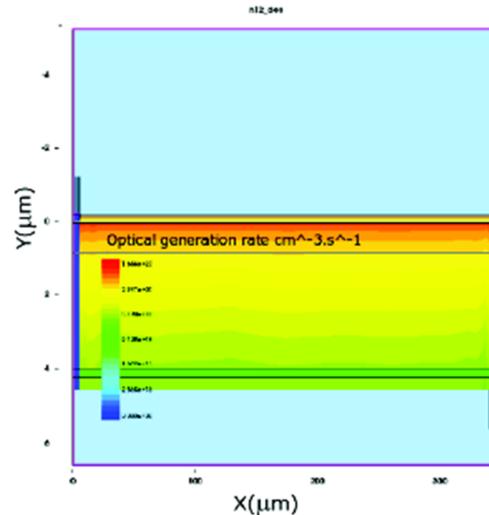


Figure 17. Optical generation rate for a 5um rear contact.

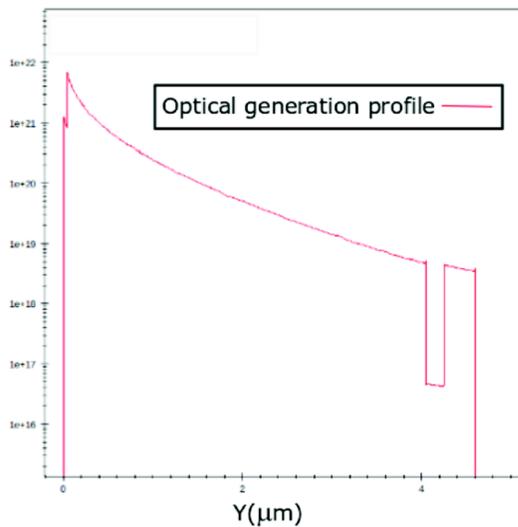


Figure 18. Optical generation profile for a 5um rear contact.

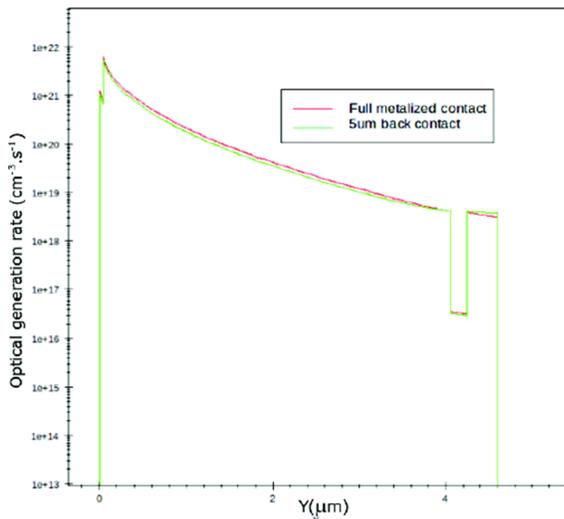


Figure 19. Optical generation between the full metalized back contact against 5um back contact.

#### 4. Electrical simulation results

The I-V characteristics of the illuminated solar cell are simulated by ramping the anode voltage. There are two ramps, the goal voltage for the first ramp should be less than  $V_{mpp}$ . The goal voltage for the second ramp should be greater than  $V_{oc}$ . Since both  $P_{mpp}$  (and, therefore,  $V_{mpp}$ ) and  $V_{oc}$  are unknown before starting the simulation, the goal voltages for both ramps are chosen iteratively. Initially, the simulation runs with a guessed value of  $V_{mpp}$  and then looks at the computed P-V characteristics to establish a better approximation or  $V_{mpp}$ .

#### 4.1 Impact of the total width in the solar cell

The first attempt to optimize the model is to change the total pitch of the cell, to determine the best width to continue with the others optimization changes. Figure 20 shows the efficiency and FF against the length of the pitch. According to figure 20, the best length is 325um, the efficiency tend to go up until the 325um. Around the 325um the efficiency becomes constant but the Fill Factor decreases, as show in figure 21.

The best trade-off between the conversion efficiency and the Fill Factor FF take place at a total width of 325um.

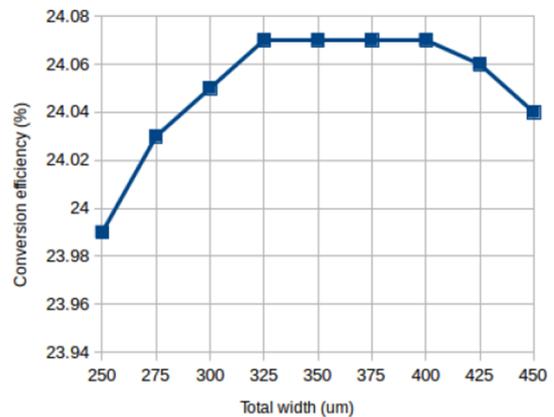


Figure 20. Conversion efficiency vs Cell width.

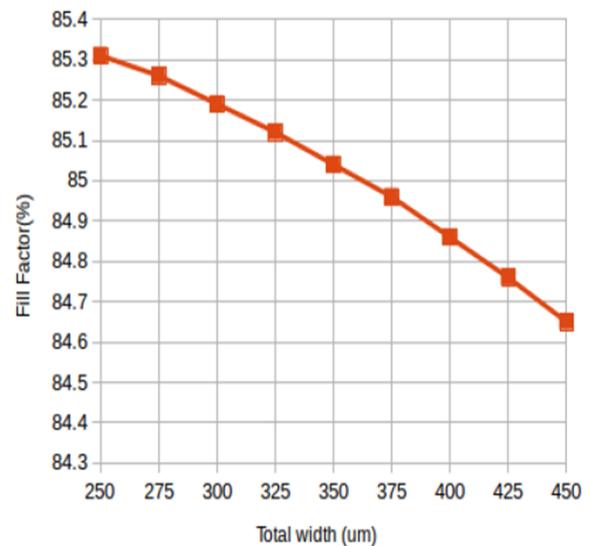


Figure 21. Effect of the width in the solar cell performance.

### 4.2 Impact of the FSF layer in the solar cell

The Figure 22 shows the behavior of  $J_{sc}$  as a function of the *AlGaAs* *fsf* layer thickness, in order to determine the advantage of using thin FSF layers.

Two different experiment have been done about the FSF layer, one rewarding the doping of the layer and the other one changing the thickness of the fsf layer, figure 23.

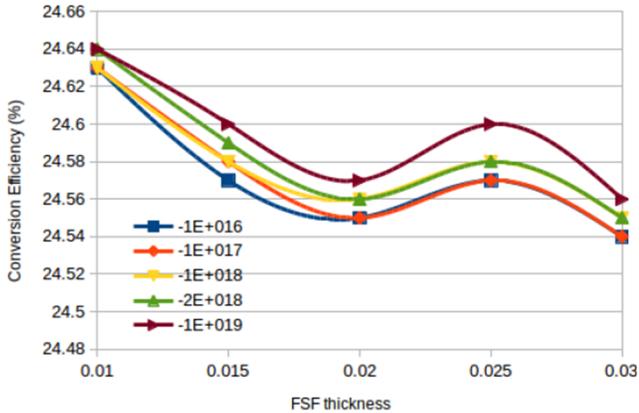


Figure 22. Conversion efficiency.

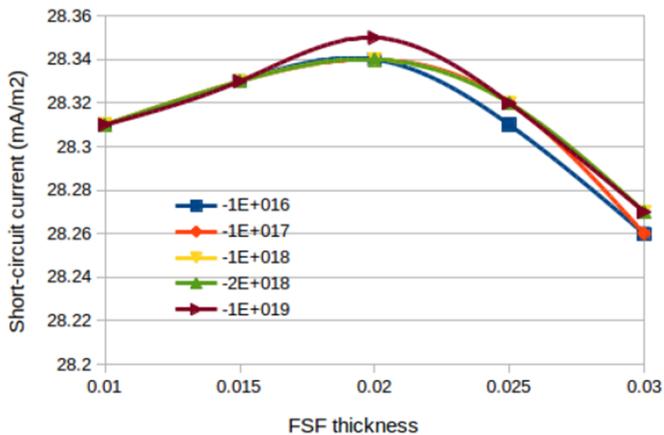


Figure 23. Short-circuit current.

### 4.3 Impact of the base layer

To study the influence of the base layer, the thickness of the latter is varied between  $1\mu\text{m}$  and  $9\mu\text{m}$  [19] and the doping level from  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  to  $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ . The other parameters are configured as shown in table 3.

Table 3. Layer configuration for the GaAs solar cell

Region	Cell width( $\mu\text{m}$ )	Thickness( $\mu\text{m}$ )	Doping( $\text{cm}^{-3}$ )
cap	5	0,2	$-1,00 \times 10^{19}$
fsf	325	0,04	$-2,00 \times 10^{18}$
emitter	325	0,8	$-9,00 \times 10^{17}$
bsf	325	0,2	$5,00 \times 10^{18}$
buffer	325	0,35	$2,00 \times 10^{18}$

According to the figure 24, the best conversion efficiency is around  $2\mu\text{m}$ , but depending on the doping, it has different values. For a doping level of  $1 \times 10^{16}$  we have an efficiency around 22,5%. Then with a doping level of  $2 \times 10^{17}$  and the thickness of  $2\mu\text{m}$  the conversion efficiency of the cell arrives to his maximum value, 24,7%. But if the doping continues to increment, the efficiency decrements, as the example, with a doping level of  $5 \times 10^{17}$  the efficiency is 23,5%.

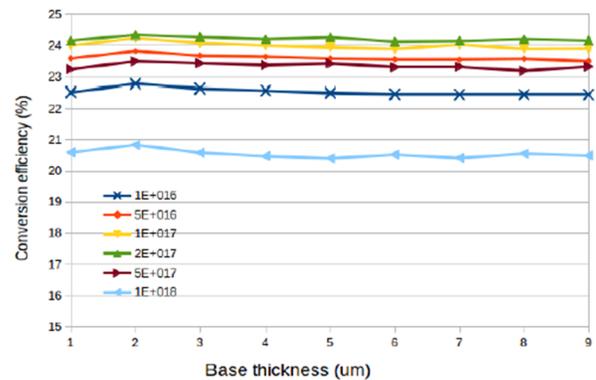


Figure 24. Base thickness effect.

Photons with lower energy which are absorbed with base layer are sensitive to the layer thickness and absorption coefficient. The base layer thick is  $2\mu\text{m}$ , enough to absorb as much photons as possible and lower doing concentration level in order to improve the collection of photo-generated carriers. Figure 21 shows the effect of doping level on the conversion efficiency.

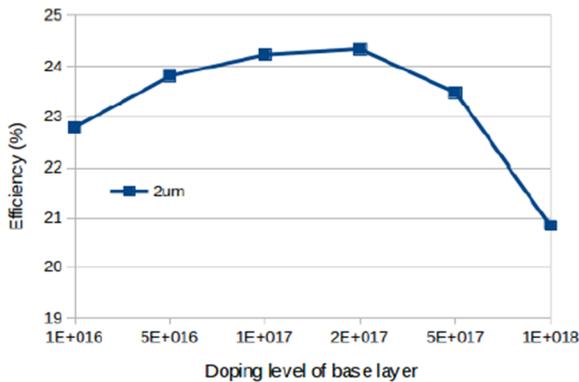


Figure 25. Base doping level effect.

#### 4.4 Impact of the Emitter layer

In one hand, the intention of the heavily doping in the emitter layers is to improve its conductivity. But, in the other hand, the thickness of the base and the emitter should exceed the incident photon's absorption length. Figures 26 and 27 show the efficiency versus the doping and thickness of the emitter layer. The doping concentration level of the base and the emitter thickness change quickly the efficiency of the cell.

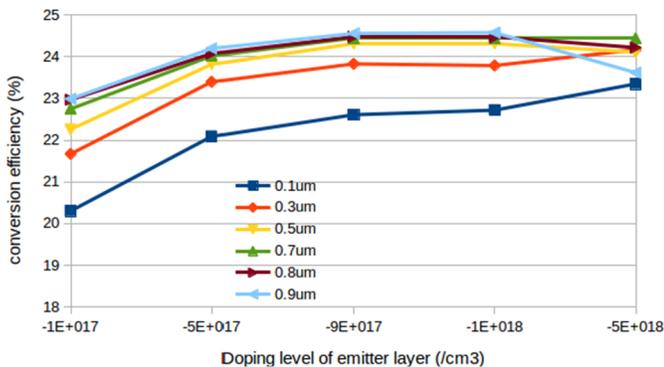


Figure 26. Emitter doping level effect.

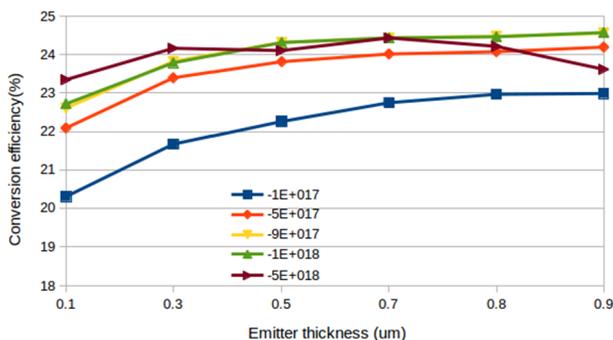


Figure 27. Thickness of emitter effect.

### 5. Optimized model

The optimized geometrical parameter and the results are presented in the table 4 and table 5, respectively.

Table 4. Optimized GaAs solar cell results

Region	Layer width(µm)	Thickness(µm)	Doping(cm <sup>-3</sup> )
cap	5	0,2	-1,00e <sup>19</sup>
fsf	325	0,02	-2,00e <sup>18</sup>
emitter	325	0,9	-1,00e <sup>18</sup>
bsf	325	0,2	5,00e <sup>18</sup>
buffer	325	0,35	2,00e <sup>18</sup>

Rear contact width (µm)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc(V)	Jph (mA/cm <sup>2</sup> )	FF(%)	η(%)
5	28,27	1,024	29,01	84,56	24,47
325	28,3	1,023	29,01	84,85	24,58

#### 5.1 Light J-V characteristics

The I-V and P-V characteristics of the illuminated cell are presented in Figure 28. The power density of the cell is also computed using  $P = JV$ . The fill factor and the power conversion efficiency are also computed. The obtained values for the 2D optimized cell, considering the full metalized contact approach are,  $J_{sc} = 28,3mA/cm^2$  and  $J_{ph} = 29,09mA/cm^2$ , instead of, for the 5µm back contact approach, the results are,  $J_{sc} = 28,27mA/cm^2$  and  $J_{ph} = 29,01mA/cm^2$ . The value of  $J_{sc} < J_{ph}$  because all the photon generated carriers cannot be collected at the electrodes, due to recombination losses.

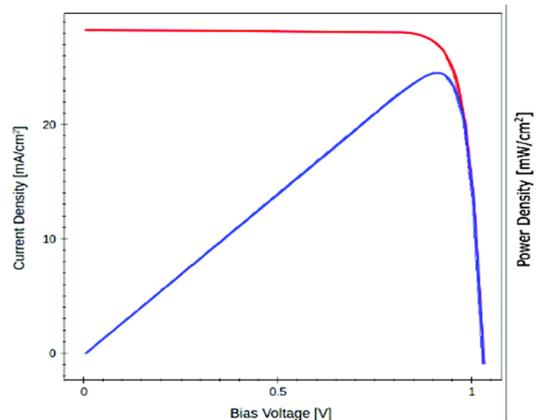
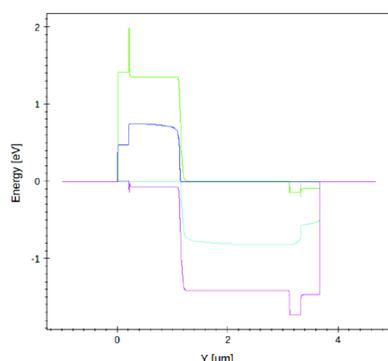


Figure 28. Light I-V and P-V characteristics of full metalized back contact GaAs solar cell.

## 5.2 Energy band diagram

The energy band diagram of the solar cell is plotted using the conduction band energy, the valence band energy and the electron and hole quasi-Fermi energies from the *Plot* section in the *sdevice* Senturus'script. The Figure 29, shows the band diagram for the optimized GaAs solar cell at the short-circuit current density.



**Figure 29.** Energy band diagram of GaAs solar cell at short circuit current density.

## 6. Conclusions

TCAD modeling is a powerful and helpful tool that reduce the time of manufacturing and speed up the optimization processes of solar cell. It allows test the concept designs before the implementation, improve the old ones or simply optimized a designed model. An optimized AlGaAs-GaAs solar cell was designed. The two approaches, were simulated. The first one, considered a full metallized back contact and the second one using a smaller back contact of  $5\mu\text{m}$  in order to be implemented as a top cell in a tandem solar cell approach. Some special characteristics that makes this kind of cells specials are the high efficiency and the capability to develop thinner lower weight solar cells.

Two important characteristics are needed for GaAs solar cell, a thin AlGaAs fsf layer less than  $0,5\mu\text{m}$  thick and a diffused electrical junction less than  $0,5\mu\text{m}$  deep, to ensure optical absorption losses and minimizes the surface recombinations. The characteristics of the full metallized back contact are better because of the bigger area of the back contact to collect electrons.

## 7. References

- [1] K. Mertens, Photovoltaics: Fundamentals, technology and practice. John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Viorel, B. (2008). Modeling solar radiation at the earth's surface: recent advances.
- [3] C. Zhang, High Efficiency GaAs-based Solar Cells Simulation and Fabrication. Arizona State University, 2014.
- [4] Kerker, M. (2013). The scattering of light and other electromagnetic radiation: physical chemistry: a series of monographs (Vol. 16). Academic press.
- [5] Naqvi, Zeba & Green, Mark & Smith, Krista & Wang, Chaofan & Del'Haye, Pascal & Her, Tsing-Hua. (2018). Uniform Thin Films on Optical Fibers by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition: Fabrication, Mie Scattering Characterization, and Application to Microresonators. Journal of Lightwave Technology. 10.1109/JLT.2018.2876026.
- [6] List, R. J., Ed. 1951. Smithsonian Meteorological Tables. 6th rev. ed., p. 422.
- [7] A. Luque and S. Hegedus, Handbook of photovoltaic science and engineering. John Wiley & Sons, 2011.
- [8] I. E. Commission et al., "Standard iec 60904-3: Photovoltaic devices,"Part 3: Measurement Principles for Terrestrial Photovoltaic (PV) Solar Devices With. Reference Spectral Irradiance Data, 1987.
- [9] S. S. Hegedus and A. Luque, "Status, trends, challenges and the bright future of solar electricity from photovoltaics," Handbook of photovoltaic science and engineering, pp. 1–43, 2003.
- [10] "TCAD." Software Integrity, Retrieved from [www.synopsys.com/silicon/tcad.html](http://www.synopsys.com/silicon/tcad.html).
- [11] P. Würfel, Physics of solar cells-from principles to new concepts. 2005.
- [12] The absorption of radiation in solar stills," Solar Energy, vol. 12, no. 3, pp. 333–346, 1969, <br />, ISSN: 0038-092X.
- [13] G. Letay, M. Hermle, A.W. Bett, "Simulating single-junction GaAs solar cells including photon recycling", Progress in Photovoltaics: Research and Applications 14, 683 (2006).
- [14] G.J. Bauhuis et al., 26.1% thin-film GaAs solar cell using epitaxia lift-off, Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1488–1491.
- [15] R Loo, G. Kamath, and R. Knechtli, "Radiation damage in gaas solar cells," 1980.
- [16] C. Zhang, High Efficiency GaAs-based Solar Cells Simulation and Fabrication. Arizona State University, 2014.
- [17] R Loo, G. Kamath, and R. Knechtli, "Radiation damage in GaAs solar cells," 1980.
- [18] C. Gueymard, SMARTS2: A simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine: Algorithms and performance assessment. Florida Solar Energy Center Cocoa, FL, 1995.
- [19] M Abderrezek, F Djahli, M Fathi, and M Ayad, "Numerical modeling of gaas solar cell performances," Elektronika ir Elektrotechnika, vol. 19, no. 8, pp. 41–44, 2013.

# Desarrollo de un *software* especializado para el diseño de antenas tipo reflector para aplicaciones 5G en banda E

## Development of a specialized software for Reflector Antennas designing in 5G applications for E band

María J. López M <sup>1\*</sup>, Luigi Boccia <sup>2</sup>, César A. Palacios A <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

<sup>2</sup> DIMES, Universidad de la Calabria, Italia

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador

\*Autor de correspondencia: [maria.lopez@epoch.edu.ec](mailto:maria.lopez@epoch.edu.ec)

**RESUMEN**— Desde el descubrimiento de la propagación de las ondas electromagnéticas, las antenas de tipo reflector son ampliamente utilizadas en campos como la radioastronomía, la comunicación microondas y la localización satelital. Estas aplicaciones han permitido el desarrollo de técnicas de análisis y cálculos más precisos, consiguiendo de esta forma mayor ganancia en la antena y optimización en la iluminación de la misma. Para aumentar esta recepción por ejemplo los radiotelescopios utilizan grandes reflectores que dirigen la energía receptada hasta un simple alimentador (*feed*). La forma más común de reflector es el paraboloide, ya que puede focalizar la onda plana en un solo punto llamado foco. Las antenas de tipo reflector pueden tener muchas configuraciones, pero en este artículo citaremos principalmente las de tipo reflector para aplicaciones 5G. El diseño inicia con el estudio de un reflector parabólico tipo *offset*, que es la base para el estudio del reflector tipo *Cassegrain*. Se realizan dos modelos analíticos en función de la óptica geométrica y la distribución de corriente superficial. Finalmente se desarrolla un *software* en Matlab, mediante el cual es posible calcular parámetros importantes del reflector, como: ganancia, directividad, componentes *co* y *cross-polar* en manera absoluta y normalizada. La validación de todo el estudio realizado se hace por medio de una comparación entre Matlab y simulaciones hechas en TICRA-GRASP.

**Palabras clave**— Alimentador del arreglo, arreglo, *Backhauling*, *Cassegrain*, *offset*, reflector dual, reflector parabólico, TICRA GRASP.

**ABSTRACT**— Since the discovery propagation through electromagnetic waves, reflector-type antennas are widely used in fields such as radio astronomy, microwave communication and satellite location. These applications have allowed the development of more precise analysis and calculation techniques, thus achieving greater gain in the antenna and optimization in the spotlight. To increase this reception, radio telescopes use large reflectors that direct the energy received to a simple feeder (*feed*). The reflector type antennas can have many configurations, but in this article we will mainly mention the reflector type for 5G applications. The design starts with the study of a parabolic *Offset* reflector, which is the basis for the study of the *Cassegrain*. Two analytical tests have been done based on geometric optics and surface current distribution. Finally, a *software* in Matlab, is developed. With this software is possible to calculate some important parameters of the reflector, like; gain, directivity, components *co* and *cross-polar* in absolute and normalized way. In order to have the validation of the entire study performed, a comparison is made between the software results and simulations done in TICRA-GRASP.

**Keywords**— Array, *feed array*, *Backhauling*, *Cassegrain*, *offset*, dual reflector, parabolic reflector, TICRA GRASP.

### 1. Introducción

En este artículo se desarrolla un *software* para la implementación de dos modelos analíticos para antenas reflectoras, se analiza las características y geometría del reflector *Offset* y *Cassegrain*. La aplicación de referencia está basada en sistemas *backhauling* (red de retorno) para aplicaciones 5G en banda E.

A través de métodos convencionales de onda plana y con el estudio de la óptica geométrica (GO), la teoría

geométrica de la difracción (GTD), teoría física de la difracción (PTD), y algunos métodos asintóticos que utilizan la hibridación como es el caso de TICRA GRASP, se logra analizar y proyectar la antena de tipo reflector con mucha precisión[1].

Para entender de mejor manera el objetivo primordial de este artículo debemos entender uno de sus principales componentes.

**Citación:** M. López, L. Boccia y C. Palacios, “Desarrollo de un *software* especializado para el diseño de antenas tipo reflector para aplicaciones 5G en banda E”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (108-118), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 21 de agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** 13 de noviembre de 2018. **Aceptado:** 13 de noviembre de 2018.

**DOI** <https://doi.org/10.33412/idt.v14.2.2079>

**Copyright:** 2018 M. López, L. Boccia y C. Palacios. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## 1.1 Link backhauling

Conocida como red de retorno, es el tramo que conecta la red central con las subredes, una red de retorno tiene la obligación de transportar paquetes hasta la red global, donde la red de retorno se conecta con las redes de datos, telefonía celular y otros tipos de redes de comunicación, utilizando tecnología con y sin hilos.

Una de las principales ventajas del *link backhauling* es que se tiene más productividad con menor uso del espectro, cargo de retorno en microonda menor al 50% [3], alojamiento dinámico de recursos y garantía en la calidad de servicios.

Dos son las soluciones implementadas, la primera a través de la Óptica Geométrica con el cálculo de las corrientes superficiales y el método de Ludwig donde se segmenta la superficie del reflector y se aproxima la amplitud y fase de las corrientes superficiales a través de un polinomio de primer grado.

## 1.2 Óptica geométrica (PO)

La óptica geométrica comprende el estudio de fenómenos ópticos tales como, la reflexión, refracción y difracción. En este método se debe tomar en cuenta algunas consideraciones:

- El radio del reflector es eléctricamente grande de curvatura tal que localmente en cada punto de reflexión la superficie del reflector se puede considerar plana.
- El radio de curvatura del campo incidente se considera grande y puede ser visto también como una onda plana y uniforme, para que los puntos en la superficie reflectora tengan igual fase.
- Además, se considera el reflector como una superficie perfectamente conductora, es decir el campo reflejado es igual al campo incidente.

Para el cálculo de corrientes superficiales se desarrolló una rutina de integración numérica en MATLAB para calcular el modelo de radiación de campo lejano basado en la óptica geométrica.

### 1.2.1 Reflexión y refracción

La reflexión es el fenómeno óptico por el cual un rayo luminoso que golpea un espejo (o en general una superficie reflectora) viene redirigido hacia atrás en el espacio, en donde se encuentra la fuente luminosa. El rayo que golpea la superficie reflectora toma el nombre de rayo incidente mientras que aquel que regresa, toma el nombre de rayo reflejado. En el punto en el cual el rayo incidente golpea la superficie, se puede trazar la perpendicular a la

misma superficie y definir dos ángulos: el ángulo de incidencia  $\theta_1$ , entre la normal y el rayo incidente; y el ángulo de reflexión  $\theta_2$ , entre la normal y el rayo reflejado, como se muestra en la figura 1.

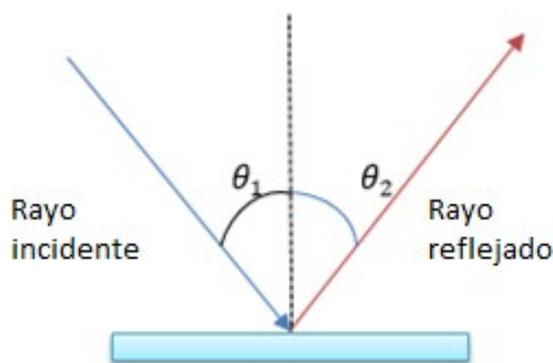


Figura 1. Reflexión.

Cuando un rayo incide sobre la superficie de separación entre dos medios transparentes, el rayo será parcialmente reflejado. La otra parte del rayo se propagará en el segundo medio cambiando la dirección, o mejor dicho, será refractado. El parámetro que caracteriza la refracción es el índice de refracción de cada uno de los dos medios. El índice de refracción de un medio está dado de la relación entre la velocidad de la luz  $c$  en el vacío y la velocidad de la luz en el medio  $v$ , entonces  $n = \frac{c}{v}$ .

El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación yacen sobre el mismo plano como se muestra en la figura 2. La relación entre los ángulos de incidencia y de refracción, y los índices de refracción están dados por la Ley de Snell (ecuación 1). Se puede decir que si el segundo medio es más refractante que el primero, es decir si  $n_R > n_I$  el rayo se acerca a la normal, viceversa si  $n_R < n_I$ , el rayo se aleja.

$$n_I \sin(\theta_I) = n_R \sin(\theta_R) \quad (1)$$

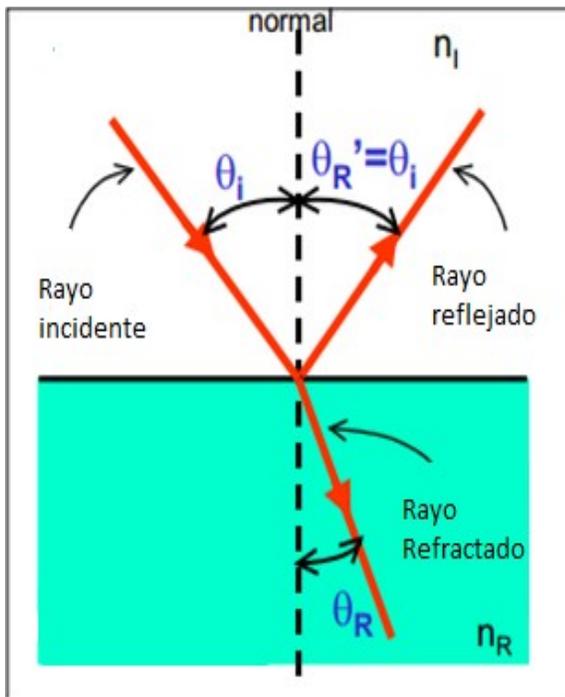


Figura 2. Refracción.

### 1.3 Método de Ludwig

Esta es una de las primeras técnicas para validar la integral de radiación donde también se hace uso de la óptica geométrica *PO*, mediante el cual se reduce significativamente el tiempo computacional, pero se utiliza más memoria para guardar los datos obtenidos. Este método divide la superficie de integración en una malla ( $M \times N$ ). Cada celda (*área de superficie en aumento*) de esta malla tiene una dimensión en el orden ( $\lambda x \lambda$ ), si al seleccionar el tamaño de esta área en aumento, tal que sus dimensiones se encuentren sobre el orden de una longitud de onda, los resultados que obtendremos serán más precisos.

## 2. Reflector parabólico

La forma más popular de las antenas de tipo reflector es la parabólica. La más simple consiste en dos elementos: una superficie reflectora, sobre la cual la longitud es relativa a la de onda y un *feed* mucho más pequeño, donde la intersección del reflector con cualquier plano que contiene un eje  $z$  forma una parábola como se muestra en la figura 3. El plano contiene el eje del reflector parabólico con distancia focal  $F_m$ . La línea entrecortada perpendicular al eje  $z$ , representa el frente de onda, desde el cual todos los haces que van al reflector recorren la misma distancia hasta llegar al punto focal.

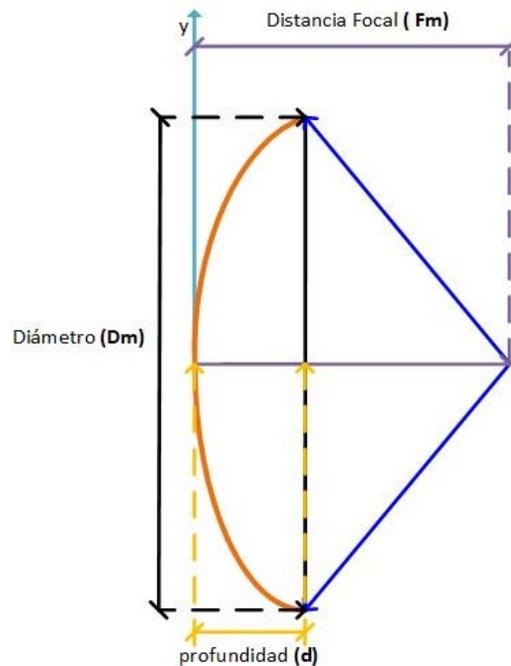


Figura 3. Reflector Parabólico.

Las ondas entrantes se concentran en la parábola, donde el punto más externo del reflector parabólico es el vértice, la distancia focal  $F_m$  es aquella que se encuentra entre el vértice y el foco. La longitud de la apertura de un reflector parabólico es el diámetro  $D_m$ . La profundidad  $d$  es también un parámetro que viene a menudo utilizado para describir al reflector parabólico, es igual a la distancia entre el vértice y la cuerda que une los extremos de la parábola. En los límites, cuando  $\frac{F_m}{D_m}$  se acerca al infinito, el reflector se vuelve plano [4]. El medio ángulo formado por el reflector y el alimentador es  $\theta_0$ , el mismo determina el ángulo efectivo de iluminación de la superficie del reflector. La relación  $\frac{F_m}{D_m}$  viene relacionada con  $\theta_0$ , del siguiente modo:

$$\frac{F_m}{D_m} = \frac{1}{4} \cot\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \quad (2)$$

Las antenas tipo reflector pueden analizarse usando la aproximación físico-óptica (*PO*), por medio de la ecuación 3, en donde  $J$  es la densidad de corriente superficial en el reflector debido a la iluminación del alimentador,  $\hat{n}$  representa el vector normal a la superficie y  $H$  define la intensidad de campo magnético inducido.

$$J = \hat{n} \times H \quad (3)$$

Considerando que la superficie del reflector es un conductor eléctrico perfecto y utilizando la teoría de imágenes, podemos decir que,  $H$  está dividida en un campo incidente y un campo reflejado, entonces para determinar el patrón de radiación tenemos la ecuación 4.

$$J = 2\hat{n}xH_i = 2\hat{n}xH_r \quad (4)$$

### 2.1 Reflector *prime focus*

En la figura 4 se puede observar que todos los rayos provenientes del alimentador, después de llegar a la superficie del reflector, se vuelven paralelos entre sí creando una onda plana. La desventaja es que el alimentador crea un efecto de bloqueo para los rayos debido a su posición, por lo cual se reduce la ganancia de la antena y su eficiencia de apertura.

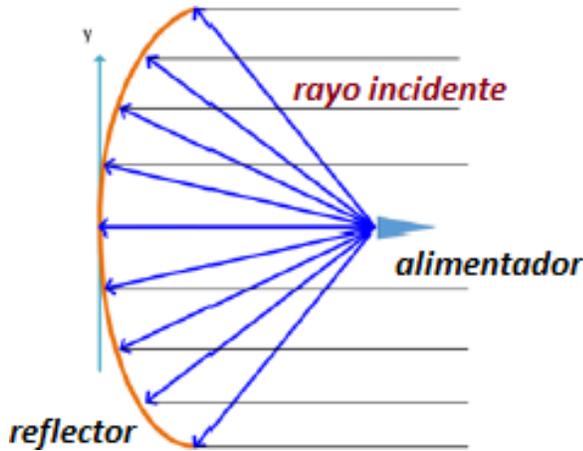


Figura 4. Reflector Simétrico Simple.

Utilizando la imagen mostrada en la figura 3, consideramos la ecuación de la parábola con distancia focal  $F_m$  descrita en el plano  $(x, z)$  como:

$$x^2 = 4F(F - z), |x| \leq \frac{D}{2} \quad (5)$$

Para describir la parábola bastan solo pocos parámetros, los principales son: el diámetro, la distancia focal, la profundidad y el ángulo entre el foco y el borde de la parábola. Para el modelo estudiado calculamos la relación  $\frac{F_m}{D_m}$ , como:

$$\frac{F_m}{D_m} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \quad (6)$$

De este modelo, se puede definir un área efectiva  $A_e$  de una antena reflectora que no es muy cercana a su área geométrica proyectada.

$$A_e = \pi \frac{D_m^2}{4} \quad (7)$$

La mayor ventaja de este tipo de antenas es que un mismo reflector puede trabajar para un amplio rango de frecuencias, cambiando únicamente el alimentador y el receptor localizado a la distancia focal.

### 2.2 Distancia de campo lejano (*far-field*)

Para que una onda recibida se pueda considerar plana, hace falta calcular la distancia de campo lejano, teniendo en cuenta la longitud de onda y el diámetro del reflector. Si, la onda es emitida por el reflector como se evidencia de la figura 5, a una distancia  $R$ , la onda esférica emitida por una fuente a una distancia  $R$  es desviada a un plano a una distancia  $\Delta$  [5]. El valor máximo de una onda plana llega al borde del reflector. La distancia de campo lejano (*far-field distance*),  $R_{ff}$  es representada de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{\lambda}{16} \quad (8)$$

Usando el teorema de Pitágoras, se define  $R$  como:

$$R^2 = (R - \Delta)^2 + \left(\frac{D_m}{2}\right)^2 \quad (9)$$

entonces:

$$R = \frac{\Delta}{2} + \frac{D_m^2}{8\Delta} \quad (10)$$

para:

$$\Delta \ll D_m, \frac{\Delta}{2} \ll \frac{D_m^2}{8\Delta} \quad (11)$$

entonces,

$$R \approx \frac{D_m^2}{8\Delta} \quad (12)$$

para:  $\Delta = \frac{\lambda}{16}$ , donde sea la distancia de campo lejano es:

$$R_{ff} \approx \frac{2D_m^2}{\lambda} \quad (13)$$

Si  $R > R_{ff}$ , los errores de longitud del recorrido no introducen errores significativos de fase y el área efectiva de recepción será mayor.

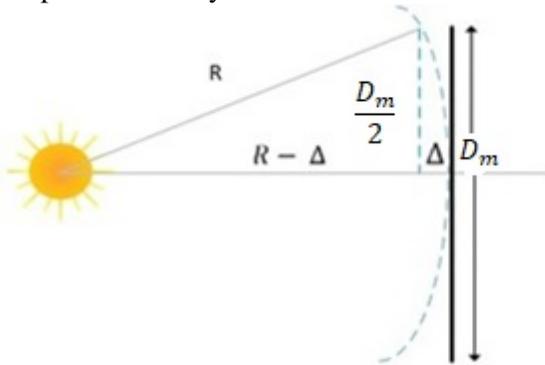


Figura 5. Distancia de campo lejano.

### 3. Modelos analíticos para reflectores parabólicos

En este trabajo se presenta el análisis para los reflectores de tipo: *prime focus* y *offset*, para luego analizar el *Cassegrain* un caso particular de los reflectores duales. Lo primero que se presenta es un modelo matemático basado en la teoría de los reflectores, considerando la geometría y tomando como punto de partida para todos los demás modelos.

Las características de la antena que se diseñó vienen presentadas en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Parámetros de la antena

Requisitos de la antena	
Frecuencia	75 [GHz]
Ganancia	50 dBi
Polarización	lineal
Escanéo	$\pm 2^\circ$
Parámetros de diseño	
Diámetro	$> 50\lambda$
Fm/Dm	$0, 2 < Fm/Dm < 0, 8$

#### 3.1 Reflector parabólico *offset*

El bloqueo creado debido a la presencia del alimentador puede ser reducida usando un reflector tipo *offset*, cuyas propiedades son las mismas del *prime focus*, pero usando un diámetro  $D_p$  de la parábola resultante de

la extensión del reflector hasta el plano donde se encuentra el alimentador, como se muestra en la figura 6.

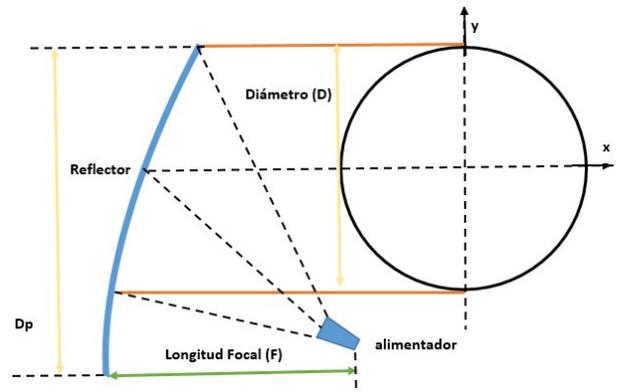


Figura 6. Reflector tipo *offset*.

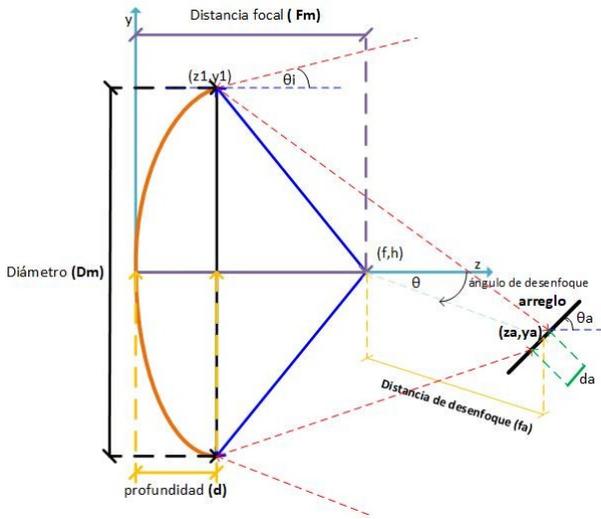
Se define también el reporte entre la distancia focal y el diámetro considerando el diámetro  $D_p$ . Ahora el degrado en la polarización cruzada será:

$$\frac{F_m}{D_p} < \frac{F_m}{D_m}$$

#### 3.1.1 Modelo analítico del reflector parabólico *offset*

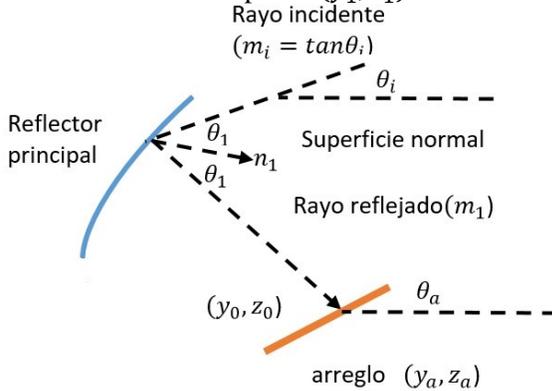
Holzman reproduce la determinación de una ecuación que permite determinar la dimensión del arreglo para un reflector parabólico con alimentador centrado [6], basado en la teoría de los rayos ópticos [2]. Lo que se hace es la implementación de un modelo matemático que permite en manera más optimizada el dimensionamiento del arreglo. La antena parabólica reflectora *offset array-feed*, se muestra en la figura 7, sobre la cual se minimiza la distorsión del modelo reflector.

Dada una onda incidente plana sobre el reflector a un ángulo  $\theta_i$  desde la horizontal, se deriva una ecuación para el tamaño de la sombra en el arreglo  $d_a$ , en función del diámetro del reflector  $D_m$ , de la distancia focal  $F_m$  y también de la posición del arreglo ( $z_a, y_z$ ) y del ángulo de inclinación del arreglo  $\theta_a$ , en otras palabras, los dos rayos incidentes del extremo superior e inferior del reflector, figura 7, son transferidos a la superficie del arreglo separados por una distancia  $d_a$ .



**Figura 7.** Geometría de un reflector parabólico tipo *offset*.

Entonces, en la figura 8 se verifica la proporción de la superficie del reflector en el punto  $(y_1, z_1)$ .



**Figura 8.** Reflector parabólico con *offset array-feed*

El rayo forma un ángulo con  $\theta_1$  con la normal  $n_1$ , utilizando la ley de Snell, sabemos que el rayo es reflejado a un ángulo igual al otro lado de la normal.

Para una parábola,  $Z = \frac{y^2}{4F}$  y una pendiente de la normal que está dada por:

$$n_1 = -\frac{dz}{dy} \text{ (en } y = y_1) = -\frac{y_1}{2F} \quad (14)$$

En términos matemáticos, la ley de Snell, tiene algunos requisitos como:

$$\tan \theta_1 = \frac{(m_i - n_1)}{(1 + n_1 m_i)} = \frac{(n_1 - m_i)}{(1 + n_1 m_1)} \quad (15)$$

La pendiente  $m_1$ , del rayo reflejado viene dado por la ecuación 16:

$$m_1 = \frac{[2n_1 + m_i(n_1^2 - 1)]}{(2n_1 m_i - n_1^2 + 1)} \quad (16)$$

El rayo reflejado viene definido por la recta:

$$y = y_1 + m_1(z - z_1) \quad (17)$$

El arreglo viene definido por la intersección de la recta:

$$y = y_a + m_a(z - z_a) \quad (18)$$

En dónde  $(y_a, z_a)$  es el centro del arreglo y  $m_a = \tan(\theta_a)$  es la pendiente del arreglo. Después de encontrar la intersección  $(y_0, z_0)$  igualamos la ecuación 17 y ecuación 18 del rayo reflejado y obtenemos la ecuación 19 y ecuación 20.

$$y_1 + m_1(z_0 - z_1) = y_a + m_a(z_0 - z_a)$$

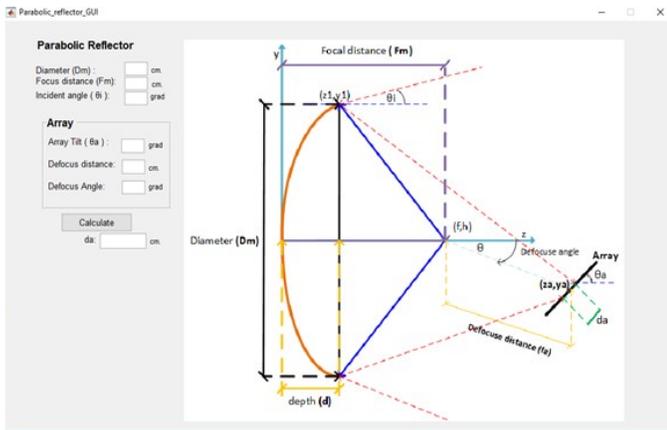
$$z_0 = \frac{(y_1 - y_a + m_a z_a - m_1 z_1)}{(m_a - m_1)} \quad (19)$$

$$y_0 = y_a + m_a(z_0 - z_a) \quad (20)$$

De este modo, finalmente, las dimensiones de la huella del rayo sobre el arreglo serán definidas como:

$$d_a = \sqrt{(y_0 - y_a)^2 + (z_0 - z_a)^2} \quad (21)$$

En base a estos cálculos se ha realizado una interfaz GUI en Matlab, en la cual se puede calcular de manera directa las dimensiones del arreglo, como se muestra en la figura 9.

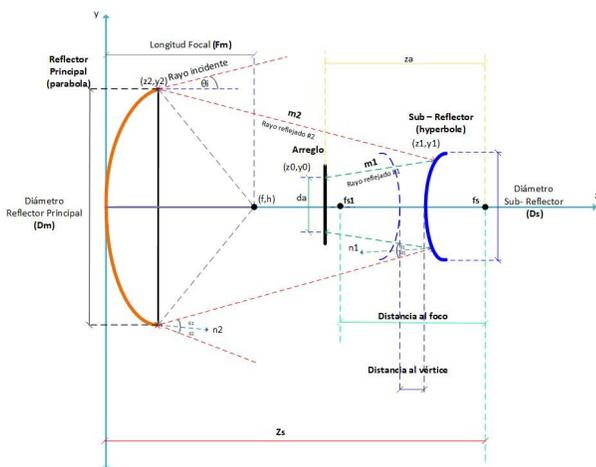


**Figura 9.** Interfaz gráfica para el reflector parabólico *offset array-feed*.

### 3.2 Modelo analítico para el reflector *Cassegrain*

El modelo de reflector tipo *Cassegrain* hace más compacto el sistema, porque la relación  $F_m/D_m$  es menor comparado con el *offset array*, pero una desventaja siempre será la presencia del subreflector puesto que bloquea la radiación primaria.

El modelo analítico para el reflector *Cassegrain* se hace tomando como referencia la figura 10. Se considera una onda plana que incide en el reflector con un ángulo  $\theta_i$ , desde el horizonte. Luego formulamos un conjunto de ecuaciones que definen la dimensión de la huella de tamaño  $d_a$  en función del diámetro del reflector principal  $D_m$ , longitud focal  $F_m$ , ubicación del reflector hiperbólico  $Z_s$ , y la posición relativa del subreflector  $Z_a$ [6].

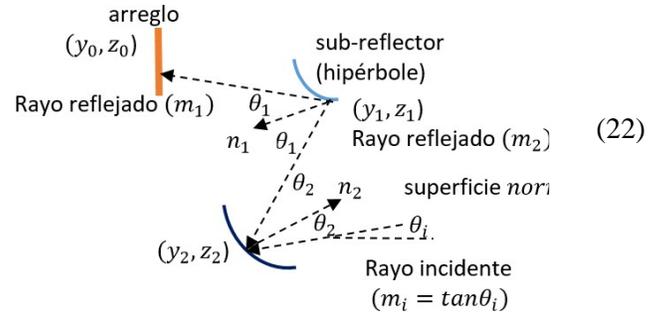


**Figura 10.** Reflector dual tipo *Cassegrain*.

En la figura 11, viene ilustrado el rayo incidente sobre una porción de la superficie del reflector principal al punto  $y_2$ ,

$z_2$ , un rayo incide sobre el reflector principal y es reflejado hacia el subreflector, y después es nuevamente reflejado hacia el arreglo en el punto  $y_0, z_0$ . El rayo forma un ángulo  $\theta_2$ , con la normal a la superficie  $n_2$  que tiene una pendiente igual a:

$$n_2 = -\frac{dz}{dy} (\text{per } y = y_2) = -\frac{y_2}{2F}$$



**Figura 11.** Posición lateral de un reflector dual *Cassegrain*.

Utilizando la ley de Snell, ecuación 23:

$$\tan\theta_2 = \frac{(m_i - n_2)}{1 + n_2 \cdot m_i} = \frac{(n_2 - m_2)}{1 + n_2 \cdot m_2} \quad (23)$$

Calculamos la pendiente del segundo rayo reflejado, Ecuación 24:

$$m_2 = \frac{[2n_2 + m_i(n_2^2 - 1)]}{(2n_2 m_i - n_2^2 + 1)} \quad (24)$$

El segundo rayo viene definido por la recta: }

$$y = y_2 + m_2(z - z_2) \quad (25)$$

A este punto la ecuación del subreflector es:

$$z = z_s + c + \left(\frac{a}{b}\right) (b^2 + y^2)^{1/2} \quad (26)$$

En donde  $z_s$  es la distancia entre el vértice del reflector principal y el foco del subreflector,  $2a$  es la distancia focal,  $2c$  es la distancia al vértice y  $b =$

$(c^2 - a^2)^{1/2}$  como se observa en la figura 10.

Después encontramos el punto  $(y_1, z_1)$ , con la intersecante entre el segundo rayo y la superficie del subreflector, combinando la Ecuación 25 y ecuación 26 se obtiene:

$$z_1 = \frac{(y_1 - b_2)}{m_2} = z_s - c + \left(\frac{a}{b}\right) (b^2 + y_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Finalmente se deriva la ecuación para la pendiente  $m_1$  del primer rayo reflejado como se muestra en la figura 11, esta pendiente es formada de la normal  $n_1$  y el punto  $(y_1, z_1)$  y derivada de la ecuación 26.

Como el rayo es un plano perpendicular al eje  $z$ , entonces la componente  $z_0$  corresponde a la posición del arreglo en el plano y puede ser determinada de los parámetros  $z_s$  y  $z_a$  que son conocidos, entonces:

$$z_0 = z_s - z_a \quad (28)$$

En base a este análisis se hace la implementación de una interfaz en Matlab, con la cual haciendo uso de los parámetros del reflector y también del arreglo, podemos calcular, de manera directa las dimensiones del arreglo, como se muestra en la figura 12.

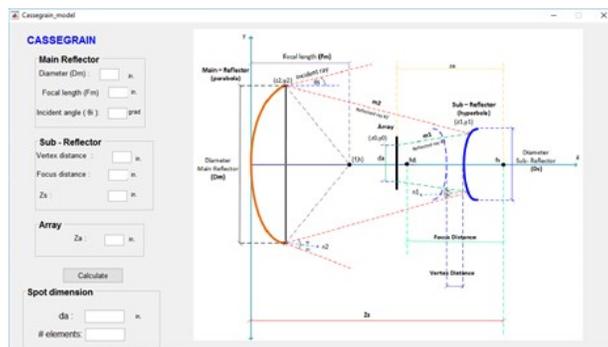


Figura 12. GUI Matlab para el modelo Cassegrain.

### 3.3 Técnicas de Modelado con alimentador rotado lateralmente

Cuando se aplica la técnica *beam steering* sobre el alimentador, el ángulo viene girado provocando que parte del rayo emitido del alimentador no golpee el reflector y se pierda en el espacio. Para garantizar que la señal no salga del reflector, se puede implementar una especie de compensación que consiste en rotar el alimentador hacia el reflector en modo que la parte que

salía del reflector, ahora llegue al extremo del mismo, cuando se cambia el ángulo de inclinación de 0 (alimentador en el foco), a 1 o 2 (alimentador fuera de foco) también los diagramas de radiación varían como se evidencia en la figura 13. Al final se puede hacer la comprobación que también en términos de directividad el valor permanece constante pero se mueve el lóbulo principal cuando se aplica esta técnica.

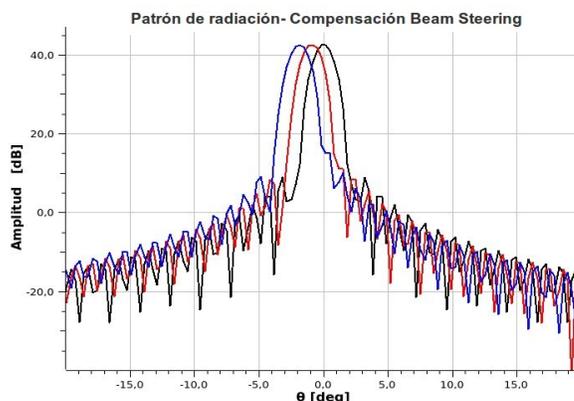


Figura 13. Variación del ángulo de inclinación.

## 4. Resultados

El primer análisis realizado fue para el modelo de reflector tipo *offset*, utilizando el *software* hecho en Matlab, los valores que se ingresaron para las diferentes pruebas fueron:

Tabla 2. Parámetros para simulación

Parámetros del Reflector	
Parámetro	Medida [cm]
Díámetro	508
Distancia focal	254
Ángulo incidente	0°
Parámetros Arreglo	
Inclinación	5°
Distancia focal	25.4
Ángulo focal	130

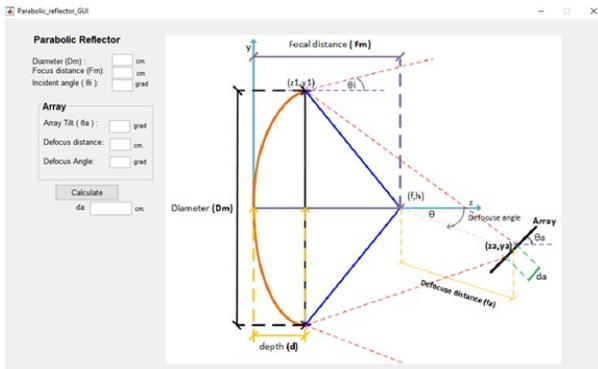
Los parámetros obtenidos para diferentes situaciones se muestran en la tabla 3.

**Ta**bla 3. Resultados obtenidos *offset array*

Reflector Parabólico	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Diámetro ( $D_m$ )	508	508	530
Distancia Focal ( $F_m$ )	254	280	254
Tamaño del arreglo ( $d_a$ )	29,1269	31,1078	28,2891

**4.1 Resultados del modelo Cassegrain**

Para validar el modelo matemático *Cassegrain*, se han tomado los parámetros de [6] y se ingresan los mismos valores en el *software* de Matlab, para diferentes situaciones o configuraciones del arreglo.



**Figura 14.** Interfaz Matlab para el Reflector *offset array*.

**Ta**bla 4. Parámetros para simulación

Parámetros	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
<b>Reflector Principal</b>				
Distancia Focal	68	65	70	72
<b>Subreflector</b>				
Distancia al vértice	5	4	7	9
Distancia al foco	14	11	15	18
$z_s$	64	56	66	71
<b>Arreglo</b>				
$z_a$	15	16,5	15	13,5

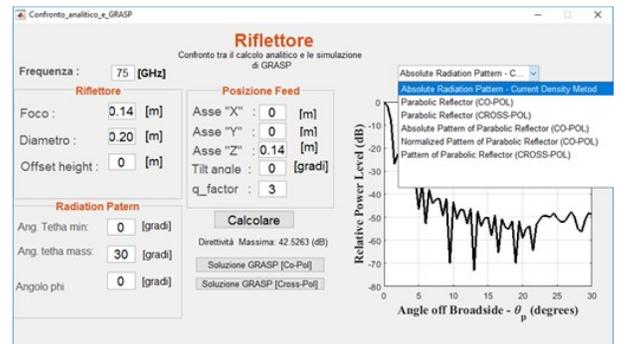
En general, el modelo *Cassegrain* no puede alcanzar un escaneo tan efectivo como el que se alcanza con el modelo *offset*. El escaneo con el modelo *Cassegrain* ha sido hecho desde -5 a 5 grados, para los cuatro casos simulados. El primer y cuarto caso tienen los valores mínimos y máximos de los parámetros, en el primer caso la huella de radiación en el arreglo es igual a 49 pulgadas

mientras el número de elementos que se pueden poner es 55 pulgadas. En el cuarto caso, en cambio la distancia focal es igual a 72 pulgadas, es decir que el foco se encuentra más alejado del reflector, la distancia al vértice también es mayor e igual a 9 pulgadas, la distancia focal es el doble de la distancia al vértice y mucho mayor que aquella del primer caso, el parámetro  $z_s$  es igual a 71 pulgadas, y nuevamente la distancia entre el reflector principal es mayor a la del primer caso. Finalmente, el único parámetro menor es  $z_a$  porque tiene un valor igual a 13,5 pulgadas, lo que significa que la distancia entre el subreflector y el arreglo es más pequeña.

El mejor caso de todos los analizados es la cuarta configuración debido a que tiene un subreflector más pequeño, lo que hace que el bloqueo sea mucho menor.

**4.2 Comparación entre los valores de Matlab y el simulador**

Los valores geométricos han sido ingresados en el simulador TICRA-GRASP y comparados con lo obtenido en Matlab. Los parámetros ingresados se pueden visualizar en la figura 15, junto con los resultados obtenidos.



**Figura 15.** Interfaz de resultados del programa de Matlab.

De entre las opciones de cálculo que podemos tener en Matlab están: el patrón de radiación absoluto, radiación co-polar, radiación cros-polar y el patrón de radiación normalizado en el plano polar.

La figura 16 muestra el patrón de radiación absoluto para el reflector parabólico a una frecuencia de 75 GHz.

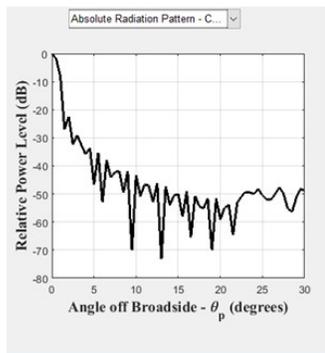


Figura 16. Patrón de radiación.

La figura 17 muestra la componente co-polar y cros-polar en función de la directividad del ángulo  $\theta$ , es decir la relación entre  $F_m/D_m$ .

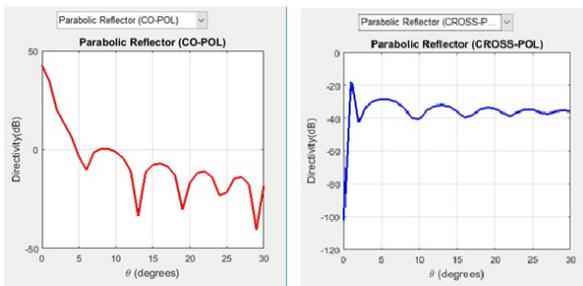


Figura 17. Radiación Co y Cross-polar.

La figura 18 muestra los patrones de radiación absoluto y normalizado del reflector parabólico, en el plano de coordenadas polares.

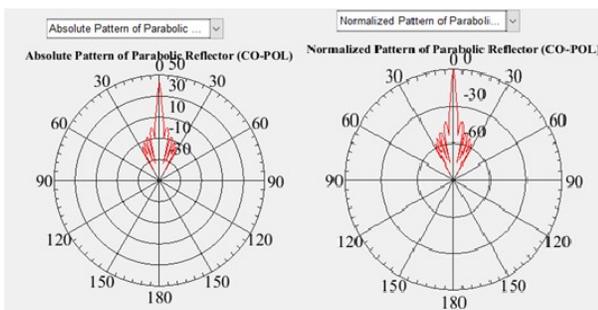


Figura 18. Patrón de radiación normal y absoluto.

Finalmente, para realizar la comparación con los valores de la simulación en GRASP, se debe cargar el archivo exportado en el *software* de Matlab. Los resultados de las comparaciones luego de cargar el programa se muestran en la figura 19.

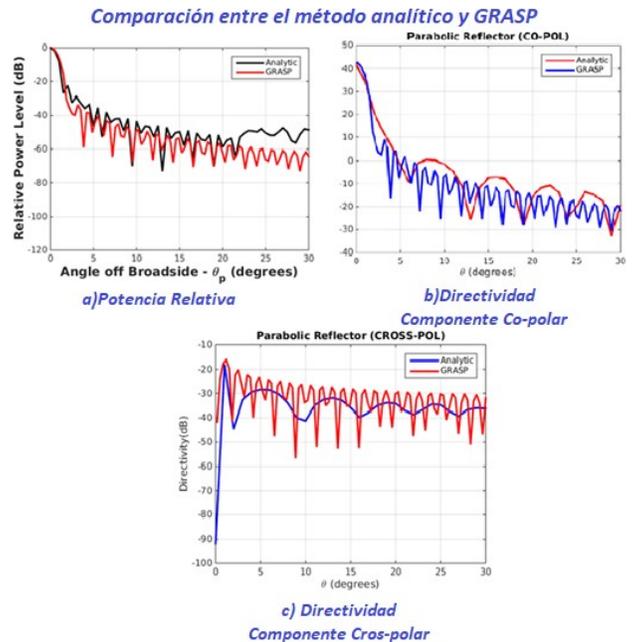


Figura 19. Comparación entre el método analítico y GRASP.

En donde se verifica para a) el patrón de radiación en función de la potencia relativa y el ángulo  $\theta$ , la curva de negro representa los cálculos hechos en Matlab, mientras la curva en rojo son los datos obtenidos en GRASP. En b) se muestra el gráfico de directividad para la componente co-polar en rojo y en azul los resultados de la simulación en GRASP. Finalmente para c) tenemos la misma comparación para la coordenada cros-polar, siendo la curva en azul los resultados de Matlab y en rojo los de la simulación.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha implementado un *software* para el análisis de antenas tipo *prime focus* y *offset*.

Comparando el *software* con los cálculos analíticos podemos obtener resultados más exactos debido a la capacidad matemática del *software*, puesto que pueden manejarse cifras más exactas.

El programa ha sido desarrollado en Matlab y muestra resultados satisfactorios. Está basado en el modelo analítico de corrientes superficiales y óptica geométrica.

El *software* permite realizar los cálculos de diseño para las antenas estudiadas calculando y mostrando los distintos patrones de radiación. La limitación es que a medida que aumentamos los puntos de simulación el programa requerirá más capacidad computacional, sin embargo ofrece resultados que no requieren de una nueva configuración de la antena, como es el caso de los

programas de simulación, sino basta con cambiar los parámetros de ingreso del programa.

Una de las grandes ventajas del programa es que se utiliza para calcular los parámetros de diseño que luego son configurados en el simulador.

Por otro lado, los resultados obtenidos del simulador pueden ser importados al programa y ser comparados entre sí, para finalmente, por medio de gráficas realizar el análisis de resultados.

## 6. Referencias

- [1] R. C. Johnson and H. Jasik, "Antenna engineering handbook," *New York, McGraw-Hill Book Company, 1984, 1356 p. No individual items are abstracted in this volume.*, 1984.
- [2] L. Josefsson and P. Persson, *Conformal array antenna theory and design*. John wiley & sons, 2006, vol. 29.
- [3] S. Tombaz, P. Monti, K. Wang, A. Vastberg, M. Forzati, and J. Zander, "Impact of *backhauling* power consumption on the deployment of heterogeneous mobile networks," in *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE*, IEEE, 2011, pp. 1–5.
- [4] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*. John Wiley & Sons, 2012.
- [5] J. J. Condon and S. M. Ransom, *Reflectorantennas*, [Web; accedido el 19-05-2017], 2016. [Online]. Available: URL{<http://www.cv.nrao.edu/course/ast534/ReflectorAntennas.html/ash>}.
- [6] E. Holzman, "Equations for the first-order design of phased array fed reflector antennas," in *Phased Array Systems and Technology (PAST), 2016 IEEE International Symposium on*, IEEE, 2016, pp. 1–4.



## Instructivo para autores

### Guide for authors

Nombre del autor principal <sup>1\*</sup>, Nombre de cada coautor <sup>1...n</sup>

<sup>1</sup> Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

<sup>1...n</sup> Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

\*Autor de correspondencia: ejemplo@ejemplo.com

**RESUMEN**– Todo trabajo debe presentar un resumen con un aproximado no más de doscientas cincuenta (250) palabras. Esta sección va después de la información de los autores y con su respectiva traducción al inglés. Utilice las palabras “Resumen” (español) y “Abstract” (inglés) como títulos, alineados a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guión. Luego, inicie el resumen en letra Times New Roman 10 puntos, cursiva y espacio sencillo. Finalmente, mantener un espacio en blanco de 8 puntos y empiece a desarrollar el contenido del artículo. No modificar las líneas

**Palabras clave**– En esta sección se deben utilizar las frases “Palabras Clave” (español) y la palabra “Keywords” (inglés), alineadas a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guion. Finalmente, debe incluir un máximo de siete (7) palabras clave o frases clave en letra Times New Roman 10 puntos, separadas por comas y en orden alfabético.

**ABSTRACT**– This section provides a sample of an abstract and keywords which conform to the formatting guidelines for Revista de I+D Tecnológico.

**Keywords**– Abstract, guidelines for authors, keywords, Revista de I+D Tecnológico.

## 1. Introducción

Este instructivo es una plantilla que el autor puede modificar para estructurar fácilmente su artículo según las disposiciones establecidas por el Comité Editorial (CE) de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

El documento provee reglas de estilo que explican el manejo de ecuaciones, figuras, tablas, abreviaturas y siglas. Además, el autor encontrará secciones para preparar los agradecimientos y referencias.

## 2. Componentes del artículo

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de doce (12) páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta ó 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos (2) columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

La configuración de los márgenes es la siguiente: Solo la primera página superior 3 cm, inferior 2.5 cm, izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm. Y la configuración

del encabezado de página es de 2 cm y el pie página es a 1.5 cm, ambos solo aplicados en la primera página.

A continuación, se detallan los componentes del artículo y formato de presentación.

### 2.1 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra Times New Roman. Por favor, evite el uso de “bit-mapped fonts”.

### 2.2 Título

El título debe ser breve e informativo, reflejando el hallazgo contenido en el artículo y debe estar en Times New Roman 16 puntos, negrita y centrada. La primera palabra comenzará con letra mayúscula y de ahí en adelante se utilizará la mayúscula solamente para los nombres propios y símbolos químicos. Se evitará el uso de abreviaciones y siglas en el título, así como palabras innecesarias al principio del título, como por ejemplo: un, una, sobre, el, etc.

El título debe contar con su respectiva traducción al inglés o al español, según el idioma base del artículo y

tamaño de fuente a 14 puntos. Ejemplo: si el artículo está redactado en español entonces el título debe aparecer en español y luego en inglés o viceversa si es el caso contrario.

### 2.3 Nombre de los autores, afiliaciones y correo

Los autores y coautores deben escribir sus nombres de la misma forma como lo hacen en todas sus publicaciones y seguir el formato establecido al inicio del instructivo. Cada autor debe presentar la siguiente información: la unidad a la que está adscrito (departamento, centro de investigación, facultad, etc.); la entidad a la que está afiliado (universidad, empresa privada, etc.); el país al que corresponde y por último el correo del autor de correspondencia el cual debe estar indicado con un (\*).

Los autores y coautores de la UTP deben utilizar el nombre completo de la universidad y sin traducirlo a otro idioma. En otras palabras, la entidad de afiliación es “Universidad Tecnológica de Panamá”. Esta medida contribuye positivamente en el conteo por entidad que realiza SCOPUS u otras herramientas, tales como: *Research ID*<sup>1</sup> y *WoS*<sup>2</sup>.

### 2.4 Encabezado de Página de la primera página

No modificar.

### 2.5 Pie de página de la primera página

No modificar.

### 2.6 Cuerpo del manuscrito

Los componentes principales del manuscrito deben dividirse en secciones con un uso apropiado de títulos y subtítulos, según lo requiera la organización y el desarrollo lógico del material.

#### 2.6.1 Texto principal

Escriba el texto principal en Times New Roman 11-puntos y a espacio sencillo. Los párrafos deben iniciar con una sangría de 0.5 cm. Además, el texto debe estar completamente justificado, **no** debe agregar espacios en blanco entre los párrafos de cada sección y los extranjerismos (solo aplica para artículo en español) no adaptados deben escribirse en cursiva.

#### 2.6.2 Cabeceras de primer nivel, cabeceras de segundo nivel y viñetas

Una cabecera de primer nivel debe estar en Times New Roman 12 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 1 (introducción) del presente instructivo. Recuerde utilizar un punto (.) después de la numeración, no una coma (,). El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Una cabecera de segundo nivel debe estar en Times New Roman 11 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 2.3. El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Es importante indicar que estas especificaciones también aplican para las cabeceras de tercer nivel y su contenido. Además, la numeración de estas cabeceras no culminan con un punto. Las viñetas deben justificarse a la izquierda y a espacio sencillo. La sangría entre la viñeta y el texto es de 0.5 cm.

**Nota:** las secciones principales y subsecciones deben estar separadas mediante un interlineado sencillo (espacio en blanco) de tamaño 11 puntos. Además, escriba un texto entre el título de una sección y una subsección o entre subsecciones, no deje ese espacio en blanco, ver ejemplo entre las subsecciones 2.4 y 2.4.1.

#### 2.6.3 Enumeración de páginas, encabezados y pies de páginas

Enumere sus páginas en el borde inferior derecho, ejemplo: 1, 2, 3, ..., n páginas. No utilice encabezados ni pies de páginas. Si necesita pie de página, colóquelo en la parte inferior de la columna en la cual se hace referencia con el siguiente formato: Times New Roman de 9 puntos y espacio sencillo. Para facilitar la lectura, se recomienda evitar el uso excesivo de pies de página e incluir observaciones entre paréntesis, ejemplo: (como se ilustra aquí...).

#### 2.6.4 Ecuaciones

Si está utilizando *Microsoft Word*, use *Microsoft Editor de Ecuaciones* o el complemento *MathType* ([www.mathtype.com](http://www.mathtype.com)) para ecuaciones en su artículo. Las variables, números y texto deben ser en Times New Roman 11 puntos.

Pasos para insertar ecuaciones:

- *Microsoft* Editor de Ecuaciones: *Insert/Insertar* - *Object/Objeto* - *Create New/Crear Nuevo* - *Microsoft Equation/Microsoft Editor de Ecuaciones*.
- *MathType*: *Insert/Insertar* - *Object/Objeto* - *MathType*.

La ecuación debe estar centrada y con su correspondiente numeración alineada a mano derecha, como se muestra a continuación,

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva entre paréntesis. Use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Utilice punto al final de la ecuación cuando ellas sean parte de una oración, como

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\cdot \int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda \cdot$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva y 11 puntos. Para la definición utilice letra normal y 11 puntos. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación 1 se muestra el resultado estimado” o “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”.

No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “a ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Además, las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán ser citadas en el texto.

### 2.6.5 Imágenes y fotografías

Las imágenes y fotografías deben estar centradas en el artículo formando parte del texto. En cuanto a numeración, título y leyenda, ver la siguiente sección.

Si alguno de los elementos mencionados no puede ser ajustado en las columnas, entonces debe centrarlo en la parte superior de la página con su respectivo título y leyenda. Después, deben seguir las columnas del artículo en la parte inferior.

Las fotografías e imágenes (tablas, diagramas, gráficos y ecuaciones) deben tener una resolución mínima de 300 ppp (píxeles por pulgada) o dpi (*dots per*

*inch*). Procure que la resolución de las imágenes facilite el envío del artículo a través de la plataforma.

No hay un límite en cuanto a la cantidad máxima de imágenes permitidas. Sin embargo, límitese a incluir las imágenes y ecuaciones más esenciales o novedosas.

Si su artículo es aprobado por el Comité Editorial para su publicación, entonces, debe seguir las instrucciones de la sección 4.

### 2.6.6 Leyendas de figuras y títulos de las tablas

Las leyendas de figuras y títulos de las tablas deben ser en Times New Roman de 10 puntos. La primera palabra de la leyenda debe iniciar con letra mayúscula. Las palabras “Figura” y “Tabla” deben ser en negrita, incluyendo el número de secuencia y el punto.

Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y llevar su respectiva secuencia, ejemplo: “**Figura 1.** Diagrama de control” y “**Tabla 1.** Mediciones en campo”. Las leyendas de las figuras se colocan justificadas debajo de la imagen y los títulos de las tablas se colocan centrados arriba de las tablas.

## 2.7 Secciones usuales de un artículo

Las secciones más usuales de un artículo científico, pero NO limitantes, son las siguientes:

### 2.7.1 Introducción

Debe ubicar al lector en el contexto del trabajo:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

### 2.7.2 Materiales y métodos

Es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, materiales y métodos. Además, el autor debe incluir los criterios de la selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

### 2.7.3 Resultados

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de

tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Incorrecto: "El 60% (3/5) de las muestras de David y el 20% (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." Correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de David y 1 de cada 5 ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Además, las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%.

#### 2.7.4 Conclusiones

Deben ser enunciadas con claridad y deben cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.
- Recomendaciones para futuros trabajos.
- Impacto sobre la comunidad científica.

#### 2.7.5 Agradecimiento

Utilice el término en singular como encabezado, aun cuando sean muchos agradecimientos. En esta sección se recomiendan las siguientes expresiones: "Agradecemos a Juan Pérez por su asistencia técnica" o "Agradecemos también a nuestro colaborador Carlos Pérez de la Dirección de Investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá". El reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero se indica en esta sección, ejemplo: "Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional bajo contrato...".

#### 2.7.6 Referencias

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura. Se enumerarán por orden de aparición en el texto al final del trabajo. Las listas de referencias deben seguir el estilo de la **IEEE**. El autor tiene la libertad de utilizar un administrador de fuentes bibliográficas que incluyen los procesadores de texto o un *software* específico. La letra debe estar en Times New Roman 9 puntos.

El autor es responsable de la exactitud del contenido y citación de todas las referencias. Todas las referencias deben ser citadas en el documento. Los números de las referencias en el texto deben colocarse entre corchetes.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de citaciones:

##### Citación de un artículo

- [1] G. Pevere. "Infrared Nation," *The International Journal of Infrared Design*, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.

##### Citación de un libro

- [2] W.K. Chen. *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.

##### Citación de un documento electrónico

- [3] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." *Flying Machines*. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: [www.flyingmachjourn/properties/fly.edu](http://www.flyingmachjourn/properties/fly.edu) [Dec. 1, 2003].

#### 2.7.7 Apéndice

El apéndice consiste en la presentación de cualquier otro material que impida el desarrollo continuo del artículo, pero puede ser importante para justificar los resultados del trabajo.

### 3. Normas para la recepción de los artículos

La RIDTEC es una **revista abierta** de publicación semestral, por lo tanto, extendemos una cordial invitación a todos los autores interesados en publicar artículos científicos (ver definición en la sección 4) sobre los avances y los resultados de sus proyectos de investigación.

Las áreas de investigación de interés, pero no limitantes, han sido definidas por la UTP con la finalidad de abarcar los campos del conocimiento a nivel internacional han identificado en los sectores económico, social, científico y tecnológico:

- Agricultura y Agroindustria
- Astrofísica
- Biotecnología

- Cambio climático y meteorología
- Ciencias físicas y sistemas ambientales
- Geología
- Hidrología tropical
- Infraestructura.
- Instrumentación nuclear
- Logística y Transporte
- Proceso de Manufactura y Ciencia de los Materiales
- Sistema marino costero
- Tecnologías de Energías Renovables e Ingeniería Ambiental
- Tecnologías de la Información y Comunicación.
- Robótica, Automatización e Inteligencia Artificial.

Los autores de artículos pueden ser docentes, investigadores, estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con orientación de un profesor tutor. Además, los interesados pueden ser profesionales de entidades públicas (autónomas y semiautónomas) y entidades privadas, ya sean, nacionales e internacionales. Los estudiantes de pregrado con interés de publicar pueden enviar sus trabajos a la Revista de Iniciación Científica de la UTP (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric>).

El autor puede encontrar en el portal de la RIDTEC (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>) los siguientes ítems:

- Miembros del CE.
- Ediciones anteriores.
- Instructivo para autores.
- Objetivos, alcance, misión y temática.
- Política editorial de la revista.
- Declaración de ética de publicación de la revista.
- Plataforma para la recepción de artículos.
- Fechas de convocatorias para la recepciones de los artículos.

El autor debe enviar una primera versión de su artículo durante el periodo establecido, y cumplir con los siguientes criterios de preselección:

#### **Criterio 1**

El autor debe utilizar el formato establecido en el instructivo para estructurar su artículo y enviarlo a través de la plataforma para la recepción de artículos. Los artículos recibidos en la plataforma, pasada la fecha límite de la convocatoria, pasarán al estatus de “espera” para formar parte de la próxima convocatoria. El archivo del artículo debe cumplir con las siguientes

características: formato .doc o .docx y no debe superar los 65MB.

#### **Criterio 2**

El artículo emitido debe corresponder a la cobertura temática de la RIDTEC, y abarcar las áreas temáticas orientadas a las ciencias e ingenierías.

#### **Criterio 3**

El artículo debe pasar por un proceso de comprobación de originalidad, la RIDTEC hace uso de la herramienta web Paper Rater (acceso libre) y el software de detección de plagio, el cual permite garantizar la originalidad del trabajo escrito antes de la publicación.

No existe un límite para el envío de artículos por autor. Sin embargo, si dos o más artículos de un autor son aceptados entonces solo se publicará un artículo por número y los demás artículos en los siguientes números.

**Nota:** El autor solo puede modificar o retirar el artículo antes de la fecha establecida para el corte de la recepción. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación.

## **4. Evaluación y aceptación de artículos**

Cada artículo será evaluado mediante el método de “revisión por pares doble ciego”, para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflictos de intereses. Los criterios de evaluación son los siguientes: Originalidad, Relevancia, Calidad y Presentación (redacción y claridad de las secciones). Cada criterio será calificado como: Muy Alto, Alto, Bueno, Suficiente, Promedio, Débil o Deficiente. Dependiendo de esta calificación, el evaluador elegirá una de las siguientes alternativas: 1) se recomienda con modificaciones menores, 2) se recomienda con modificaciones mayores o, 3) no se recomienda. Además, el evaluador emite sus observaciones y recomendaciones, las cuales van dirigidas al autor y también al comité editorial. Para sustentar la evaluación del manuscrito, al artículo se le asigna un puntaje (0, 1 y 2), donde 0 representa a consideración del evaluador, que el artículo no se recomienda, 1 si el artículo se recomienda con modificaciones mayores y 2 si se recomienda con modificaciones menores. De esta manera el puntaje dado por cada evaluador se suma y divide entre la cantidad de evaluadores asignados al artículo emitido a revisión, así el resultado es un

promedio que podría variar entre 0 y 2. Este promedio determina si un artículo tendrá prioridad para ser publicado. Los artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número, pasarán al estatus de “espera” hasta el próximo número. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial (CE) de la RIDTEC. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación, de lo contrario se aplicará un periodo de embargo (no podrá remitir artículos en la revista dentro de seis meses “un semestre”).

Si el dictamen final (opinión de ambos evaluadores y el CE) consiste en no recomendar un artículo para su publicación, se procede con devolverlo al autor con el informe de evaluación notificándole sobre las debilidades de fondo y forma. Un dictamen final de este tipo se sustenta con los siguientes puntos: el trabajo no incorpora el componente de ingeniería, deficiencias en la redacción y claridad de las secciones, no hay una contribución original y significativa al área del conocimiento. Sin embargo, si existe una contradicción entre los evaluadores entonces se recurrirá a un tercer evaluador para definir la evaluación.

En el caso de que el artículo sea recomendado para su publicación, se procede con devolver el artículo y el informe de evaluación. El autor debe mejorar el documento y remitirlo con la información de los autores en un plazo no mayor de **15 días** al correo electrónico [revista.idtecnologico@utp.ac.pa](mailto:revista.idtecnologico@utp.ac.pa)

Posterior a la aceptación de los ajustes en el artículo por parte del CE, el autor principal recibirá una certificación sobre la publicación de su artículo en la RIDTEC. Además, el autor debe entregar los archivos al correo electrónico [revista.idtecnologico@utp.ac.pa](mailto:revista.idtecnologico@utp.ac.pa) o enviar un disco (CD o DVD) con sus respectivas imágenes o gráficos originales para la diagramación del artículo. En el caso de enviar un disco, este debe incluir los siguientes datos:

- Número de identificación del artículo (ID)
- Título del artículo
- Nombre del autor principal.

¿Qué queremos decir con una "**imagen original**"? Según nuestras experiencias con ediciones anteriores, se recomienda generar un PNG o JPG de la imagen con el software utilizado para crear dicha imagen y con una resolución **mínima de 300 ppp**. Ejemplos del concepto

"original": si la imagen es creada en *Autocad* entonces usted debe generar el archivo PNG o JPG de la imagen a partir del *Autocad*.

No se recomienda exportar la imagen a otra aplicación para generar el PDF porque puede afectar considerablemente la calidad de la imagen y complicar la tarea de diagramación. Ejemplo: exportar la imagen del *Autocad* e importarla en *Word* o *power point*.

Cada imagen debe aparecer en un archivo PNG o JPG por separado y debidamente identificada para facilitar el reemplazo en el artículo.

**Nota:** El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para las imágenes. En caso contrario, el artículo quedará en cola de espera para su publicación.

## 5. Prioridad de publicación

La prioridad de publicación se va a regir por los siguientes criterios:

- Por impacto.
- Por tiempo de recepción del artículo.
- Enfoque de la temática.

Si un artículo tiene una mayor puntuación en base a estos criterios este tendrá prioridad para ser publicado, los otros artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número estarán en el estatus de *espera* hasta el próximo número.

## 6. Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIDTEC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, siguiendo los lineamientos del documento "**Declaración de ética de publicación**", la UTP declina de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revista científicas. Por lo tanto, todos los contenidos deben estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).

## 7. Correspondencia o comunicaciones

Para la correspondencia, suscripciones o envío de documentación, sírvase hacerlo a siguiente dirección:

Universidad Tecnológica de Panamá

Editorial Tecnológica

Apartado 0819-07289, El Dorado, Ciudad de Panamá, República de Panamá

Además, para una comunicación directa, usted puede escribirnos al siguiente correo electrónico [revista.idtecnologico@utp.ac.pa](mailto:revista.idtecnologico@utp.ac.pa)

## 8. Conceptos fundamentales de interés

Esta sección tiene el objetivo de ilustrar a nuestros autores y lectores sobre conceptos fundamentales de investigación y desarrollo experimental (I+D)<sup>3</sup>, y redacción científica<sup>4</sup>.

La I+D comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. A continuación se definen cada una de estas actividades.

- La **investigación básica** consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- La **investigación aplicada** consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos y está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- El **desarrollo experimental** consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora de los ya existentes.

En cuanto a la redacción científica, su característica fundamental es la claridad. El éxito de la experimentación científica es el resultado de una mente clara que aborda un problema claramente formulado y llega a unas conclusiones claramente enunciadas. Idealmente, la claridad debería caracterizar todo tipo de comunicaciones; sin embargo, cuando se dice algo por primera vez, la claridad es esencial.

La mayoría de los artículos científicos publicados en las revistas de investigación primarias se aceptan

precisamente porque aportan realmente conocimientos científicos nuevos. Por ello, debe exigirse una claridad absoluta en la redacción científica. Para una mejor comprensión entre los tipos de trabajos científicos, presentamos las siguientes definiciones:

- **Artículo científico:** informe escrito y publicado que describe resultados originales de una investigación.
- **Artículo de revisión:** no es una publicación original y su estructura es diferente a la de un artículo de investigación. Ofrece una evaluación crítica de los trabajos publicados y llegan a conclusiones importantes.
- **Ensayos cortos:** son el resultado de un examen crítico de artículos de investigación científica publicados, en donde se resaltan los trabajos más importantes o los que han brindado mayor aporte al conocimiento en una área determinada.

### Los conceptos fueron extraídos de los siguientes documentos:

<sup>1</sup><http://www.researcherid.com/>, Thomson Reuters

<sup>2</sup><https://www.recursoscientificos.fecyt.es/>, FECYT

<sup>3</sup>"Manual de Frascati", 2003, FECYT y Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

<sup>4</sup>"Cómo escribir y publicar trabajos científicos", 2005, Roberto Day

# VII International Engineering Science and Technology Conference

*"To complex problems,  
multidisciplinary solutions"*

*"Celebrating the 500<sup>th</sup>  
Anniversary of Panama City"*

**October 9 - 11, 2019**

**Wyndham Panama Hotel Albrook Mall**

**Call for Papers**  
<http://congreso.utp.ac.pa>

## AREAS OF INTEREST:

- ◆ Agroindustry
- ◆ Basic Sciences
- ◆ Economy and Society
- ◆ Engineering Education
- ◆ Energy and Environment
- ◆ Infrastructure
- ◆ Logistic and Transportation
- ◆ Management, Entrepreneurship and Innovation
- ◆ Robotic, Automation and Artificial Intelligence
- ◆ Information Technology and Communication
- ◆ Emerging Technologies

## IMPORTANT DATES:

Nov. 1<sup>st</sup>, 2018

April 1<sup>st</sup>, 2019

July 1<sup>st</sup>, 2019

Papers reception opens

Papers reception closes

Notification of acceptance begins

In order to include the accepted papers in the **IESTEC-2019** program, at least one of the authors, must pay by July 31<sup>st</sup>, 2019.

# Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP

INICIO ACERCA DE ÁREA PERSONAL BUSCAR

Inicio > Portal de Revistas Académicas UTP

## Portal de Revistas Académicas UTP

Bienvenido al Portal de Revistas Académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá. Este sitio es un componente del proyecto Repositorio Institucional (UTP-Ridda2). Muestra la producción científica de docentes, investigadores y estudiantes. Iniciativa que desarrolla la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, la Dirección de Comunicación Estratégica y Editorial Universitaria, con el apoyo de las autoridades de esta casa de estudios.

[A](#) [B](#) [C](#) [D](#) [E](#) [F](#) [G](#) [H](#) [I](#) [J](#) [K](#) [L](#) [M](#) [N](#) [Ñ](#) [O](#) [P](#) [Q](#) [R](#) [S](#) [T](#) [U](#) [V](#) [W](#) [X](#) [Y](#) [Z](#) [Todo](#)



### I+D Tecnológico

Desde 2002 se propuso la edición de la Revista de I+D Tecnológico (*P-ISSN 1680-8894 & E-ISSN 2219-6714*), con el propósito de promover la labor de investigación en el ámbito nacional e internacional.

La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista abierta (OA) evaluada por pares (doble ciego) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), especializada en las áreas de las ciencias básicas e ingeniería y otras áreas del conocimiento.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Prisma Tecnológico

Prisma Tecnológico (*P-ISSN 2076-8133 & E-ISSN 2312-637X*)

Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) bajo el sello Editorial Tecnológica. Es una revista abierta, indexada a Latindex, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, su objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería, ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Revista de Iniciación Científica

RIC (*P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786*), es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado, con el objetivo de promover la creación, la expresión y la diseminación de trabajos novedosos y empíricos. En RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)

OPEN JOURNAL SYSTEMS

Servicio de ayuda de la revista

USUARIO/A

Ha iniciado sesión como...

dannym

- Mis revistas
- Mi perfil
- Cerrar sesión
- Cerrar sesión de usuario/a

IDIOMA

Escoge idioma

Spanish

Entregar

CONTENIDO DE LA REVISTA

Buscar

Ámbito de la búsqueda

Todo

Buscar



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DE PANAMÁ

El **Portal de Revistas Académicas UTP**, es un componente del proyecto **UTP-RIDDA2** (Repositorio institucional de acceso abierto de la Universidad Tecnológica de Panamá).

### Componentes del Repositorio Institucional

- Portal de Revistas
- Repositorio de Investigación
- Repositorio de Tesis
- Repositorio de Organizacional
- Repositorio de Académico

### Objetivo General del Portal de Revistas

Mejorar la visibilidad de las publicaciones científicas de la Institución a nivel nacional e internacional a través del uso de un sistema de gestión, de información y de consulta ágil y de uso internacional.

Visítenos en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas

**Camino a la excelencia a través del mejoramiento continuo**



**Universidad Tecnológica de Panamá**  
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,  
Edificio de Postgrado, Planta Baja.  
Teléfono: (507) 560-3703 | (507) 560-3442  
Correo Electrónico: [editorial@utp.ac.pa](mailto:editorial@utp.ac.pa)  
Web: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)  
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,  
Panamá, República de Panamá.