



UNANCHAY
REVISTA CIENTÍFICA
ISSN 2953 6707

02



CIENCIAS DE LA INGENIERIA



VOLUMEN 2

Nº. 01

Enero - Junio 2023

Contacto: infounanchay@istte.edu.ec

<https://tecnoecuatoriano.edu.ec/revistaunanchay/index.php/RCU/index>



Revista Científica Unanchay (ISSN 2953-6707)

Volumen 2. Número 1. Año 2022.

La Revista Científica Unanchay, es un espacio editorializado por el Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, que tiene el propósito de difundir la producción científica en el área de ciencias de la ingeniería constituyéndose como un espacio de referencia para la socialización de investigaciones y producciones técnicas aplicadas a las líneas de investigación de la revista.

Tabla de Contenidos

Artículos Originales

	pp.
Prototipo web para el registro y control del historial de pacientes en medicina general Orlando Daniel Campoverde Campoverde , Álvaro Pullas Espinosa, Verónica Jeanneth Sotelo Reinoso	1-14
Análisis de emisiones en un motor a gasolina con sistema de inyección directa e indirecta multipunto José Andrés Beltrán Ruiz	15-28
La metodología de variables continuas para la estimación de espesores de arena neta en yacimientos arcillosos Franklyn Javier Ángel Sáez	29-45
La caracterización de un material compuesto con matriz de resina de poliéster reforzado con partícula de totora Jaime Molina Osejos, Diana Peralta, Antonio Edilberto Llanes Cedeño, Erika Rafaela Gaibor Chacha , Santiago Fernando Celi Ortega	46-60
El análisis de los parámetros de atomización en inyectores CRDI2 según su mantenimiento Gorky Reyes Campaña, Denny Guanuche Larco, Stalin Morocho Perez, Adonis Nuñez Garcia, Charles Silva Hinojosa	61-77

Prototipo web para el registro y control del historial de pacientes en medicina general

Prototype for the registration and control of the history of patients in general medicine

*Orlando Daniel Campoverde Campoverde¹ Álvaro Sebastián Pullas Espinosa²,
Verónica Jeanneth Sotelo Reinoso³*

Resumen:

La presente investigación es de carácter descriptivo con diseño de campo, que permitió describir las fases necesarias para el diseño de una aplicación para la gestión de información; para su desarrollo se consideran las siguientes fases: análisis de requisitos, diseño, desarrollo, pruebas, mejoras y mantenimiento, con el objetivo de digitalizar el proceso de ingreso y administración de la información de las historias clínicas del Centro de Salud Eugenio Espejo. El desarrollo de esta aplicación de gestión de información cuenta con una interfaz gráfica que permiten al administrador realizar registros y seguimientos de las historias clínicas de los pacientes, de una manera interactiva desde la web con soporte de almacenamiento fijo en un computador local, el software fue desarrollado en código PHP y como base de datos utiliza MySQL. Además, el prototipo web tiene las características de comunicación entre el usuario, máquina y software. El aplicativo de información permitirá crear, editar y buscar historias clínicas de los pacientes que son atendidos.

Palabras clave: Bases de Datos, MySQL, Gestión de Información, Administración, Interfaz

Abstract:

The present research is of a descriptive nature with a field design, which allowed describing the necessary phases for the design of an application for information management; For its development, the following phases are considered: requirements analysis, design, development, testing, implementation, improvements and maintenance, with the aim of digitizing the process of entering and managing information from the Eugenio Espejo Health Center's medical records. The development of this information management application has a graphical interface that allows the administrator to make records and follow-up of the patients' clinical histories, in an interactive way from the web with fixed storage support on a local

¹ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Pedagogía en Entornos Digitales, <https://orcid.org/0000-0001-7656-5065>

² Independiente, Tecnólogo Superior en Desarrollo de Software, <https://orcid.org/0009-0003-6971-7480>

³ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación mención gestión de los aprendizajes mediados por TIC, <https://orcid.org/0009-0007-5732-6764>

computer, the software It was developed in PHP code and as a database it uses MySQL, in addition, the web prototype has the characteristics of communication between the user, machine and software. The information application will allow you to create, edit and search for medical records of patients who are treated.

Keywords: Database, MySQL, PHP, Information Management, Administration, Interface

Introducción

La llegada de la revolución industrial marcó un hito en la historia mundial dando paso a que las empresas inicien a incorporar la tecnología en sus procesos productivos con el objetivo de maximizar la producción y abaratar costos tanto de mano de obra como de insumos (Navarrete, 2017). Además, la creciente popularidad de la tecnología de la información, especialmente el desarrollo de la ciencia de datos ha hecho de la información en la salud, un aspecto importante de la atención al paciente (Organización Panamericana de la Salud, 2021).

En sus inicios los sistemas de información estaban enfocados en satisfacer la demanda de las grandes empresas. Sin embargo, la revolución digital permitió que empresas de todos los tamaños pudieran incorporar sistemas informáticos en el mejoramiento de sus procesos de producción y servicios. Por lo tanto, las empresas de servicios (consultorios médicos, bufete de abogados, restaurantes, call centers, etc.) observaron en los sistemas de información una oportunidad que les permitió ser competitivos mejorando la calidad de sus servicios e implementando mejores canales de comunicación con sus clientes (López, 2021),

La digitalización, está cambiando los niveles de ingresos y las condiciones de trabajo, además, está ampliando las oportunidades de empleo en las empresas, las ventajas de desarrollo profesional relacionadas con las habilidades digitales y la promoción de la conciliación de la vida familiar y laboral, como las soluciones de teletrabajo que puedan mejorar aspectos relacionados con la calidad de vida (CEPAL, 2022). Esto ha permitido la toma de decisiones sobre la base de información, obteniendo ventaja competitiva para la apertura de nuevos servicios, la implementación de nuevos productos, la generación de mejores réditos económicos, entre otras (Guizado, 2018). No obstante, “a pesar de estos avances, no se han registrado grandes cambios respecto del proceso general de documentación en el área de la salud” (Organización Panamericana de la Salud, 2021, p. 2), que es un área donde la información se encuentra constantemente ingresando y almacenándose.

Analizando los aspectos mencionados anteriormente, se observa que la eficiencia en los procesos mediados por un sistema de gestión de información trae beneficios a los servicios que prestan todos los sectores, especialmente en los centros de salud, donde se gestiona información relevante de los usuarios, por ello, es importante la implementación de un aplicativo que satisfaga de una manera rápida y eficiente el ingreso y salida de información, que garantice la disponibilidad de datos de calidad (Nguyen, Jenkins, Khanna, Shah, Gartland, y Turner, 2021).

La aplicación del sistema de gestión de información web tiene como objetivo la transformación digital, para organizar de manera eficiente gran cantidad de información física a un entorno digital, con el cual, el proceso de ingreso y administración de la información de las historias clínicas del Centro de Salud Eugenio Espejo sea ordenado y rápido.

Metodología

La metodología utilizada para esta investigación es de tipo descriptiva con diseño de campo, ya que trata de proveer una representación precisa y detallada de los eventos, comportamientos, características o condiciones que se están estudiando, e intenta proporcionar una descripción completa y precisa de los eventos o fenómenos estudiados. Esto implica recopilar datos específicos, y registrar información relevante que permita una comprensión profunda del tema de estudio. Así mismo, se busca analizar e interpretar los datos, y una vez recopilados, se procede a descifrar y organizarlos de manera sistemática. Esto conlleva a identificar patrones, tendencias, relaciones o particularidades relevantes que emergen de los datos.

La interpretación de los resultados se basa en evidencia del contexto del fenómeno estudiado. A continuación, se presenta una descripción general de las fases comunes en el desarrollo de software:

Análisis de requisitos: En esta fase inicial, se recopila y analiza la información sobre los requisitos del software, que comprende las necesidades del cliente, identifica los objetivos del sistema y define las funcionalidades que debe tener el software.

Diseño: En esta fase, se crea un diseño detallado del software en función de los requisitos recopilados. Se define la arquitectura del sistema, la estructura de datos, los componentes del software y las interfaces. De igual forma, se pueden crear prototipos para validar el diseño antes de avanzar.

Desarrollo: En esta fase, se implementa el software utilizando el diseño definido en la fase anterior. Los desarrolladores escriben el código fuente, crean las bases de datos, implementan las funcionalidades y realizan pruebas unitarias para garantizar que el software funcione según lo esperado.

Pruebas: En esta fase, se llevan a cabo pruebas exhaustivas para identificar errores, verificar el correcto funcionamiento del software y asegurarse de que cumple con los requisitos establecidos. Lo que incluye pruebas de unidad, pruebas de integración, pruebas de sistema y pruebas de aceptación.

Implementación: Una vez que el software ha sido probado y se ha corregido un problema encontrado, se realiza la implementación final. Es decir, la instalación del software en el entorno de producción o la entrega al cliente, según sea el caso.

Mantenimiento: Después de la implementación, comienza la fase de mantenimiento. En esta etapa se realizan actualizaciones, correcciones de errores y mejoras del software para garantizar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo. Esto puede incluir parches de seguridad, actualizaciones de funcionalidades y soporte técnico continuo. En primer lugar, se realizó un análisis exhaustivo de los requisitos del sistema, considerando las necesidades del personal médico y administrativo, así como los aspectos de seguridad y privacidad de los datos médicos.

A continuación, se procedió al diseño de la arquitectura de la página web y la interfaz de usuario, siguiendo principios de usabilidad y experiencia del usuario. Se utilizaron tecnologías web modernas, como HTML, CSS y JavaScript, para implementar la interfaz de usuario y su interacción con los mismo. Así también, se

manejó un lenguaje de programación como C# para el desarrollo del backend de la aplicación y se empleó una base de datos relacional como MySQL para almacenar y gestionar los datos de los historiales médicos.

Selección del lenguaje de programación

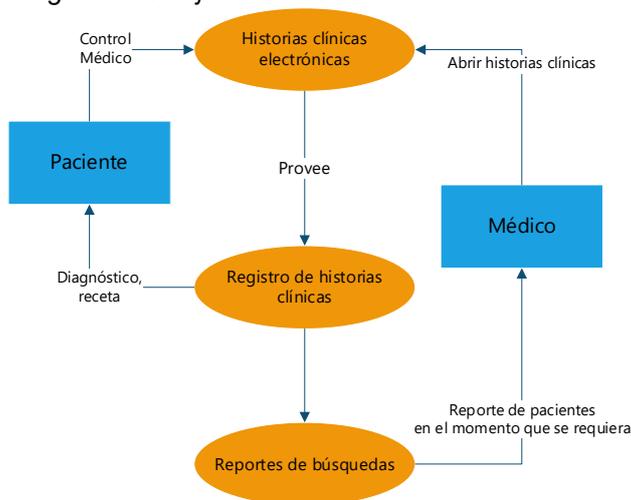
Acorde a lo afirmado por el portal Web GoDaddy (2020) el lenguaje de programación PHP es el segundo preferido por los programadores para el desarrollo de páginas web dinámicas gracias a la facilidad de integración con el lenguaje estático HTML, entre sus principales características tiene que:

Es un lenguaje de programación de código abierto, cuya descarga y uso son gratuitos, posee un tiempo de respuesta rápida debido a que usa su propia memoria para la interpretación y ejecución de las reglas del negocio. Cuenta con versiones de instalación para todos los sistemas operativos, lo que significa que puede ser instalado en Windows, Linux, Ubuntu, Mac. Dependiendo del uso que se le vaya a dar se adapta a todo tipo de computador desde grandes servidores hasta computadores de escritorio. Es compatible con todos los navegadores web de computadores y dispositivos móviles (tablets y teléfonos inteligentes). Existen varios portales web donde se puede descargar librerías y templates tanto gratuitos como pagados que permiten recortar tiempo de desarrollo. (Goday, 2020).

A continuación, en la figura 1, se exhibe el diagrama de flujo de datos (DFD), el cual, es una representación gráfica del flujo que tendrá la información dentro del sistema informático.

Figura 1

Diagrama de flujo de datos DFD



Nota. Descripción del flujo comunicativo entre los actores del sistema de información, **Rectángulos:** representan a las entidades externas que interactúan con el sistema de información. **Círculos:** representan a los procesos identificados que automatizará el sistema de información. **Flechas:** que representan el flujo de la información entre las entidades externas y los procesos. Autores.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema, se utilizó un software de virtualización, donde, se configuró un computador virtual con las características que maneja el área de secretaria del centro de salud que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1.

Características del computador virtualizado

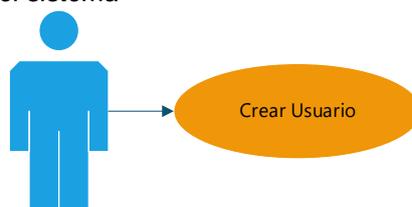
Características	Detalle
Tipo	Computador de escritorio
Procesador	Intel(R) Core (TM) i5-3770 CPU @ 3.40GHz 3.40 GHz
RAM instalada	4,00 GB (4,88 GB usable)
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64
Sistema Operativo	Windows 10 Pro

Nota. Elementos mínimos para el proceso de implementación del sistema informático. Autores

El diagrama representado en la figura 2 describe las acciones de administración del sistema que serán ejecutadas por la persona que sea designada con dicho rol, dentro de sus funciones está el permitir el ingreso de información de todos los usuarios que tendrán acceso al sistema informático; así como la definición de la clave de acceso que los mismos tendrán.

Figura 2

Caso de uso para la administración del sistema



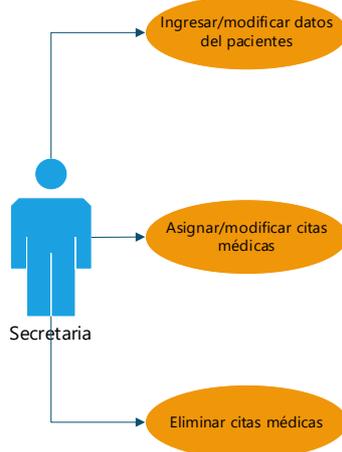
Administrador

Nota. Asignación de roles dentro del sistema, creación de usuarios y asignación de roles. Autores

El diagrama representado en la figura 3 describe las acciones para el ingreso de información de las consultas médicas, mismas que serán ejecutadas por los doctores del centro médico, dentro de las asignaciones principales se tiene ingreso, asignación y eliminación de citas médicas.

Figura 3.

Caso de uso para el ingreso de atenciones médicas

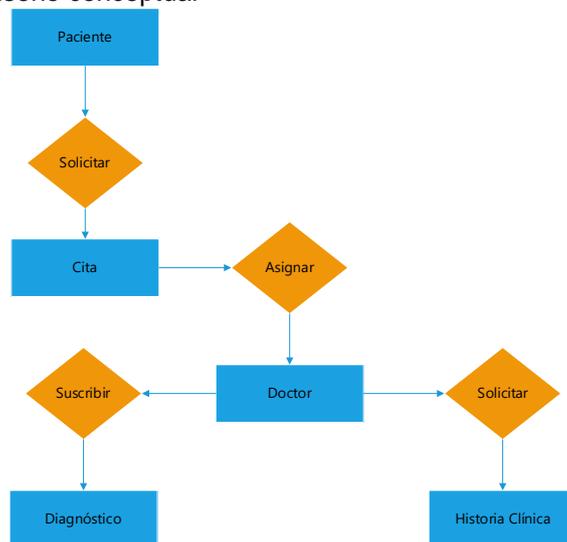


Nota. Ingresar datos del paciente: registra la información del paciente que acude a la consulta médica. **Ingresar datos de la atención médica:** registra la información relacionada con el diagnóstico, tratamiento, exámenes de laboratorio, etc., remitidos al paciente. **Modificar información de la consulta médica:** permite modificar la información del paciente y de la atención médica que fue previamente registrada. **Eliminar historia clínica:** en caso de identificarse errores al momento de generar la historia clínica el sistema permitirá su eliminación. Autores

En tal virtud, evaluando el hardware y software existente y considerando la configuración mínima necesaria, se determina que el centro médico no precisa realizar la compra de nuevos equipos, ya que con los que cuenta satisfacen las necesidades requeridas para el desarrollo y funcionamiento del sistema de información. En la figura 4, se presenta el DFD de la comunicación entre los distintos departamentos que se encargan de la asignación y registro de las citas médicas y de los historiales clínicos.

Figura 4

Diseño conceptual

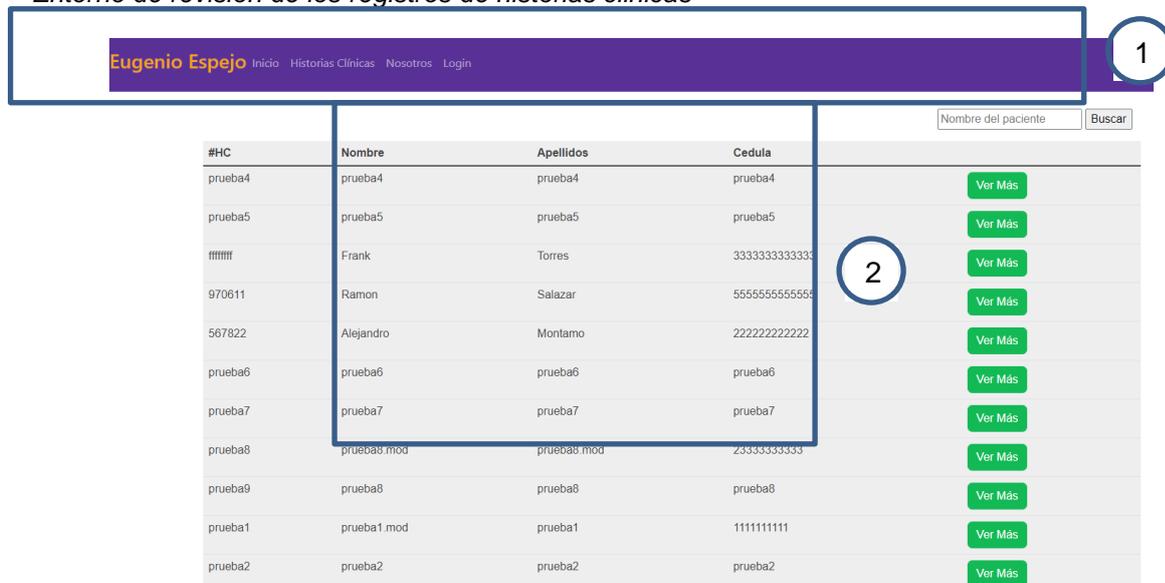


Resultados

El modelamiento del sistema de información se realizó bajo los casos de uso del Lenguaje Unificado de Modelado (UML), mismo que se caracteriza por describir a través de gráficos. Todas las funciones serán desarrolladas para dar cumplimiento a los requerimientos funcionales identificados; en este sentido, cada caso de uso representa una secuencia lógica de interacciones entre uno o varios actores (cliente, proveedor, empleado, auditor, etc.) y las actividades a cumplirse dentro del proceso a ser automatizado (ingreso, consulta, actualización, eliminación de información, etc.). Así, la visión general del sistema de navegación identifica una estructura dividida en paneles, con las siguientes secciones, menú de navegación y área principal como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Entorno de revision de los registros de historias clinicas



#HC	Nombre	Apellidos	Cedula	
prueba4	prueba4	prueba4	prueba4	Ver Más
prueba5	prueba5	prueba5	prueba5	Ver Más
ffffff	Frank	Torres	333333333333	Ver Más
970611	Ramon	Salazar	555555555555	Ver Más
567822	Alejandro	Montano	222222222222	Ver Más
prueba6	prueba6	prueba6	prueba6	Ver Más
prueba7	prueba7	prueba7	prueba7	Ver Más
prueba8	prueba8 mod	prueba8 mod	253333333333	Ver Más
prueba9	prueba8	prueba8	prueba8	Ver Más
prueba1	prueba1 mod	prueba1	1111111111	Ver Más
prueba2	prueba2	prueba2	prueba2	Ver Más

Nota. Vista general del entorno de registros divididos por secciones, registro de prueba para evaluar la funcionalidad y el entorno inicial de la plataforma

En la fase de implementación se inicia la instalación de las herramientas elegidas para el desarrollo del sistema de información, que son Apache, PHP y MySQL, adicional, se instaló Visual Studio Code como gestor de código para escribir las líneas de programación.

En el diseño físico la base de datos garantiza la integralidad de la información, evitando la repetición innecesaria de la misma, influyendo directamente en el rendimiento que tendrá la base de datos durante el uso del sistema de informático.

Durante este diseño, se convierten a las entidades en tablas, los atributos en columnas y las instancias en filas.

En el diseño físico de la base de datos la principal tabla es la denominada "historia clínica", la cual permite almacenar toda la información producida durante la atención médica; a continuación, se describen todos sus atributos:

Tabla 2.

Modelo físico de la tabla historia clínica

Nombre	Tipo	Longitud	Not null	Clave primaria	Descripción
Id	int	11	No	SI	Id de la tabla.
Numhc	varchar	100	No	No	Número de historia clínica.
Fechahc	varchar	100	No	No	Fecha de la historia clínica.
Nombre	varchar	100	No	No	Nombres del paciente.
apellidos	varchar	100	No	No	Apellidos del paciente.
Cedula	varchar	200	No	No	Número de cédula del paciente.
fechanacimiento	varchar	100	No	No	Fecha de nacimiento del paciente.
Sexo	varchar	100	No	No	Sexo del paciente.
Estcivil	varchar	100	No	No	Estado civil del paciente.
ocupacion	varchar	200	No	No	Ocupación del paciente.
Dirtel	varchar	500	No	No	Dirección y teléfono del paciente.
Motivo	text	0	No	No	Motivo de la consulta.
histenfermedad	text	0	No	No	Historial de enfermedades.
Padre	varchar	100	No	No	Historial de enfermedades del padre.
Madre	varchar	100	No	No	Historial de enfermedades de la madre.
otrosfamiliares	varchar	500	No	No	Historial de enfermedades de otros familiares.
enfcatastroficas	varchar	500	No	No	Presenta enfermedades catastróficas el paciente.
Cirurgías	varchar	500	No	No	Presenta cirugías el paciente.
Habitos	varchar	500	No	No	Descripción de hábitos de consumo del paciente.
Alergias	varchar	500	No	No	Descripción de alergias del paciente.
G	varchar	100	No	No	Antecedentes gineco obstétricos G.
P	varchar	100	No	No	Antecedentes gineco obstétricos P.
A	varchar	100	No	No	Antecedentes gineco obstétricos A.
C	varchar	100	No	No	Antecedentes gineco obstétricos C.
Fum	varchar	100	No	No	Descripción de hábitos de consumo de tabaco del paciente.
Temp	varchar	100	No	No	Medición de la temperatura del paciente.
Peso	varchar	100	No	No	Medición del peso del paciente.

Nombre	Tipo	Longitud	Not null	Clave primaria	Descripción
Talla	varchar	100	No	No	Medición de la talla del paciente.
Pa	varchar	100	No	No	Medición de la presión arterial del paciente.
Fc	varchar	100	No	No	Medición de la frecuencia cardíaca del paciente.
Fr	varchar	100	No	No	Medición de la frecuencia del paciente.
spo2	varchar	100	No	No	Medición de spo del paciente.
cabcuello	varchar	100	No	No	Medición de cabeza y cuello del paciente.
Torax	varchar	100	No	No	Medición del tórax del paciente.
abdomen	varchar	100	No	No	Medición del abdomen del paciente.
genitales	varchar	100	No	No	Estado de los genitales del paciente.
extremidades	varchar	100	No	No	Estado de las extremidades del paciente.
examenlab	text	0	No	No	Detalle de exámenes de laboratorio enviados al paciente.
Diagnosticoactual	text	0	No	No	Detalle del diagnóstico actual que presenta el paciente.
medgenerales	text	0	No	No	Detalle de las medidas generales remitidas para el cuidado del paciente.
tratamiento	text	0	No	No	Detalle del tratamiento enviado al paciente.
observaciones	text	0	No	No	Detalle de observaciones que refuerzan el diagnóstico.

Nota. Registro inicial para evaluar los puntos que contiene la tabla del sistema de registro de historias clínicas. Autores

A continuación, en la tabla 3 se describen los elementos que conforman el entorno usuario, en el cual, se almacena toda la información de las personas que están asignadas como usuarios y tendrán acceso al sistema, cada elemento se encarga de recolectar la información más relevante para identificar a las personas que realizan las actividades de registro.

Tabla 3

Modelo físico de la tabla usuarios

Nombre	Tipo	Longitud	Not null	Clave primaria	Descripción
Id	int	11	SI	SI	Id de la tabla
Usuario	varchar	255	Si	No	Nombre del usuario para acceder al sistema de información.
Pass	varchar	300	Si	No	Contraseña del usuario para ingresar al sistema de información.

Nota. Autor

Una vez que se ha ingresado al sistema a través de las credenciales personales (usuario y contraseña), en concordancia con la Figura 2 el sistema le permite ingresar nuevas historias clínicas, o a través de la opción de gestionar historias clínicas buscar historias para su edición.

La interfaz de la figura 6, permite gestionar las historias clínicas mostradas en orden cronológico; para buscar una en específico cuenta con la opción de búsqueda empleando el nombre del paciente, y mediante el botón “ver más” se puede revisar toda la información ingresada.

Figura 6

Interfaz para la gestión de historias clínicas

#HC	Nombre	Apellidos	Cedula	
prueba4	Juan	prueba4	prueba4	<input type="button" value="Ver Más"/>
prueba5	prueba5	prueba5	prueba5	<input type="button" value="Ver Más"/>
#####	Frank	Torres	333333333333	<input type="button" value="Ver Más"/>
970611	Ramon	Salazar	555555555555	<input type="button" value="Ver Más"/>

Nota. Entorno de registro de los pacientes con sus principales descripciones. Autores

En la figura 7, se presenta el esquema para ingresar la información del paciente, una vez llenado los campos el sistema genera el ingreso de los datos al sistema que, una vez analizado dentro de la base de datos, informará al usuario los antecedentes y el último registro realizado, pero, en el caso de que sea un historial nuevo toda la información de ingreso será almacenada hasta una siguiente cita médica, de esta manera el sistema va almacenando y mostrando la información.

Figura 7

Interfaz para el ingreso de nuevas historias clínicas

-----DATOS DE LA HISTORIA CLÍNICA-----

HC:

Fecha:

ANAMNESIS

Nombre:

Apellidos:

Cedula:

Fecha de nacimiento:

Nota. Diseño del entorno para el ingreso de información básica. Autores

Discusión

Realizar los registros manuales, generan una carga de trabajo y dificultan el registro por la falta del proceso para la preparación de documentos clínicos; además, la utilización de diferentes aplicaciones para mejorar este panorama generaron errores comunes provenientes de la falta de información completa (Hoerbst y Schweitzer, 2015), es por ello, que durante el estudio se mantuvo la idea de desarrollar el modelamiento del sistema de información bajo los casos de uso del Lenguaje Unificado de Modelado (UML), caracterizado por describirse a través de gráficos. Según estudios realizados por Cabrera, Delgado, Derivet, Acuña, Barrera, Castilla, Ramos y Urbay, (2013), este modelamiento es definido como una arquitectura basada en componentes y orientada a servicios basada en tecnologías (XML, Web Services) e implementada mediante aplicaciones de código abierto, de donde se deriva la alta complejidad estructural de los flujos informáticos modelados, pero con un gran flujo de datos en información real útil para un historial clínico.

El desarrollo del sistema de información con las herramientas Apache, PHP y MySQL, por ser de código abierto, de respuesta rápida, gratuitos y contar versiones a ser instaladas en sistemas operativos como Windows, Linux, Ubuntu y Mac, recortan el tiempo de desarrollo y según estudios realizados por ALOMALIZA (2008), los tipos de datos de Microsoft SQL Server son compatibles con la mayoría de tipos de datos de Oracle, DB2 y MySQL; es decir, que se pueden utilizar los mismos formatos para crear y almacenar datos en las diferentes bases de datos existentes (Nayibi, Martin, Labrada, y Leyva, 2016, p. 133).

Si bien numerosos estudios señalan la importancia de los sistemas de información para impulsar la competitividad de las Pyme Colomina, (1998); Coba et al., (2013); Neil y Lawrence, (2001); Lim, Richardson, y Roberts, (2004); Mahmood y Mann, (2005); Bayraktar et al., (2009); Moreno, (2012); Abrego, Medina, y Sánchez, (2016), existe poca cultura organizacional y de procesos por parte de sus directivos (Saavedra, Camarena y Saavedra, 2019, p. 2) lo que sucedía con el Centro de Salud, sin embargo, la primera etapa de implementación del sistema tuvo una acogida positiva entre los usuarios y dependiendo de la demanda se pretende la expansión de las actividades predeterminadas que tiene por el momento el sistema informático, ya que, durante el proceso de prueba y registros se observó que la información es de vital importancia para la toma de decisiones dentro del centro de salud, tal como lo menciona (Saavedra, Camarena y Saavedra (2019), quien, aseveró que “los sistemas de información –SI– dentro de una empresa son de vital importancia para obtener, almacenar y procesar datos” (p. 2).

La gestión de la información significa descubrir qué información es necesaria para la gente con la que se trabaja, de dónde debería proceder y para lo que sería necesaria; lo que significa comprender la información como un recurso disponible para la organización y que puede ser utilizado de forma consciente para satisfacer sus necesidades (Rodríguez 2008) (Vega, Grajales y Montoya, 2017, p. 68)

Conclusiones

El desarrollo del prototipo del sistema de información para el Centro de Salud Eugenio Espejo fue pensado en todo momento para dar soluciones a los problemas detectados con las historias clínicas, a través de dos grandes módulos la gestión, el de usuarios que brinda seguridad a la información y el de gestión de historias clínicas que facilita el proceso de ingreso y búsqueda de la información.

A pesar de las restricciones de equipamiento tecnológico del Centro de Salud, el prototipo desarrollado tanto a nivel de base de datos como de front end posee las características necesarias para su óptimo funcionamiento en un ambiente real. Finalmente, durante la fase de pruebas de funcionamiento, tanto con registros ficticios como con información histórica, se verificó el óptimo funcionamiento del prototipo.

Como consecuencia de contar con una robusta tecnología, Microsoft SQL Server posee un alto precio económico, en dependencia de las opciones que se requiera del gestor de base de datos. Además, se puede agregar que la replicación con Microsoft SQL Server está definida sólo para sistemas operativos de Microsoft, e incluso en ocasiones es incompatible con algunos entornos de este, por lo que, es imposible trabajar en cualquier tipo de ambiente de desarrollo. Otro de los inconvenientes de Microsoft SQL Server es que requiere de una gran cantidad de memoria RAM para poder instalarlo y utilizarlo, limitando su usabilidad.

Referencias

- Cabrera, M, Delgado, A, Derivet, D, Acuña, A, Barrera, O, Castilla, C, Ramos, A, Urbay, E, (2013). Catalogo para la generación de diagramas de componentes del sistema de información para la salud en Cuba. *Revista Cubana de Información Médica*. 5(1), 30-41.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Hacia la transformación del modelo de desarrollo en América Latina y el Caribe: producción, inclusión y sostenibilidad (LC/SES.39/3-P), Santiago, 2022.
- GoDaddy. (2020). *¿Cuáles son lenguajes de programación web más usados en Internet?* <https://es.godaddy.com/blog/cuales-son-lenguajes-de-programacion-web-mas-usados-en-internet/>
- Guizado, P. (2018). *El big data como herramienta competitiva de las PYMES de Quito (Tesis de maestría, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador)*. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/22272/1/Guizado%20Espinosa%20Sandra%20Paola.pdf>
- López, E. (2021). Derechos Humanos: trabajo y seguridad social frente a las nuevas tecnologías de la cuarta revolución industrial en México. *Revista IUS*, 15(48), 157-178. <https://www.redalyc.org/journal/2932/293270311008/>
- Martin, N, Martin, M, Labrada, R, Leyva, G, (2016). Procesos de réplica de datos con Microsoft SQL Server para el replicador de datos Reko. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 10(3), 128-142
- Navarrete, J. (2017). Efectos de la Cuarta Revolución Industrial en el Derecho. *Revista de la Facultad de Jurisprudencia* (2), 79-98. <https://www.redalyc.org/journal/6002/600263744004/600263744004.pdf>
- Nguyen OT, Jenkins NJ, Khanna N, Shah S, Gartland AJ, Turner K, et al. A systematic review of contributing factors of and solutions to electronic health record–related impacts on physician well-being. *J Am Med Inform Assoc*. 23 de abril del 2021;28(5):974-84
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Historias clínicas electrónicas y la importancia de cómo documentar*. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54805/OPSEIHIS21022_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Saavedra, M. L., Camarena, M., & Saavedra, M. E. (2019). Competitividad de las Pyme y su relación con los sistemas de información. *Cuadernos de Contabilidad*, 20(50), 160-177. <https://www.redalyc.org/journal/3836/383665272010/383665272010.pdf>
- Vega, C., Grajales, H., & Montoya, L. (2017). Sistemas de información: definiciones, usos y limitantes al caso de la producción ovina colombiana. *Orinoquia*, 21(1), 64-72. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89653552007.pdf>

Análisis de emisiones en un motor a gasolina con sistema de inyección directa e indirecta multipunto

Gasoline engine emissions analysis multipoint direct and indirect injection system

José Andrés Beltrán Ruiz¹

Resumen:

La tecnología de los vehículos ha mejorado en busca de disminuir el consumo de combustible, aumentar la eficiencia en los motores de combustión interna, además, que se ha generado una disminución de la cilindrada del motor. La presente investigación es de campo cuasiexperimental, cuyo objetivo fue analizar los niveles de contaminación que generan vehículos de una misma cilindrada, pero con diferente sistema de alimentación de combustible, las pruebas de gases contaminantes que se realizaron fueron en base a la norma INEN NTE 2203:2013, encargada de determinar los parámetros a seguir para realizar las mediciones de contaminación estáticas en un motor de gasolina. Las emisiones generadas en el sistema de alimentación con inyección multipunto en lo referente a partículas de hidrocarburos no combustionados, son significativamente menores a las que se presentan en el sistema de inyección directa, con el uso de cualquier tipo de gasolina, la cantidad en partículas por millón de hidrocarburos no combustionados, presentando una diferencia de 29,25 ppm en el sistema GDI, frente a los 0,75 del sistema multipunto. Determinándose que el sistema de alimentación que mayores emisiones genera es el sistema de inyección directa al usarse gasolina extra y el sistema que menores emisiones genera es el sistema de inyección multipunto, con gasolina super, que en el Ecuador tiene 92 octanos.

Palabras clave: Inyección directa, Inyección multipunto, Análisis de gases, Downsize, INEN NTE 2203:2000

Abstract:

Vehicle technology has improved in search of reducing fuel consumption, increasing efficiency in internal combustion engines, in addition, a decrease in engine displacement has been generated. The present investigation is quasi-experimental in the field, whose objective was to analyze the pollution levels generated by vehicles of the same displacement, but with different fuel supply systems, the polluting gas tests that were carried out were based on the INEN NTE 2203 standard. :2013, in charge of determining the parameters to follow to carry out static pollution measurements in a gasoline engine. The emissions generated in the multipoint injection fuel system in terms of uncombusted hydrocarbon particles are significantly

¹ Instituto Superior Universitario Central Tecnico, Magister en Ecoeficiencia Industrial Mención en Eficiencia Energética, <https://orcid.org/0000-0003-2394-0815>

lower than those that occur in the direct injection system, with the use of any type of gasoline, the amount of particles per million non-combustible hydrocarbons, presenting a difference of 29.25 ppm in the GDI system, compared to 0.75 in the multipoint system. Determining that the power system that generates the highest emissions is the direct injection system when using extra gasoline and the system that generates the lowest emissions is the multipoint injection system, with super gasoline, which in Ecuador has 92 octane.

Keywords: Direct injection, Multipoint injection, Gas analysis, Downsize, INEN NTE 2203:2000

Introducción

El sistema de inyección de gasolina es el que permite controlar las emisiones contaminantes, además de propiciar una relación estequiométrica más estable que genera mayor potencia y torque en los vehículos; a nivel mundial el porcentaje de emisiones que un vehículo debe generar cada vez es menor, debido a las restricciones de gases contaminantes que son más estrictas.

Estudios realizados en universidades ecuatorianas develan que el cambio de un sistema de alimentación por carburador a uno de inyección reprogramable es capaz de mejorar el consumo de combustible en un 60,4% y las emisiones generadas se reducen a un 45% (Casanova Kindelán et al., 2018), también se debe notar que la presencia de un parque automotor que va en aumento ha contribuido a la generación de emisiones contaminantes, esto debido a que para el 2021, se registra un número de vehículos matriculados de 2.535.853 unidades, lo cual, determina que por cada 7,1 habitantes se tiene un vehículo matriculado de manera regular (Censos, 2023), esta cantidad de automotores han generado inconvenientes principalmente en las ciudades produciendo una gran polución y aglomeraciones.

Sumado a lo anterior, se observa que el costo del combustible en relación al nivel de vida del país, lo que conlleva a la búsqueda de optimizar el consumo de gasolina. Si bien en Ecuador no existe una regulación del subsidio acorde al contexto nacional sobre las gasolinas extra y ecopais que son las más utilizadas por el transporte público y privado, también, el nivel de octanaje no cumple con las normativas mínimas que exigen los fabricantes, no obstante, en el afán de cumplir las normativas estrictas principalmente en temas energéticos, los fabricantes han perfeccionado el sistema de inyección directa de gasolina, que en base a lo estipulado en los ciclos termodinámicos del motor pudo identificarse que mientras más cercano se encuentre la distribución del combustible en un motor de encendido provocado, más eficiente será esta máquina térmica (Taípe-Defaz et al., 2021).

Es importante destacar, que el sistema de alimentación del motor a gasolina es el encargado de dosificar estequiométricamente la mezcla aire gasolina, siendo la relación ideal 14,7 partes de aire por una de combustible, partiendo de este concepto se ha generado un sistema de alimentación comandado electrónicamente, donde la gasolina se inyecta dentro del cilindro del motor, tal como en los vehículos de ciclo Diesel, este sistema se denomina de inyección directa o con sus siglas (GDI) y ha permitido generar mejores prestaciones en cuanto al desempeño del motor a gasolina (Milla et al., 2019), en comparación con los sistemas de alimentación mono punto y multipunto que siguen presentes en los vehículos comercializados a nivel nacional. Además, la rigurosidad de las normativas de contaminación principalmente de la unión europea, apreciadas en la figura 1 han forzado a la industria a acoplarse a las mismas, siendo cada vez más complicado que un motor de combustión interna logre una reducción necesaria para su homologación y posterior comercialización, basados a los parámetros contaminantes observados (*La Comisión propone nuevas normas Euro 7, 2022*).

La importancia de adaptarse a la tecnología europea radica en que gracias al acuerdo de comercial de Ecuador con la unión Europea, firmado el 11 de noviembre de 2016, ha permitido reducir de forma gradual el costo de los vehículos de esa procedencia, es decir que cumplen con la normativa de emisiones exigida en el bloque Europeo, por lo que la comercialización de automotores fabricados en Europa tuvo un aumento en el año 2021 en el Ecuador, se preveía una comercialización de alrededor de 8500 unidades («Aranceles de vehículos de la Unión Europea se redujeron en o eliminan en 2022», 2022), pese a la guerra que se lleva a cabo, problemas de logística, de semiconductores y la elevada inflación que se atraviesa nivel mundial, todo ello, ha generado que los vehículos de procedencia europea están ganando espacio en el Ecuador.

Figura 1

Valores por norma de las emisiones de gases contaminantes para vehículos turismo

Límites de emisiones establecidos por cada norma Euro para los turismos							
Norma	Entrada en vigor	CO (g/km)	HCT (g/km)	NMHC	HCT+NOx (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)
Motor diésel							
Euro 1**	01/07/92	2,72 (3,16)	----	----	0,97 (1,13)	----	0,14 (0,18)
Euro 2, IDI	01/01/96	1,0	----	----	0,7	----	0,08
Euro 2, DI	01/01/1996 ^a	1,0	----	----	0,9	----	0,10
Euro 3	01/01/00	0,64	----	----	0,56	0,50	0,05
Euro 4	01/01/05	0,50	----	----	0,30	0,25	0,025
Euro 5	01/09/09	0,50	----	----	0,23	0,18	0,005 ^c
Euro 6	01/09/14	0,50	----	----	0,17	0,08	0,005 ^c
Motor gasolina							
Euro 1**	01/04/92	2,72 (3,16)	----	----	0,97 (1,13)	----	----
Euro 2	01/01/96	2,2	----	----	0,5	----	----
Euro 3	01/01/00	2,30	0,20	----	----	0,15	----
Euro 4	01/01/05	1,0	0,10	----	----	0,08	----
Euro 5	01/09/09	1,0	0,10	0,068	----	0,06	0,005 ^{b,c}
Euro 6	01/09/14	1,0	0,10	0,068	----	0,06	0,005 ^{b,c}

■ CO: masa de monóxido de carbono; HCT: masa total de hidrocarburos; NOx: masa de óxidos de nitrógeno; PM: masa de partículas, NMHC: masa de hidrocarburos no metanos.
 IDI: inyección indirecta, DI: inyección directa.

Nota. Límites de emisiones de gases contaminantes descritos por año, tipo de motor, las mediciones se presentan en porcentajes y en partes por millón, dependiendo del tipo de gas. Autocrash, (2019).

El sistema de inyección directa permite que para una misma cilindrada los valores de torque y potencia en un motor a gasolina sean mayores, tal como se aprecia en la tabla 1, cabe destacar que en la prueba el vehículo con sistema de alimentación directa, contaba con un sistema de turbo alimentación (Beltrán Ruiz, 2020), es decir que el aire por acción de este sistema es forzado a ingresar en el cilindro del motor, resultando un mejor llenado, razón por la cual, la cantidad de combustible inyectada puede incrementarse y la combustión será más eficiente, generando mejores prestaciones en el motor.

Tabla 1

Características técnicas de los vehículos

	Modelo	
Motor	Gamma 1.6 TCi-GDi	Gamma 1.6 CVVT-Dual
Cilindros	4 en línea	4 en línea
Aspiración	Turbo alimentado	Atmosférica
Válvulas	16 DOHC	16 DOHC
Distribución	Cadena	Cadena
Potencia	Potencia 204 HP / 6000 RPM	Potencia 122 HP / 6400 RPM
Par motor	Torque 265 Nm / 4500 RPM	Torque 151 Nm / 4850 RPM
Tracción	Delantera	Delantera
Consumo	53 km/Gal Gasolina Extra / Súper	58 km/Gal Gasolina Extra / Súper
Transmisión	Automática doble embrague (DCT), 7 velocidades más reversa	Manual, 6 velocidades más reversa
Tipo	Automóvil	SUV

Nota. La presente tabla proporciona información detallada de las características que posee cada vehículo a ser tomado en cuenta para la prueba. Autor

Metodología

La investigación desarrollada es de campo cuasiexperimental. Los materiales usados para poder llevar a cabo la fase de experimentación corresponden a un cánister para limpieza de inyectores, mismo que permite aislar el combustible presente en el sistema de alimentación del motor, para de esta manera poder realizar las mediciones precisas usando los tipos de gasolina seleccionados (Super, Extra y Ecopaís). También se empleó un analizador de gases de la marca BrianBEE, el modelo fue el AGS – 688, equipo que se encuentra homologado para realizar los análisis requeridos en la revisión técnica vehicular en Ecuador («Analizador de Gases Brain Bee - Modelo AGS-688», 2023).

Para contrastar los valores de referencia permitidos con los de cada gas obtenidos en la medición, se empleó la escala de rangos según la normativa EURO 3 y EURO 4 («Normas Euro, eficiencia motriz sustentable», 2022), tal como se observa en la tabla 2.

Tabla 2

Valores permitidos en gases contaminantes en la revisión técnica vehicular

REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR					
VEHÍCULOS A GASOLINA					
AÑO	HC EN PPM	CO EN %	O₂ EN %	TIPO DE FALLA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	0 <= X < 160	0 <=X < 0.6	0 <=X <3	0	APROBADO SIN FALLAS
	160 <= X < 180	0.6 <= X <0.8	3 <0 X < 4	1	APROBADO CON FALTA
	180 <= X < 200	0.8 <= X < 1	4 <= X < 5	2	APROBADO CON FALTA
	X >= 200	X >= 1	X >= 5	3	RECHAZADO

Nota. Niveles de emisiones de gases para vehículos que utilizan gasolina como combustible. INEN-NTE 2203:2013

El procedimiento para efectuar esta prueba fue de manera estática, cumpliendo con lo requerido en la normativa INEN NTE 2203:2013 (*NTE INEN 2203, 2000*), la cual, determina la realización de dos mediciones, la primera con el motor en ralentí, la segunda con el motor a 2500 RPM, y que en ambos casos el sistema de escape del vehículo no debe tener ninguna modificación al diseño original del fabricante, cabe mencionar que si existiese dos o más salidas de escape funcionales se deberá medir en cada una de ellas la cantidad de contaminantes generados, realizando un promedio de los valores obtenidos y así determinar el valor final, correspondiendo este procedimiento al método experimental de la presente investigación.

Los vehículos usados para esta prueba fueron un Hyundai Venue (también conocido como Hyundai Creta en su nueva versión), mismo que corresponde al sistema de alimentación multipunto, y un Hyundai Veloster correspondiente al sistema de alimentación de inyección directa a gasolina, siendo ambos vehículos nuevos, sometidos al análisis de gases, sin embargo, no se contó con ninguna recomendación de rodaje dada por el fabricante en cuanto a revoluciones del motor o algún tipo de cuidado para poder limitar la medición de gases (*User manual Hyundai Veloster (2020) (English - 480 pages), 2020*).

Para poder extrapolar los resultados obtenidos en esta investigación sobre la contaminación generada por los sistemas de alimentación directa e indirecta a gasolina se aplica un método descriptivo, considerando que la normativa de fabricación y calidad actual exige que se tenga formas similares en la producción de los elementos que componen el sistema de alimentación de los vehículos, por lo que realizando un número calculado de experimentos se puede determinar la validez de los datos obtenidos y como estos pueden aplicarse para sistemas de alimentación de diversas marcas de vehículos, tal como se aprecia en la ecuación 01 para el cálculo de repeticiones por tratamiento que se realizarán en el experimento y cerciorarse de que los valores que se obtengan no generen ningún tipo de sesgo en la información y garantizar la trazabilidad y repetitividad del experimento (Loetz Urquiolo & Flores, 1999).

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

n= Cantidad de experimentos a realizarse

n´= Cantidad de análisis preliminares

x= Valor de las observaciones

40= Constante, que genera una confianza del 95% y un error= 10%

Es importante entender la manera en que trabaja el sistema de inyección directa, la complejidad que emplea el sistema difiere de la forma en que trabaja el sistema de inyección multipunto, esto debido a los parámetros que se tienen en el momento de la inyección de combustible, mismos que varían la relación estequiométrica óptima que es de 14.7 partes de aire por una de combustible, además, esta medida se ajusta dependiendo de las revoluciones a las que se encuentre el motor y de la información de temperatura en el sistema de escape, lugar donde se ubica el catalizador, elemento importante que mediante reacciones químicas disminuyen la cantidad de emisiones contaminantes emitidas al medio ambiente, razón por la cual se recomienda una temperatura de entre 250°C y 500°C para que sirva de filtro y así evitar la salida de óxidos nítricos y monóxidos de carbono, es decir que la tecnología que emplea el sistema de alimentación de inyección directa es mucho más compleja que la empleada por el sistema de inyección indirecta, pudiendo ser esta, una de las razones por las que en el experimento que se llevó a cabo el porcentaje de contaminantes que se midieran fueran más altos en el sistema GDI.

Resultados

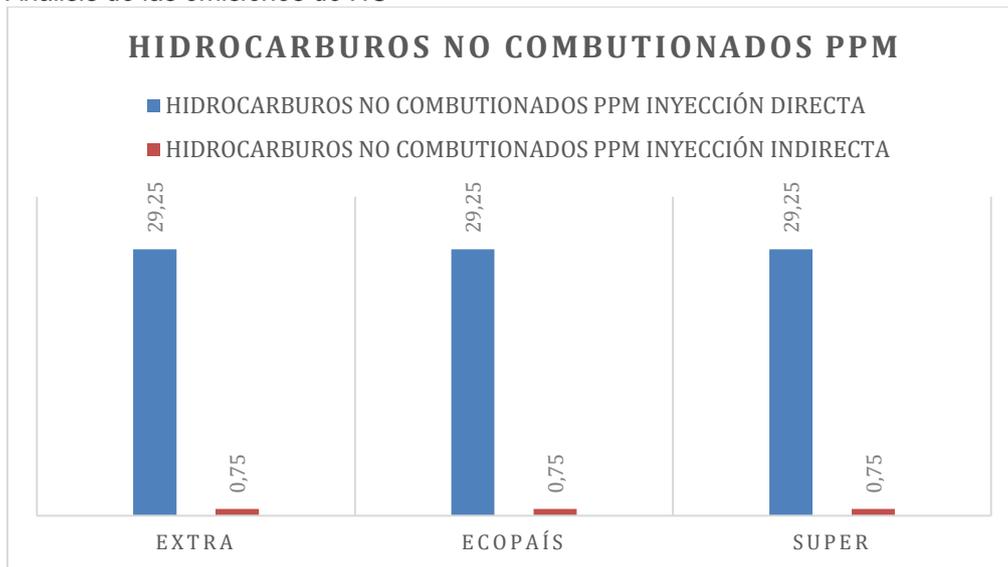
El análisis de los contaminantes emitidos en las pruebas estáticas, siguiendo los parámetros explicados en la norma INEN NTE 2203:2000, y revisando las actualizaciones de la norma INEN NTE 2203:2013, se determinó que el sistema de inyección multipunto generó menores emisiones contaminantes frente al sistema de inyección directa a gasolina, tal como se aprecia en las figuras 2, 3, 4 y 5, donde se realiza el contraste de los diferentes agentes contaminantes generados en un motor de combustión interna de gasolina. El empleo de un cánister permitió la limpieza de los inyectores y el poder aislar el combustible que se utilizaba y se lo presurizó según las indicaciones de presión que debe tener el sistema de alimentación dadas por el fabricante, sin embargo, en el caso del sistema de alimentación GDI, la conexión se realizó previo a la bomba de alta presión.

Análisis de hidrocarburos no combustionados

Las emisiones generadas en el sistema de alimentación con inyección multipunto en lo referente a partículas de hidrocarburos no combustionados, son significativamente menores a las que se presentan en el sistema de inyección directa, con el uso de cualquier tipo de gasolina, tal como se muestra en la figura 2 la cantidad en partículas por millón de hidrocarburos no combustionados, presentando una diferencia de 29,25 ppm en el sistema GDI, frente a los 0,75 del sistema multipunto.

Figura 2

Análisis de las emisiones de HC



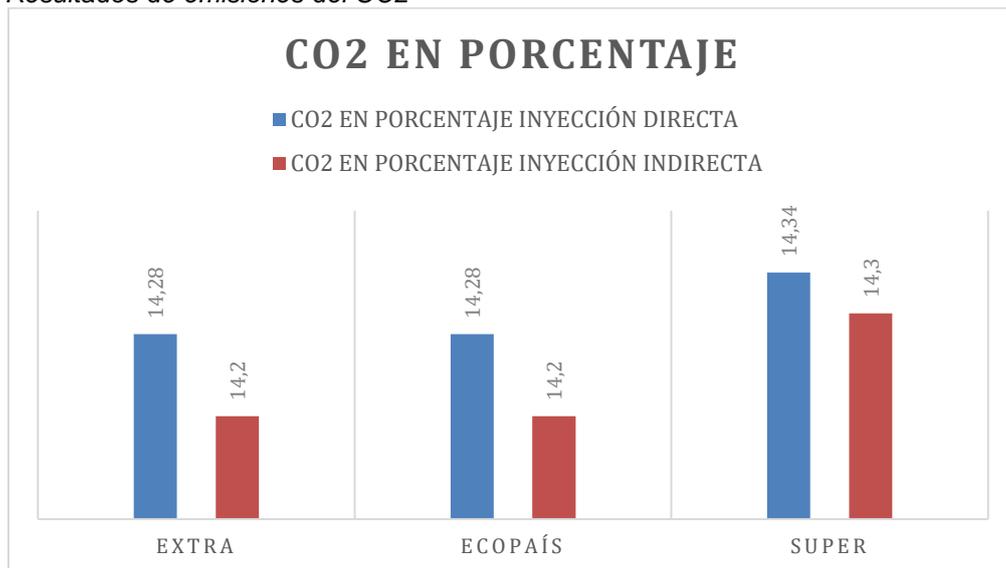
Nota. Se realizaron 3 pruebas para comparar los resultados de la emisión de HC, las cuales fueron medidas en partes por millon debido a la presencia reducida del gas en el ambiente.

Análisis de Dióxido de carbono

La cantidad de dióxido de carbono medida con el analizador de gases usado en el experimento tiene una tendencia más baja en el sistema de alimentación GDI frente al sistema de alimentación multipunto, tal como se aprecia en la figura 3, siendo éste el único contaminante del que se encontró un menor valor en su emisión en el sistema GDI.

Figura 3

Resultados de emisiones del CO2



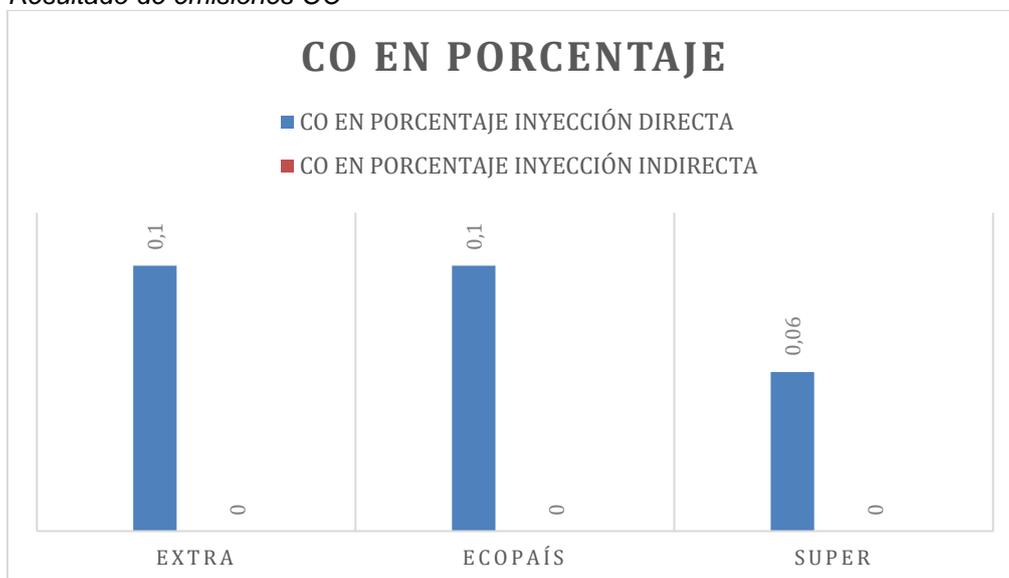
Nota. Se realizaron 3 pruebas para comparar los resultados de la emisión de CO₂, las cuales fueron medidas en porcentajes

Análisis de monóxido de carbono

En el caso del porcentaje de monóxido de carbono CO se puede determinar que este gas contaminante no se presenta luego de la combustión que se genera en el sistema GDI, tal como se aprecia en la figura 4, es decir que este subproducto de la combustión incompleta gracias a la tecnología del sistema de inyección directo desaparece.

Figura 4

Resultado de emisiones CO



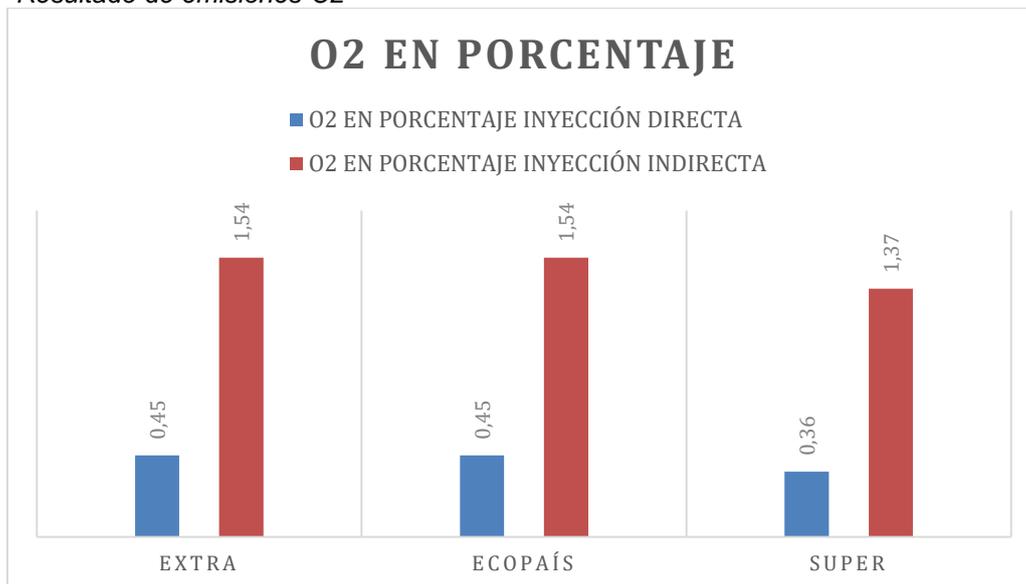
Nota. Se realizaron 3 pruebas para comparar los resultados de la emisión de CO, pero no presentaron un valor significativo en el sistema GDI

Análisis de oxígeno en la combustión

El O₂ es el único valor en el que el sistema de inyección multipunto es superior al sistema de inyección directa, tal como se aprecia en la figura 5, debiéndose a la forma de inyección que se tiene en el sistema directo y las estratificaciones con las que el combustible es introducido en la cámara de combustión, se aprecia que existe mayor porcentaje de oxígeno en los resultados de la combustión al emplearse el sistema GDI en la alimentación del motor.

Figura 5

Resultado de emisiones O₂



Nota. Se realizaron 3 pruebas para comparar los resultados de la emisión de O₂, donde la presencia de este es más elevada en el sistema de inyección multipunto

Discusión y Conclusiones

Según los análisis realizados los motores de combustión interna que usan un sistema de alimentación de tecnología directa, se puede apreciar que el rendimiento es mejorado mediante la aplicación de relaciones de compresión más elevadas, además de que en la forma de inyección que se realiza en el cilindro se siguen métodos que varían la relación estequiométrica enormemente, según las condiciones de aceleración y temperatura del motor (Collaguazo Tacuri, 2013), adicional a que al tratarse de motores que son de una elevada relación de compresión, requieren de una gasolina con un alto valor de octanaje que logre soportar sin producir detonaciones la compresión del motor.

En el Ecuador, el combustible más usado en el año 2022 fue la gasolina *Ecopaís*, seguida de la *Extra*, teniendo las dos un octanaje con un valor de 85 octanos («El consumo de gasolina Súper se redujo 16% en abril», 2022). Pese a que, la recomendación de los fabricantes automotrices es usar combustibles de al menos 95

octanos, tomando en cuenta el índice ron, debiendo considerarse que en condiciones reales el índice puede bajar hasta 10 puntos, fenómeno denominado como índice MON, que mide el rendimiento del octanaje del combustible en situaciones de aceleración variable, para un funcionamiento correcto y prolongado de los motores equipados con el sistema GDI, lo deseable sería el uso de combustibles con elevado octanaje.

En las pruebas realizadas se pudo determinar que sin importar el sistema de alimentación la gasolina *super* genera menores concentraciones de subproductos contaminantes, pese a que en el Ecuador se corrige el problema del octanaje con soportes de programación en el ECM del vehículo, reduciendo el adelanto del encendido en caso de detonación, mermándose así las detonaciones generadas, por lo que se puede apreciar que en el porcentaje de monóxido de carbono es el único subproducto que tiene un valor menor de emisiones frente a los demás contaminantes del motor, entendiéndose también que la tecnología de alimentación de inyección directa debería adaptar en su sistema catalítico a las condiciones del combustible ecuatoriano y en algunos casos a la altura y tipo de manejo en Ecuador (Marckwordt Aguilar, 2017).

Con base a los análisis de gases realizados mediante prueba estática el sistema GDI, pudo determinar que no tiene una disminución frente a los agentes contaminantes tomados en cuenta durante el proceso, y eso puede deberse a que se emplea una carga estratificada, queriendo decirse que la relación estequiométrica puede ser de 1,6 a 3 (Collaguazo Tacuri, 2013), siendo una de las razones por la que incluso a 2500 rpm no se encuentra una variación significativa en la cantidad de emisiones contaminantes, siendo la única excepción la del porcentaje de CO, por lo que se determinó que el sistema catalizador no está adaptado a las condiciones de altura y tipo de combustible, propias del Ecuador, frente a la calidad del combustible que se emplea para poder movilizar el vehículo.

Al analizar las gráficas se pudo determinar que a mayor sea el octanaje del combustible menores emisiones pueden generarse (Darquea, 2018), además se determinó que al tener relaciones de compresión elevadas y no usarse un combustible con elevado número de octanos se afecta el índice de elementos contaminantes en el motor y se puede tener una menor vida útil del mismo, provocando desgastes prematuros en elementos que tienen una tolerancia muy pequeña y que trabajan con presiones elevadas, como es el sistema encargado de la inyección directa del combustible dentro del cilindro del motor (Casanova Kindelán et al., 2018).

Asimismo, se pudo apreciar de que en cuanto a emisiones contaminantes la gasolina *Ecopaís* empleada en el experimento, tiene un 5% de etanol y produce menores emisiones, siendo esta una posible solución en la mejora del índice de octanaje que emplean las gasolinas en el Ecuador (Quezada Vélez, 2022), lo que podría ser una estrategia para poder generar recursos al agro ecuatoriano, pues este combustible puede generarse a partir de biomasa, entendiéndose que mucho fabricantes automotrices han diseñado actualmente los motores para que usen combustibles con hasta un 10% de contenido de etanol, sin necesidad de ningún tipo de afectación en sus sistemas y sin repercusiones negativas en los diferentes análisis

de gases que pueden efectuarse para poder cumplir con la legislación ecuatoriana, previo a la matriculación de un automotor.

El sistema de alimentación de inyección indirecta necesitaría de ajustes para poder cumplir su cometido de menores emisiones contaminantes, tomando en cuenta la realidad ecuatoriana en la calidad de combustibles empleados, a lo que esta investigación podría complementarse con un análisis de consumo de combustible y un determinado ciclo de manejo en un dinamómetro automotriz.

Referencias

- Analizador de Gases Brain Bee—Modelo AGS-688. (2023). *Globaltech Ecuador*.
<https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>
- Aranceles de vehículos de la Unión Europea se reducen o eliminan en (2022)
- Beltrán Ruiz, J. A. (2020). Evaluación de la contaminación producida por un vehículo con sistema de inyección MPFI y GDI, mediante pruebas estáticas.
<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4218>
- Casanova Kindelán, J., Fonseca González, N. E., & Agudo Fernández, D. (2018). Análisis de la combustión híbrida de metano y butanol en un motor de combustión interna. *Actas del XXII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA CNIM 2018 | XXII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica CNIM 2018 | 19 a 21 de septiembre de 2018 | Madrid. España, 706-716*.
<https://oa.upm.es/53667/>
- Censos, I. N. de E. y. (2023). Transporte. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>
- Collaguazo Tacuri, H. P. (2013). Análisis del sistema de inyección directa de gasolina en motores Fsi de Volkswagen [BachelorThesis, Universidad del Azuay].
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3273>
- Lee, Jongtae ; Kim, Kijoon ; Kim, Jeong-soo ; Jang, Jihwan ; Parque, Sungwook.(2014). Comparisons of the Particle Emission Characteristics Between GDI and MPI Vehicles -*Journal of ILASS-Korea | Korea Science*. (19)4, 182-187.
<https://doi.org/10.15435/JILASSKR.2014.19.4.182>
- Darquea, D. G. P. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 3(3), Article 3.
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>
- El consumo de gasolina Súper se redujo 16% en abril. (2022, julio 1). *Primicias*.
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/consumo-gasolina-super-cae-abril-ecuador/>
- Kim, J. Y., Kang, K., Kang, J., Koo, J., Kim, D.-H., Kim, B. J., Kim, W.-J., Kim, E.-G., Kim, J. G., Kim, J.-M., Kim, J.-T., Kim, C., Nah, H.-W., Park, K.-Y., Park, M.-S., Park, J.-M., Park, J.-H., Park, T. H., Park, H.-K., ... Bae, H.-J. (2019). Executive Summary of Stroke Statistics in Korea 2018: A Report from the Epidemiology Research Council of the Korean Stroke Society. *Journal of Stroke*, 21(1), 42-59. <https://doi.org/10.5853/jos.2018.03125>
- La Comisión propone nuevas normas Euro 7. (2022, noviembre 10). [Text]. European Commission - European Commission.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_22_6495

- Loetz Urquiolo, E., & Flores, A. (1999). Número de repeticiones por tratamiento para la implementación del modelo anova de efectos fijos: Evaluación computarizada. *Cuad. Hosp. Clín*, 18-23.
- Marckwordt Aguilar, J. C. (2017). *Estudio comparativo de emisiones de CO2 y rendimiento de combustible entre los motores de inyección directa e indirecta ciclo Otto* [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Milla, J. C. L., Ortega, S. F. C., Cedeño, E. A. L., & Hoyos, J. C. R. (2019). Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(30), 46-56.
- Normas Euro, eficiencia motriz sustentable. (2022, enero 20). *Primicias*. https://www.primicias.ec/nota_comercial/autos/garage/talleres/normas-euro-eficiencia-motriz-sustentable/
- NTE INEN 2203: Gestión ambiental. Aire. Vehículos. (2000, julio 7). studylib.es. <https://studylib.es/doc/4597016/nte-inen-2203--gestión-ambiental.-aire.-vehículos>
- Pfau, S. A., Haffner-Staton, E., La Rocca, A., & Cairns, A. (2022). Investigating the Effect of Volatiles on Sub-23 nm Particle Number Measurements for a Downsized GDI Engine with a Catalytic Stripper and Digital Filtering. *Fuels*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/fuels3040041>
- Quezada Vélez, S. F. (2022). *Evaluación de emisiones contaminantes de un motor de encendido provocado utilizando mezcla gasolina-etanol mediante el protocolo im-240*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4826>
- Taipe-Defaz, V. A., Llanes-Cedeño, E. A., Morales-Bayetero, C. F., Checa-Ramírez, A. E., Taipei-Defaz, V. A., Llanes-Cedeño, E. A., Morales-Bayetero, C. F., & Checa-Ramírez, A. E. (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 26, 17-29. <https://doi.org/10.17163/ings.n26.2021.02>
- User manual Hyundai Veloster (2020) (English—480 pages). (2020). <https://www.manua.ls/hyundai/veloster-2020/manual>

Metodología de variables continuas para la estimación de espesores de arena neta en yacimientos arcillosos

Continuous variables methodology to estimate net sand thickness in shaly sands

Franklyn Javier Angel Saéz¹

Resumen:

La presente investigación tuvo como objetivo el diseño de un algoritmo para la estimación de espesores de Arena Neta (AN) y Arena Neta Petrolífera (ANP) en arenas arcillosas, tomando en cuenta la heterogeneidad tanto lateral como vertical de la formación, mediante el uso de relaciones entre propiedades petrofísicas básicas, en sustitución de parámetros de corte constantes, cuyos métodos de determinación tienden a ser subjetivos. La definición del Índice de Propiedades Petrofísicas Básicas (IPPB) e Índice de Arena Neta (IAN) permitió establecer una relación directa entre Porosidad Efectiva (PIGN), Porosidad Total (PHIT) y Volumen de Arcilla (VSH) con los valores de Net To Gross (NTG). Además, la determinación de una Saturación de Agua de Corte (SW_{CORTE}) en función de PHIT y PIGN resultó en la definición de un Índice de Arena Neta Petrolífera (IANP) capaz de estimar el Net To Oil Gross (NTOG). La metodología IAN-IANP se probó utilizando datos de producción y también se comparó exitosamente con otras metodologías tradicionales de parámetros de corte, tales como: 1) Gráficos cruzados de propiedades (PXP) y 2) Sensibilidad de la Columna de Hidrocarburos a los Parámetros de Corte (SCH). Los nuevos métodos cotejaron correctamente con los intervalos de producción en 97% para los espesores de AN y 75% para los espesores de ANP. Finalmente, la ecuación directa propuesta en este trabajo para una SW_{CORTE} arrojó resultados similares al de los métodos constantes como el PXP y el valor de SW en el punto de Irrupción de Agua en una Curva de Flujo Fraccional.

Palabras clave: Arena neta, arena neta petrolífera, parámetros de corte, propiedades petrofísicas básicas, saturación de agua de corte.

Abstract:

We present a methodology to estimate Net Reservoir Thickness (NRT) and Net Pay Thickness (NPT) in shaly sands, taking into account the formation heterogeneity, both lateral and vertical, by use of basic petrophysical properties relationships, thus substituting constant cutoff parameters whose determination methods tend to be very subjective. The definition of a Basic Petrophysical Properties Index (BPPI) and a Net

¹ Ecopetro Bogota, Magister Geofísico de Yacimientos, <https://orcid.org/0009-0000-9118-7373>
franklynangel@hotmail.com



Reservoir Index (NRI) allowed us establish a direct relation between Effective Porosity (PIGN), Total Porosity (PHIT) and Shale Volume (VSH) within Net To Gross (NTG) values. Moreover, the determination of a Cutoff Water Saturation (SW_{CUTOFF}) as a function of PHIT and PIGN resulted in the definition of a Net Pay Index (NPI) as a criterion to estimate Net To Oil Gross (NTOG). The NRI–NPI methodology was proven by using production data and was also successfully compared to other traditional cutoff parameters methodologies, such as: 1) Properties Crossplots (PXP) and 2) Hydrocarbon Column Sensitivity to Cutoff Parameters (HCS). Cross checking with real data, the new methods correctly match with production intervals in 97% of the cases for NRT and 75% for NPT. Finally, the straight forward equation proposed in this work for a variable SW_{CUTOFF} yielded to very similar values to those expected from the PXP method and the SW value at Breakthrough condition on a Fractional Flow curve.

Keywords: Basic petrophysical properties, cutoff parameters, cutoff water saturation, net pay, net reservoir.

Introducción

Los parámetros de corte son de fundamental importancia en el establecimiento del modelo petrofísico y en la elaboración de mapas isópacos y de isopropiedades, tradicionalmente son fijados como valores constantes para el espesor total de la unidad productora e igualmente constantes para todos los pozos o extensión areal del campo (Castro y Mederos, 2016).

Los métodos convencionales por medio de los cuales se establecen estos constantes parámetros de corte (Porosidad, Volumen de arcilla, Permeabilidad o Saturación de agua de corte) se basan en interpretaciones visuales de gráficos cruzados de propiedades básicas (Método PXP) y sus correspondientes estadísticas relacionadas con los datos de producción; o interpretaciones de gráficos de Sensibilidad de la Columna de Hidrocarburos a las distintas propiedades que se desean establecer como parámetros de corte (Método SCH) (FAO, s/f). Estas interpretaciones generalmente están sujetas a la experiencia del intérprete en el área en estudio, a conveniencias desde el punto de vista de datos de producción y a subjetividades visuales de los gráficos desde el punto de vista del intérprete mismo.

Adicionalmente, la determinación de parámetros de corte constantes para cada propiedad independiente enfrenta el problema de que una mínima diferencia en la estimación de alguno de estos parámetros en particular podría significar una sistemática diferencia entre un NTG igual a 1 o a 0, que en el caso de que tal error de estimación sea muy frecuente, alteraría el conteo de espesores de AN, ANP y por ende el cálculo de reservas (Moret-Fernández y Latorre, 2021).

El objetivo del presente trabajo fue diseñar un algoritmo para la estimación de espesores de Arena Neta (AN) y Arena Neta Petrolífera (ANP). Se muestra en este trabajo una metodología sencilla que utiliza las propiedades básicas de una interpretación de registros convencional para lograr una rápida y acertada definición de espesores de AN y ANP, respetando la variabilidad de tales propiedades tanto vertical como lateralmente, lo cual es característica fundamental de la heterogeneidad asociada a la presencia de arcillas dispersas en yacimientos compuestos por arenas arcillosas.

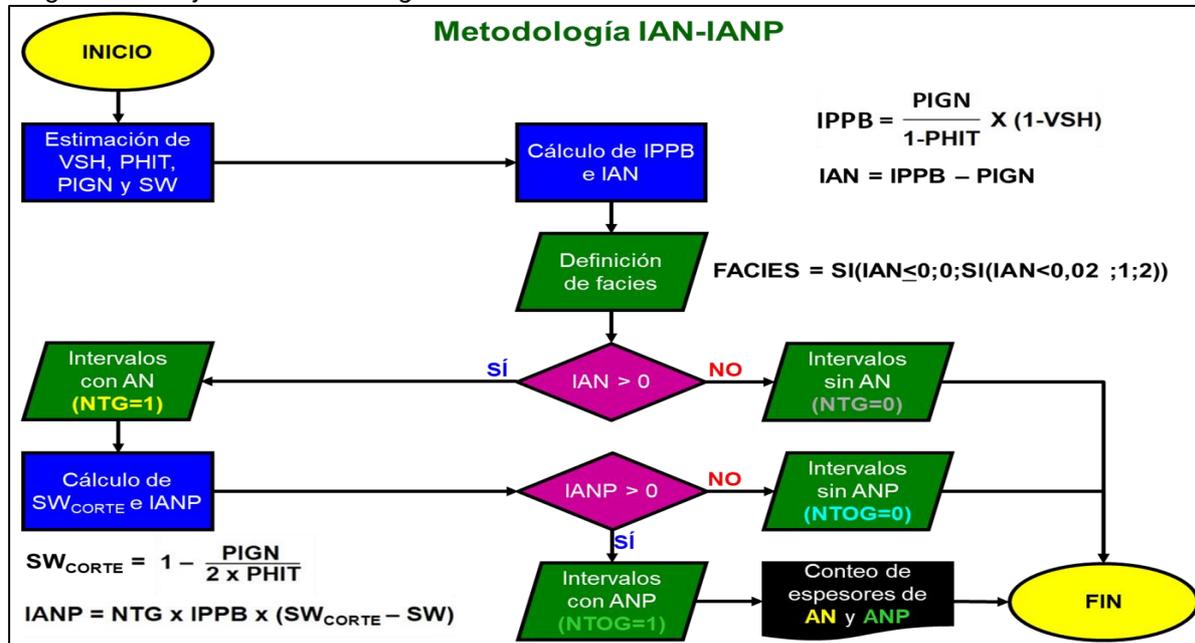
Metodología

La investigación tuvo una metodología empírica de enfoque cuantitativo que utiliza las propiedades básicas de una interpretación de registros convencional para lograr una rápida y acertada definición de espesores de AN y ANP, respetando la variabilidad de tales propiedades tanto vertical como lateralmente, lo cual, es característica fundamental de la heterogeneidad asociada a la presencia de arcillas dispersas en yacimientos compuestos por arenas arcillosas.

A continuación, en la Figura 1 se exhibe el diagrama de flujo correspondiente a los pasos de la metodología del algoritmo.

Figura 1

Diagrama de flujo de la Metodología IAN-IANP



Definición del IPPB y el IAN

Las litofacies de las formaciones meramente siliciclásticas, pueden ser muy fáciles de predecir a partir de un simple registro de rayos gamma. Sin embargo, el alto grado de heterogeneidad en formaciones arcillosas, en función del volumen y tipo de arcilla presente, hicieron necesaria la integración de diferentes registros que permitieran reconocer al menos 3 electrofacies principales, tales como: arenas limpias, arenas arcillosas y arcillas. Esta integración de registros de pozos se logró a través de la estimación de un parámetro llamado IPPB (Índice de Propiedades Petrofísicas Básicas), definido en este trabajo en la Ecuación 1. Las 3 curvas utilizadas para la estimación del IPPB (VSH, PHIT y PIGN) fueron calculadas como resultado de una interpretación convencional de registros de pozos llevada a cabo para la mayoría de los pozos del área de estudio.

$$IPPB = \frac{PIGN}{1 - PHIT} \times (1 - VSH) \quad (1)$$

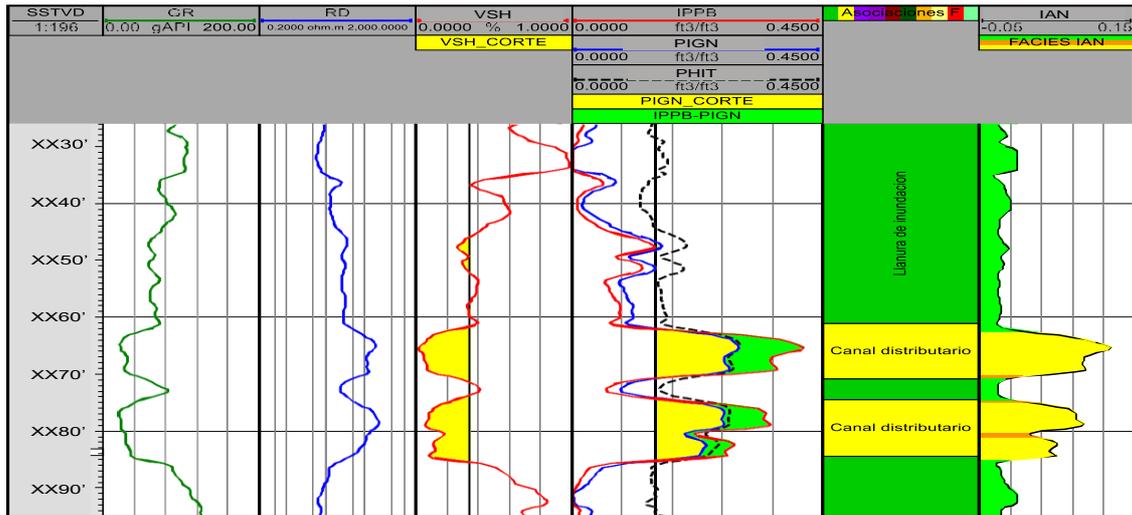
El primer factor de la Ecuación 1: $PIGN/(1 - PHIT)$ sería una clase de porosidad normalizada que representa la relación entre el volumen de fluidos en el espacio intergranular y el volumen de roca sólida (Matriz + Arcilla seca). El segundo factor de la Ecuación 1: $(1 - VSH)$ sería un multiplicador que hace que el valor de IPPB incremente con la disminución del VSH, y representa la adición volumétrica de fluidos intergranulares y granos de arena.

Al desplegar los valores del IPPB en un template de registros de pozos (ver Figura 2), donde las litofacies descritas en núcleos están en la segunda pista de derecha a izquierda, observamos en la tercera pista de derecha a izquierda que los intervalos donde el IPPB (curva roja) es mayor a PIGN (curva azul) corresponde a Arena Neta (relleno verde), mientras que

aquellos intervalos donde el IPPB es menor a PIGN corresponde a Roca No-Yacimiento (sin relleno).

Figura 2

Interpretación convencional del Pozo B. En rojo (tercera pista de derecha a izquierda) vemos la curva de IPPB



Según las observaciones de la Figura 2, la relación entre el IPPB y la PIGN puede ayudar a determinar los espesores de AN o el NTG, ya que la ocurrencia de AN o NTG igual a 1, se define por la condición mostrada en la Ecuación 2.

$$\text{IPPB} > \text{PIGN} \quad (2)$$

Sustituyendo la Ecuación 1 en la Ecuación 2, y definiendo un nuevo parámetro, llamado en este trabajo Índice de Arena Neta (IAN), obtenemos la Ecuación 3.

$$\text{IAN} = \frac{\text{PIGN}}{1-\text{PHIT}} \times (1-\text{VSH}) - \text{PHIE} \quad (3)$$

Simplificando la Ecuación 3, la definición del IAN resultaría en la expresión de la Ecuación 4.

$$\text{IAN} = \frac{\text{PHIT}-\text{VSH}}{1-\text{PHIT}} \times \text{PIGN} \quad (4)$$

Estimación de NTG a partir del IPPB y el IAN

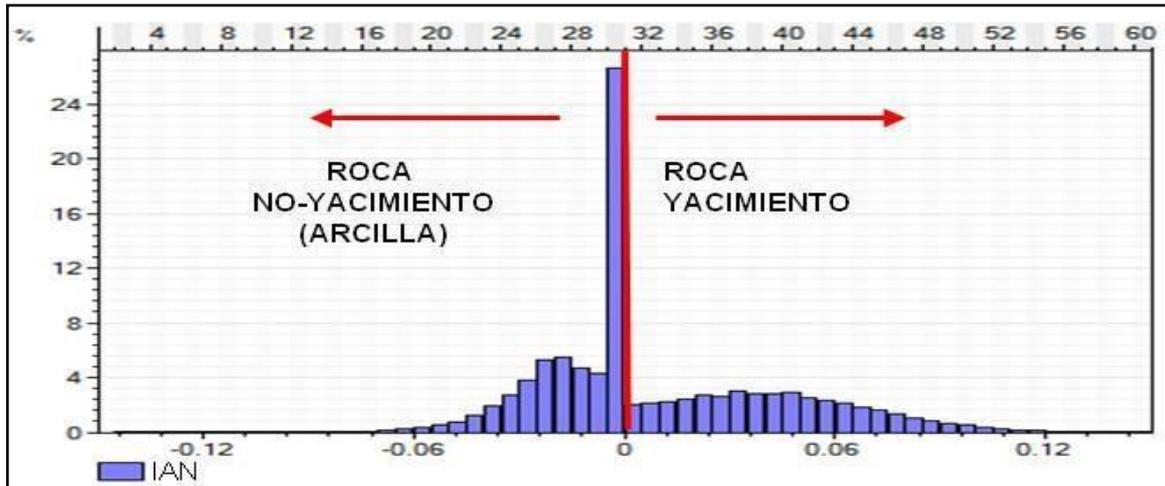
Cuando IAN tenga un valor positivo ($\text{IPPB}-\text{PIGN}>0$) definiríamos un $\text{NTG}=1$ (ocurrencia de un intervalo de AN) y cuando IAN sea negativo definiríamos un $\text{NTG}=0$ (ausencia de AN) (ver Figura 3). A partir de la Ecuación 4 deducimos que el cambio de signo del parámetro IAN dependerá exclusivamente del signo de $(\text{PHIT}-\text{VSH})$, ya que $(1-\text{PHIT})$ y PIGN son siempre factores positivos; por lo tanto, el cálculo de NTG se

propone en este trabajo como una función lógica, expresada en la Ecuación 5.

$$NTG = SI (PHIT-VSH > 0 ; 1 ; 0) \quad (5)$$

Figura 3

Definición del NTG de acuerdo con el signo del IAN



Considerando a PHIT como el volumen de todos los fluidos presentes en la roca (fluidos intergranulares más el agua ligada a las arcillas) y al VSH como el volumen de las arcillas húmedas (arcillas secas más al agua ligada a las arcillas), podríamos interpretar que la condición $PHIT > VSH$ tiene una explicación física obvia cuando nos deshacemos del agua ligada a las arcillas a ambos lados de la inecuación: si el volumen de fluidos intergranulares es mayor que el volumen de arcillas secas, habrá un flujo dentro de la roca ($NTG=1$), de lo contrario un volumen de arcilla seca mayor obstruirá el flujo de este volumen limitado de fluidos intergranulares, así, la roca ya no será considerada como un intervalo de AN ($NTG=0$).

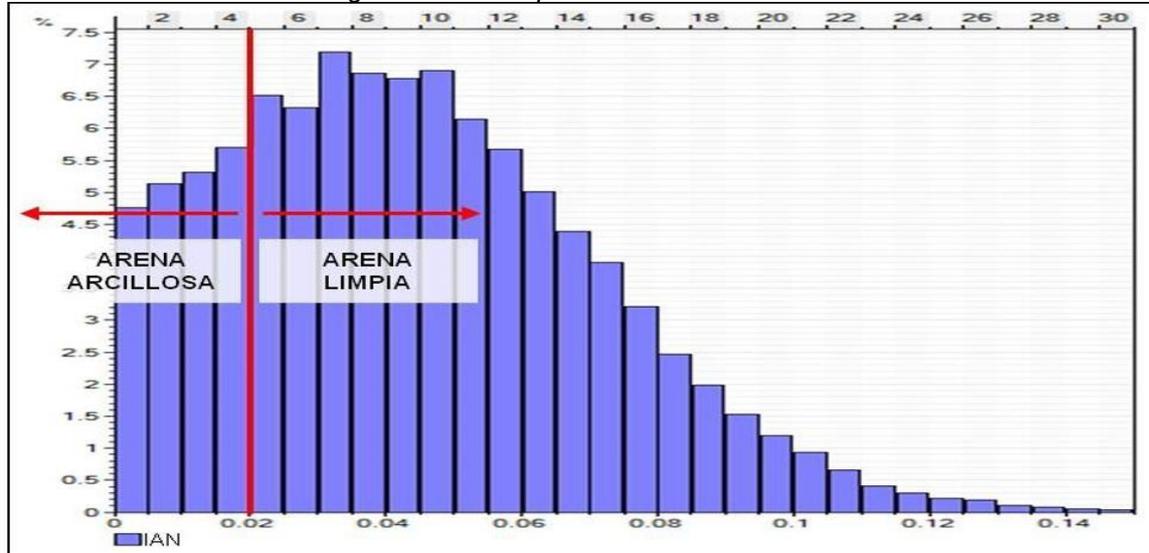
Finalmente, podríamos concluir que la condición lógica de la Ecuación 5 substituye el uso de los tradicionales parámetros de corte para estimar espesores de AN y, como consecuencia, el valor de NTG para yacimientos siliciclásticos contentivos de petróleo liviano, escenario bajo el cual se elaboró el presente trabajo.

Clasificación de electrofacies utilizando los valores de IAN

Adicionalmente a la diferenciación entre rocas yacimiento y no-yacimiento lograda con la Ecuación 5, si observamos el histograma de frecuencias de la Figura 3 y filtramos solo los valores positivos del IAN (ver la Figura 4), podríamos distinguir dos clases principales según los cambios abruptos en las pendientes del histograma: una para valores inferiores a 0,02 y otra para valores mayores a 0,02. La primera clase corresponde a una litología intermedia entre arenas y arcillas (arenas arcillosas) y la otra clase corresponde a arenas limpias.

Figura 4

Definición de electrofacies según el valor del pa

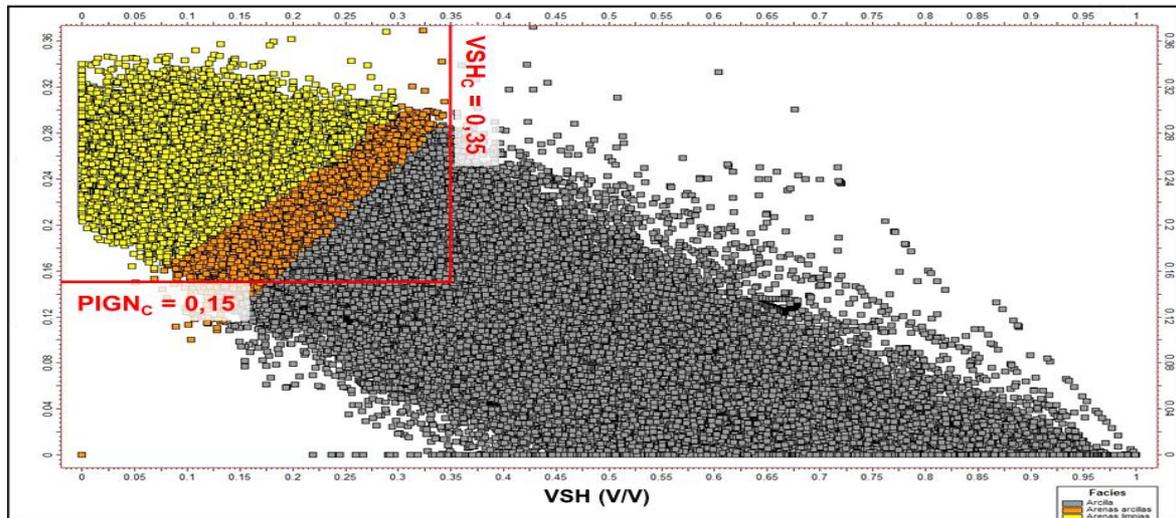


El gráfico de la Figura 5 muestra la relación entre el VSH en la abscisa y la PIGN en la ordenada, con la definición de electrofacies lograda con la metodología IAN en el eje Z.

Obsérvese que según la Ecuación 5, tanto las arenas limpias como las arenas arcillosas tendrían un $NTG=1$, mientras que las arcillas, $NTG=0$; sin embargo, con los parámetros de corte constantes del método tradicional (0,15 y 0,35 para la PIGN y el VSH, respectivamente) tendríamos valores de NTG de 1 para todos los puntos en el rectángulo rojo superior izquierdo del gráfico cruzado de la Figura 5. Este rectángulo incluye una gran cantidad de puntos de arcilla, los cuales asumirían un valor de NTG de 1, sobre estimando de esta manera los espesores de AN y, por lo tanto, el posterior cálculo de POES.

Figura 5

Gráfico cruzado VSH-PIGN mostrando la definición de electrofacies sobre la base del valor del IAN



En vez de seguir estrictos valores constantes de difícil estimación, se debería esperar, desde un punto de vista sedimentológico y petrofísico, que los límites de electrofacies obedezcan más a una tenencia perpendicular relacionada con la relación inversamente proporcional del gráfico cruzado mostrado en la Figura 5, dando así un sentido de gradación, justo como el tamaño de granos en un sistema depositacional siliciclástico: desde el tamaño de grano más grueso (bajo VSH y alta PIGN en la parte superior izquierda del gráfico cruzado) hacia el tamaño de grano más fino (alto VSH y baja PIGN en la parte inferior derecha del gráfico cruzado).

Si comparamos los métodos de estimación de AN (Parámetros de Corte Vs. IAN), veremos que el intervalo XX46'-XX49' en la Figura 2 tiene un $VSH < 0,35$ y una $PIGN > 0,15$, resultando como un intervalo de AN según el método de Parámetros de Corte; sin embargo, la segunda pista de derecha a izquierda, mostrando las litofacies descritas en el núcleo, muestra al mencionado intervalo como un depósito de llanura de inundación, la cual se corresponde mejor con la interpretación de electrofacies lograda con el método de IAN, ya que $IPPB < PIG$

Definición de una SWCORTE variable

Considerando que el campo en estudio está comprendido por yacimientos heterogéneos y anisotrópicos debido a la variabilidad en el contenido de arcilla, no es representativo utilizar un valor constante para la SW_{CORTE} de tope a base del yacimiento, como tradicionalmente se hace; por el contrario, deberíamos definir una SW_{CORTE} variable en profundidad como una función de propiedades petrofísicas básicas, teniendo en cuenta la variabilidad de la Saturación de Agua Irreducible (SW_{irr}).

Para determinar el valor al cual se espera que el petróleo fluya dentro del yacimiento es necesario asumir que la permeabilidad relativa al petróleo sea mayor a la permeabilidad relativa al agua. Esta condición implica otra asunción expresada por la Ecuación 6: de que el Volumen de Hidrocarburos (BVH) tenga que ser mayor al

Volumen de Agua en el espacio intergranular (BVW), este último representado por el agua libre más el agua capilar irreducible.

$$\mathbf{BVH > BVW} \quad (6)$$

La Saturación de Agua Total (SW_t), como se expresa conceptualmente en la Ecuación 7, representa la SW más fácil y más común calculada por los petrofísicos, de manera tal que ésta es la que vamos a considerar para la estimación de la SW_{CORTE}.

$$\mathbf{SW_t = \frac{BVW + CBW}{PHIT}} \quad (7)$$

Entre otras definiciones conceptuales podemos ver a la porosidad intergranular en la Ecuación 8 y al Agua Ligada a las Arcillas (CBW) en la Ecuación 9.

$$\mathbf{PIGN = BVW + BVH} \quad (8)$$

$$\mathbf{CBW = PHIT - PIGN} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación 9 en la Ecuación 7 y despejando a BVW, se obtiene la Ecuación 10.

$$\mathbf{BVW = (SW_t - 1) \times PHIT + PIGN} \quad (10)$$

Sustituyendo la Ecuación 10 en la Ecuación 8 y despejando a BVH, se obtiene la Ecuación 11.

$$\mathbf{BVH = (1 - SW_t) \times PHIT} \quad (11)$$

Entonces, si forzamos la condición de la Ecuación 6 y sustituimos la Ecuación 10 y la Ecuación 11 dentro de ella, y despejando la SW_t, que se convertiría en SW_{CORTE} debido a la condición asumida en la Ecuación 6, obtendríamos la Ecuación 12.

$$\mathbf{SW_{CORTE} = 1 - \frac{PIGN}{2 \times PHIT}} \quad (12)$$

Obsérvese en la Ecuación 12 que, para arenas realmente limpias, "Areniscas Tipo Archie", donde el VSH es muy cercano a 0 y consecuentemente PHIT ≈ PIGN, entonces SW_{CORTE} = 0,5; como típicamente utilizan los petrofísicos en todo el mundo cuando se dispone de pocos datos.

Para arenas arcillosas, y según la misma Ecuación 12, podemos ver que mientras mayor sea el VSH, consecuentemente mayor será la diferencia entre PHIT y

PIGN, y por ende, será mayor a 0,5 el valor de SW_{CORTE} , dando como resultado de esta manera un mayor valor de ANP y evitando las típicas sub estimaciones de reservas en arenas arcillosas. Por ejemplo, si utilizamos los valores promedios típicos de PHIT y PIGN para los yacimientos del área de estudio (0,265 y 0,245, respectivamente) obtenemos una SW_{CORTE} de 0,538, un valor muy cercano a la constante reportada por Rosario, R y Ángel, F en el 2015 (Trabajo No Publicado) para yacimientos similares, utilizando los métodos de Espesor de la Columna de Hidrocarburos y las Curvas de Flujo Fraccional para la SW_{CORTE} . Los últimos dos métodos consumen mucho tiempo en su ejecución, involucran una secuencia de actividades más complejas, necesitan muchos más datos que el método propuesto en este trabajo y dan un único valor constante para la SW_{CORTE} , en vez de un valor variable en profundidad, como debería esperarse para formaciones heterogéneas.

Definición del IANP

Una vez deducidos nuevos términos como IPPB, IAN y SW_{CORTE} , estamos listos para definir otro índice para diferenciar a las arenas de agua de las arenas de petróleo. Este índice fue llamado en este trabajo Índice de Arena Neta Petrolífera (IANP) y su valor puede ser utilizado para jerarquizar las zonas más atractivas desde un punto de vista de productividad, ya que su definición, según la Ecuación 13, incluye en cierta manera a la electrofacies de la roca (roca yacimiento o no-yacimiento), las propiedades petrofísicas básicas y la saturación de agua en el medio poroso.

$$IANP = NTG \times IPPB \times (SW_{CORTE} - SW) \quad (13)$$

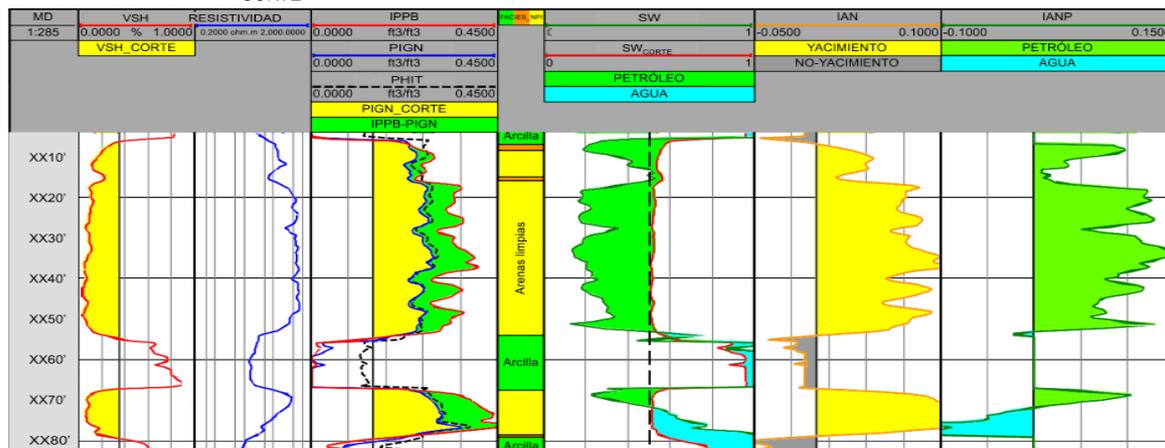
Según la Ecuación 13, la presencia de ANP, o la ocurrencia de un valor de $NTOG=1$, estaría indicada por valores positivos de IANP, ya que $SW < SW_{CORTE}$ y ambos NTG e IPPB son siempre positivos; igualmente, mientras mayor el valor de IANP más atractiva será la roca desde el punto de vista productivo debido a los altos valores de IPPB y bajos valores de SW. Los valores negativos de IANP indicarían la presencia de arenas de agua ($NTOG=0$) en vista de que $SW > SW_{CORTE}$ y NTG sigue siendo igual a 1; mientras que las arcillas, o las rocas no- yacimiento, implicarían inevitablemente un valor de $IANP=0$, indiferentemente de los valores de SW y de IPPB, debido a que $NTG=0$.

La Figura 6 muestra una comparación del método IANP y el método de los tradicionales parámetros de corte constantes para la determinación del espesor de ANP en el Pozo B, obsérvese que en el intervalo XX13'-XX16' tanto el método de los parámetros de corte como el IAN coinciden en que este intervalo corresponde a AN; sin embargo, si consideramos un valor de uso común de SW_{CORTE} de 0,5 (línea negra, vertical y discontinua de la tercera pista de derecha a izquierda), ese intervalo XX13'-XX16' correspondería a una arena de agua y no a una zona de ANP, subestimando de esta manera las reservas de hidrocarburos. Por otro lado, tal interpretación lograda con el SW_{CORTE} de 0,5 estaría indicando erróneamente la presencia de una zona de agua en medio de dos zonas de petróleo (una por arriba y otra por debajo), sin la presencia aparente de sellos locales verticales que permitan tal separación de fluidos dentro de un mismo yacimiento continuo, pero heterogéneo, de tope a base.

El apropiado uso de una curva de SW_{CORTE} permitió interpretar al intervalo XX13-'XX16' de la Figura 6 como una ANP, gracias a la deflexión que muestra esa curva hacia la derecha en ese mismo intervalo, alcanzando valores hasta de 0,57, como consecuencia del alto VSH y la correspondiente disminución de porosidades. Aun utilizando los valores de SW_{CORTE} de los métodos PXP y SCH, los cuales oscilan entre 0,51 y 0,55, respectivamente, el intervalo XX07'- XX53' no hubiese sido interpretado completamente como una zona de 46' continuos de ANP, como sí se logra con la curva de SW_{CORTE} y el resultante valor de IANP, desplegado en la primera pista de derecha a izquierda de la Figura 6.

Figura 6

Interpretación convencional de registros para el Pozo B. En rojo (tercera pista de derecha a izquierda) vemos la curva de SW_{CORTE}



Por otro lado, la curva de resistividad (en azul) de la tercera pista de izquierda a derecha muestra en el intervalo XX67'-XX79' una marcada zona de transición dentro de una arena continua con excelentes propiedades de yacimientos, como lo evidencian las curvas de IPPB (en rojo, tercera pista de derecha a izquierda) y los altos valores de la curva de IAN (en naranja, segunda pista de derecha a izquierda). La curva de IANP (en verde, primera pista de derecha a izquierda) permite entonces decidir con exactitud que a la profundidad de XX71' es donde la SW en el espacio intergranular empieza a ser mayor a la Saturación de Petróleo (SO) y por ende la arena deja de ser petrolífera desde un punto de vista meramente petrofísico.

Finalmente, es posible también utilizar estos valores de IANP para jerarquizar intervalos a la hora de decidir la completación del pozo; por ejemplo, en el caso del Pozo B de la Figura 6, el intervalo más atractivo, desde un punto de vista productivo, sería el intervalo XX32'-XX35', ya que por sus altos valores de IANP, se asume que la integración de las propiedades petrofísicas básicas es la más óptima para esperar los mayores caudales y los cortes de agua más bajos de todo el pozo; aun cuando por razones estratégicas el intervalo a cañonear esté evidentemente ubicado hacia el tope de la arena para una mayor recuperación de petróleo.

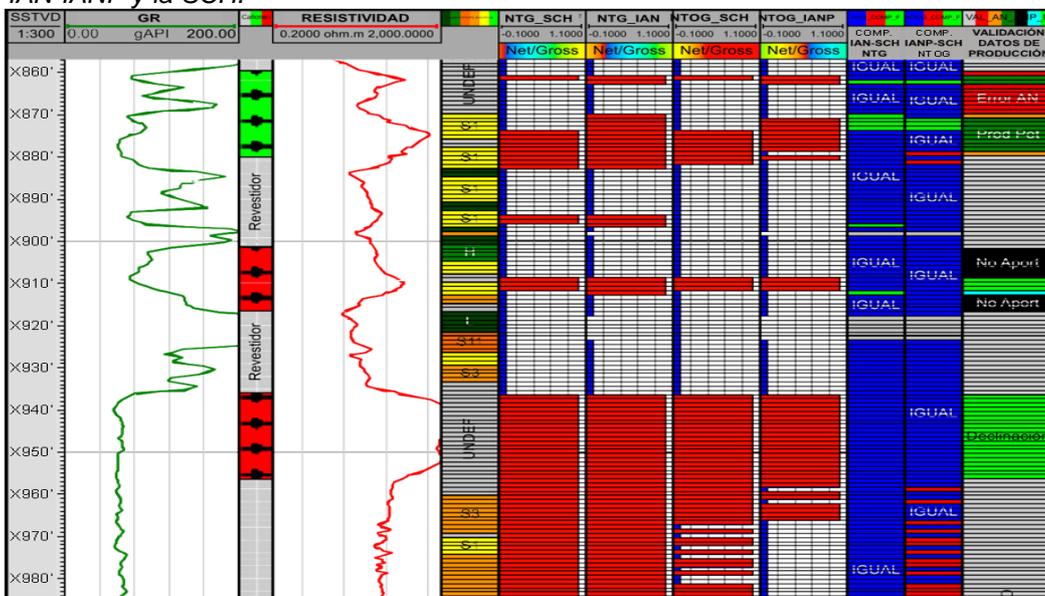
Resultados

La factibilidad de la metodología propuesta en este trabajo se realizó comparando los resultados que se obtuvieron al aplicar ésta en los pozos del área en estudio, con los espesores ya obtenidos previamente por medio de los métodos tradicionales: a) Sensibilidad de la columna de hidrocarburos a los parámetros de corte (SCH) y b) Gráficos cruzados de propiedades petrofísicas (PXP). Ambas metodologías tradicionales fueron aplicadas para evaluaciones petrofísicas hechas en diferentes momentos y por diferentes intérpretes (las del método PXP más antiguas que las del SCH); por lo tanto, para cada set de curvas (VSH, PHIT, PIGN y SW) se obtuvieron diferentes valores de IAN e IANP con la metodología propuesta; sin embargo, la intención es comparar estos resultados con cada método tradicional por separado.

La Figura 7 muestra los cálculos realizados para el NTG (para representar a AN) y NTOG (para representar a ANP) tanto por el método de SCH como por la metodología IAN-IANP en el Pozo C que cuenta con descripción de núcleos y con tres intervalos cañoneados a producción. Obsérvese en primer lugar que todos los intervalos con NTG=1, según ambos métodos, (barras de color rojo, pistas 6 y 7 de izquierda a derecha en la Figura 7) coincidieron con la descripción de facies arenosas hecha en el núcleo (S1, S3 y S11), salvo aquellos intervalos donde no se recuperó núcleo (Facies de color gris). La pista 3, de derecha a izquierda, representa la comparación entre los resultados obtenidos por el método SCH y el IAN-IANP, donde el color azul significa que ambas metodologías coinciden en su interpretación, el color verde muestra los intervalos donde el método IAN-IANP sobreestima los espesores de AN con respecto al método SCH y el color rojo donde el primero subestima tales espesores del segundo.

Figura 7

Set de registros del Pozo C y los respectivos cálculos de NTG y NTOG según la metodología IAN-IANP y la SCH.



Igualmente, las pistas 8 y 9, de izquierda a derecha en la Figura 7, muestran los valores obtenidos del NTOG para ambos métodos, donde resalta el hecho de que por debajo del marcado Contacto Agua-Petróleo (CAP) a X957', ambos métodos aún siguen mostrando ocurrencia de ANP, el método SCH en mayor medida que el IAN-IANP. Este efecto puede estar relacionado a subestimaciones en los valores de SW por parte del intérprete y por ende se sobreestiman los espesores de ANP. La pista 2 de derecha a izquierda muestra la comparación del cálculo de NTOG entre ambos métodos, notándose claramente que por debajo del X957' existe una tendencia del método IAN-IANP a subestimar los valores de NTOG del método SCH; sin embargo, considerando la presencia de un CAP a X957', como se había mencionado anteriormente, podríamos asegurar que es el método SCH quien sobreestima los valores reales de NTOG.

Teniendo en cuenta a todos los pozos interpretados del campo resultó que el método IAN-IANP resulta idéntico al SCH en un 94,5% para los valores de AN y un 94,8% para los valores de ANP. Las diferencias tienden a ser mayores hacia la sobreestimación en el caso del NTG y hacia la subestimación en caso del NTOG.

Siguiendo el mismo esquema se estableció la comparación entre el método IAN-IANP y el método PXP, constatándose que los espesores del método IAN-IANP nunca son mayores a los del PXP, salvo por un minoritario 0,1% en el caso de los espesores de ANP. Cabe resaltar que tanto para los espesores de AN como para los de ANP el método propuesto reproduce en un 82,5% los espesores logrados por el método tradicional.

Discusión

Para la Validación de la metodología IAN-IANP con datos de producción, se podría inferir que los resultados obtenidos por el método IAN-IANP, elaborado con el set de curvas interpretadas para la aplicación del método PXP son los que mejor ajustan a la realidad observada en el pozo en cuanto a la relación entre espesores e intervalos cañoneados; es por ello que para la validación de la metodología propuesta, éstos fueron los resultados que se verificaron con los datos de producción arrojados por los distintos pozos de toda el área (Ángel y Brett, 2017).

En la primera pista de derecha a izquierda de la Figura 7 se observa una escala de colores que representa la validez de las estimaciones de espesores con respecto a los datos de producción, disponible solo para los intervalos cañoneados; razón por la cual al resto de los intervalos se les cataloga como "No conclusivo", en color gris.

Para la interpretación de la escala de validación se empleó una función que asignara valores discretos a distintos casos asociados al resultado del NTG y/o NTOG en combinación con los datos de producción disponibles; de manera tal que en color verde oscuro se representaran aquellos intervalos donde efectivamente la metodología interpreta ocurrencia de ANP y que aún están abiertos produciendo petróleo; mientras que el verde claro representa la misma condición de ocurrencia de ANP pero con intervalos que han sido cerrados por declinación en la producción de petróleo; es decir,

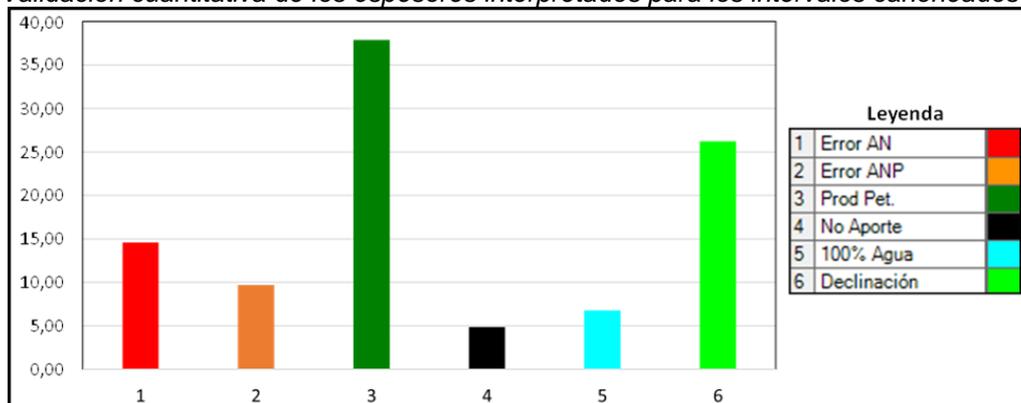
que en estos dos casos se podría decir que la metodología está siendo validada, sin lugar a dudas, por los datos de producción.

En negro se resaltan los intervalos que estuvieron abiertos a producción en algún momento, pero donde la interpretación de la metodología resultó sin AN y obviamente sin ANP, infiriéndose de allí que esos intervalos no aportaron fluidos (ni agua ni petróleo) y por ello el intervalo fue cerrado; posiblemente la poca producción de petróleo recuperada provino de otras zonas dentro del mismo intervalo cañoneado.

El color azul representa el mismo caso anterior con la diferencia que aquí sí hay AN, pero no ANP, es decir que son intervalos que probablemente produjeron agua y por esa razón fueron posteriormente cerrados. El color rojo representa zonas que están efectivamente produciendo, pero que no tienen AN interpretada por la metodología; mientras que el color anaranjado es el mismo tipo de intervalo, con AN interpretada, pero sin ocurrencia de ANP.

La Figura 8 muestra el resultado de las estadísticas de la validación de la metodología IAN- IANP, solo en los intervalos cañoneados y con datos de producción. Obsérvese que las dos clases predominantes son aquellas donde validan perfectamente las estimaciones de AN y ANP, a saber, las clases 3 y 6. No obstante, las clases 4 y 5 también podrían considerarse como validadas en vista de que obedecen a intervalos que ya han sido cerrados bien por falta de aporte de fluidos (color negro) o por altos cortes de agua (color azul), donde la poca producción de petróleo obtenida pudo provenir de otras zonas, suprayacentes o infrayacentes, dentro del mismo intervalo cañoneado.

Figura 8
Validación cuantitativa de los espesores interpretados para los intervalos cañoneados



En resumen, si consideramos las clases 3, 4, 5 y 6 como casos validados, y sumamos sus frecuencias individuales, obtendríamos un porcentaje total superior al 75% de validación para los espesores de ANP interpretados por el método propuesto en este trabajo.

Adicionalmente a esta automatizada validación cuantitativa, se decidió elaborar una validación cualitativa observando detalladamente cada intervalo de cañoneo y comparando la presencia de AN y ANP con los resultados de producción. Por ejemplo, si un intervalo cañoneado probó producción de petróleo y por medio de la metodología

se no se estimaron espesores de ningún tipo, diríamos que la metodología “no validó” en ese intervalo ni para AN ni para ANP; si efectivamente sí se interpretaron espesores en la totalidad del intervalo cañoneado de AN y ANP, entonces “sí validó” para ambos espesores; pero si esos espesores interpretados no cubren la totalidad del intervalo cañoneado, entonces se dice que “validó parcialmente”; mientras que si no se dispone de datos de producción confiables para un determinado intervalo, simplemente se dice que es un intervalo “sin información” (Castro y Mederos, 2016).

Evidentemente se puede dar el caso de que se valide el AN pero no el ANP, como por ejemplo si para el intervalo productor de petróleo se estimó presencia de AN pero no de ANP; lo cual podría estar relacionado a sobreestimaciones de la curva de SW por parte del intérprete.

Conclusiones

El parámetro IPPB (Índice de Propiedades Petrofísicas Básicas), propuesto en este trabajo, logra integrar de manera sencilla a las propiedades petrofísicas básicas como PHIT, PIGN y VSH, de manera que un único valor permita comparar y jerarquizar a las rocas según su calidad como yacimiento.

El parámetro IAN (Índice de Arena Neta), propuesto en este trabajo, y calculado a partir de la diferencia entre IPPB y PIGN, permite determinar para los yacimientos del área de estudio espesores de AN a nivel de registros y calcular valores de NTG a nivel del mallado geocelular, sin el uso de parámetros petrofísicos de cortes, subjetivos, constantes y de tediosa determinación.

Las asociaciones de facies sedimentarias siliciclásticas fueron resumidas a 3 electrofacies por medio del uso del parámetro IAN (índice de Arena Neta), propuesto en este trabajo; de manera tal que las asociaciones de facies como canales distributarios asociados a llanura deltaica alta y baja fueron representados como arenas limpias, las asociaciones de facies como barras deltaicas y mareales fueron representadas como arenas arcillosas, y las asociaciones como llanuras interdistributarias, de marea y de inundación fueron representadas como arcillas.

La determinación, propuesta en este estudio, de una SWCORTE variable en profundidad como consecuencia de la heterogeneidad de los yacimientos, en función de propiedades básicas de la roca como PHIT y PIGN, sustituye en el área de estudio a las metodologías tradicionales que consideran un valor constante de 50% para cualquier yacimiento o, en el mejor de los casos, estiman muy subjetivamente un valor igualmente constante en función de los datos de producción.

El parámetro IANP (Índice de Arena Neta Petrolífera) propuesto en este trabajo y calculado a partir del NTG, IPPB, SW y SWCORTE permite, por un lado, determinar espesores de ANP en los yacimientos del área de estudio y, por el otro, jerarquizar desde un punto de vista meramente productivo las zonas que aportarán mayor flujo a menor corte de agua.

Los resultados de la metodología IAN-IANP fueron más similares a los arrojados por la metodología SCH (aproximadamente 95% de similitud) que los arrojados por la

PXP (aproximadamente 83%); sin embargo, el set de datos utilizados para la segunda comparación ajusta mejor tanto a la geología del área como a los datos de producción reportados por los pozos.

La metodología IAN-IANP demostró ser, con datos de producción, un 97% efectiva a la hora de estimar espesores de AN y un 75% efectiva a la hora de estimar espesores de ANP.

Se recomienda utilizar la metodología IAN-IANP, con una apropiada interpretación convencional de registros, para la estimación de valores de NTG y NTOG, bien a nivel de pozo o a nivel de modelos geocelulares, en cualquier yacimiento de arenas arcillosas contentivas de crudo liviano, ya que definitivamente esta metodología ahorra horas hombre en la ejecución de proyectos y probó ser en el área de estudio tan o más efectiva que las metodologías tradicionales, pero de mucha más fácil aplicación y de más objetiva determinación.

Referencias

- Ángel, F y Brett, C. (2017). *Modelo Estático del Miembro Arauca, Campo Guafita*. (Informe técnico PDVSA)
- Buatois, L. A. (2006). *Análisis de facies e interpretación paleoambiental, Campo Guafita (núcleos GF-26 y GF-205X)*. (Informe técnico PDVSA)
- Buckley, S. E. and Leverett, M. C. (February, 1941). *Mechanism of Fluid Displacement in Sands*. [Resumen de la presentación de la conferencia]. New York
- Castro N. y Mederos I. (2016). Generación de modelopetrofísico-estratigráfico del campo Chimire, Venezuela. *Revista Fuentes: El Reventón Energético* Vol. 14 N° 1 de 2016 - Ene/Jun - pp 89/101.
- Díaz, N. y Herrera, M. (2007). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del oligo-mioceno en pozos con núcleos del Campo Guafita*. [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Venezuela].
- Dake, L. P. 1978. *Fundamentals of reservoir engineering*. Elsevier Science B.V. Netherlands.
- FAO (s/f). La permeabilidad del suelo. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- Kiser, G. D. (1989). *Relaciones estratigráficas de la Cuenca Apure-Llanos, con áreas adyacentes, Venezuela Suroeste y Colombia Oriental*. Monografía. Soc. Venez. Geol., (1): 77. (Informe técnico Corpoven).
- Miranda, L. y Ángel, F. (Mayo de 2011). *A Systematic Analysis to Select an Optimized Perforating Interval as a Key Factor for Improved Oil Recovery: Impact of Dynamic and Static Petrophysical Properties on Well Production*. SPE 143609 [Resumen de la presentación de la conferencia] EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition, Vienna, Austria
- Miranda, L. y Ángel, F. (Junio de 2010). *Logging Under Harsh Conditions with New Shuttle-Deployed Memory Tools and Impact on Log Quality, Time and Costs*. SPE 131098 [Resumen de la presentación de la conferencia] SPE/EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition, Barcelona, España
- Moret-Fernández, D. y Latorre, B. (2021). Análisis de curvas de infiltración 3d medidas con infiltrómetro de disco en perfiles de suelo heterogéneos: análisis secuencial de la curva infiltración. Trabajos presentados en las XV Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada del Suelo. Universidad d la Coruña, 9 y 10 de noviembre de 2021. Disponible en: https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v15/ZNS21.pdf
- Rosario, R. y Ángel, F. (2015). *Modelo petrofísico del Campo Guafita, Área Sur*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Venezuela].

Caracterización de un material compuesto con matriz de resina de poliéster reforzado con partícula de totora

Characterization of a composite material with a polyester resin matrix reinforced with reed particles

Jaime Vinicio Molina Osejos¹, Diana Belén Peralta Zurita², Antonio Edilberto Llanes Cedeño³, Gaibor Chacha Erika Rafaela⁴, Celi Ortega Santiago Fernando⁵

Resumen:

El presente proyecto se centra en la caracterización mecánica de un material compuesto a base de resina de poliéster reforzado con partículas de totora. Se realizaron ensayos de tracción y flexión, siguiendo las normativas ASTM D 3039 y ASTM D 7264, respectivamente, para materiales compuestos. Los ensayos se realizaron en la máquina de ensayos universales MTS - modelo T 5002. Se determinó que la configuración con una fracción volumétrica de fibra particulada de totora del 20% presenta las mejores características mecánicas en tracción, mientras que la configuración con un 5% de fibra particulada de totora destaca en flexión. Es importante destacar la importancia de encontrar el porcentaje adecuado de fibra en el material compuesto. Un exceso de fibra puede disminuir la resistencia mecánica, mientras que un porcentaje óptimo puede mejorar las características mecánicas a la flexión y tracción. Por lo tanto, se enfatiza la necesidad de encontrar un equilibrio adecuado para lograr un rendimiento óptimo del material compuesto

Palabras clave: Material compuesto, resina poliéster, tracción, totora.

Abstract:

This project focuses on the mechanical characterization of a composite material based on polyester resin reinforced with reed particles. Tensile and bending tests were carried out, following the ASTM D 3039 and ASTM D 7264 regulations, respectively, for composite materials. The tests were carried out in the MTS universal testing machine - model T 5002. It is extended that the configuration with a 20% volumetric fraction of reed particulate fiber presents the best mechanical characteristics in

¹ Universidad Particular Internacional Sek, Magister Diseño Producción y Automatización Industrial, <https://orcid.org/0000-0003-3310-9590>

² Universidad Particular Internacional Sek, Magister en Sistemas de Manufactura, <https://orcid.org/0000-0002-9523-0743>

³ Universidad Particular Internacional Sek, Doctor Dentro Del Programa De Doctorado En Ingeniería Rural, <https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>

⁴ Universidad Particular Internacional Sek, Ingeniera Mecánica En Energía Y Control

⁵ Instituto Superior Tecnológico Kachariy, Magister En Administración Y Marketing, <https://orcid.org/0000-0002-8302-3413>

Autor de correspondencia: jaime.molina@uisek.edu.ec

traction, while the configuration with 5% reed particulate fiber stands out in flexion. It is important to highlight the importance of finding the right percentage of fiber in the composite material. An excess of fiber can decrease the mechanical resistance, while a maximum percentage can improve the mechanical characteristics in bending and traction. Therefore, the need to find the right balance to achieve optimal performance of the composite material is emphasized.

Keywords: Composite material, polyester resin, traction, totora

Introducción

Los materiales compuestos han despertado un creciente interés en diversas aplicaciones debido a su combinación de propiedades mecánicas superiores y versatilidad en el diseño. En este contexto, el presente estudio se centra en la caracterización mecánica de un material compuesto basado en resina de poliéster reforzado con partículas de totora. El Ecuador es un país con una exuberante vegetación, según Yáñez (Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador., 2023) existen 4500 plantas endémica agrupadas en 184 familias y 842 géneros, entre ellas se encuentra la totora (*Schoenoplectus californicus*). La totora es una fibra natural abundante y económica.

Investigaciones previas realizadas en el campo han utilizado una gran diversidad de fibras naturales, entre estas están: cabuya, totora, abacá, coco, palmas, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, bejucos, pitigua, balsa, matapalo, caucho, rampira, anona, batea, achiote, majagua, higuierón, ortiga, mimbre y bejuco real, por lo tanto, el uso de refuerzos vegetales es prometedor en el país.

La presente investigación establecería un nuevo material compuesto a base de resina de poliéster reforzado con fibra particulada dispersa de totora, buscando mejores propiedades mecánicas en función de su composición volumétrica.

Con base a que un material compuesto es un sistema que combina las propiedades y características de dos o más fases de materiales de distinta naturaleza para generar propiedades superiores y diferentes a las de sus elementos constituyentes (Mazón Ortiz & Vaca Ortega, 2017). Se consideran tres puntos principales al momento de generar el material compuesto (Hull, 2021):

- Dos o más materiales distintos físicamente y diferentes propiedades.
- Se fabrican combinando diferentes materiales donde la dispersión es controlada para alcanzar propiedades óptimas.
- Tienen mejores propiedades y en algunos casos únicas, al tratarse como materiales separados.

Por otra parte las partículas que conforman el material compuesto poseen una naturaleza dual en términos de propiedades mecánicas. Por un lado, son duras y frágiles, mientras que, la matriz que las rodea es más blanda y dúctil (Besednjak Dietrich, 2009). Este tipo de configuración presenta ventajas significativas en términos de resistencia y rigidez del material compuesto.

Las partículas naturales, como las utilizadas en este estudio, presentan una serie de propiedades atractivas que las convierten en una excelente alternativa como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica (García, 2009). Entre estas propiedades se destacan su carácter renovable y biodegradable, lo cual es beneficioso desde una perspectiva ambiental. Además, las partículas naturales son comparativamente económicas en comparación con fibras de ingeniería convencionales como el Kevlar o la fibra de vidrio. Así mismo, su bajo peso contribuye

a la reducción del peso total del material compuesto, lo que resulta especialmente relevante en aplicaciones donde se busca optimizar la relación resistencia-peso (ver tabla 1). Otro aspecto destacado, es su desempeño como aislante térmico y acústico, lo cual, puede ampliar aún más las posibles aplicaciones del material compuesto. Por último, las partículas naturales exhiben una alta resistencia a la tensión, lo que, confiere al material compuesto una mayor capacidad para soportar cargas y resistir deformaciones.

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de utilizar partículas naturales como refuerzo en materiales compuestos

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja Resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son Biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos la quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministros variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

Nota. Baillie, C., & Jayasinghe, R. (2004).

La matriz está conformada de un material termoestable, mismos que se caracterizan por ser normalmente isotrópicas, lo que, significa que sus propiedades son idénticas en todas las direcciones (Besednjak Dietrich, 2009). Una de las propiedades más distintivas de estos materiales es su respuesta al calor, ya que no se funden al calentarlos, pero pierden su rigidez a la temperatura de distorsión térmica (Ashby, 2018).

Es importante tener en cuenta que los polímeros termoestables no pueden ser reciclados y reutilizados debido a que han experimentado modificaciones en su estructura química y a nivel molecular. Sin embargo, pueden ser endurecidos o curados mediante la aplicación de calor o dejándolos reposar a temperatura ambiente (García, 2009). En el caso específico de las resinas de poliéster, se destacan por su relación calidad-precio y su capacidad para combinarse con diversos tipos de refuerzo (Avilés, 2016).

La figura 1 muestra el proceso de reacción de la resina de poliéster a través de una polimerización acelerada por sales de cobalto. El tiempo de curado puede variar

dependiendo de los porcentajes de catalizador, acelerante y temperatura utilizados (Hull, 2021).

Figura 2.

Reacción Exotérmica



Nota. Gazechim Composites Ibérica (2017)

Metodología

La parte metodológica que abarca la preparación del material compuesto, la caracterización de la resina de poliéster, y los ensayos de flexión y tracción para la posterior caracterización mecánica del material compuesto.

Se inicia con la estratificación, que consiste en la superposición de capas o divisiones. Se prepara una mezcla de resina y partículas de totora en proporciones iguales, que se coloca en un molde de manera uniforme. La resina de poliéster se impregna en las partículas de totora, asegurando una distribución homogénea. (Gil, 2012), en la tabla 2 se muestra el proceso de estratificación.

Tabla 2.

Esquema de Proceso por Estratificación

PROCESO POR ESTRATIFICACIÓN			
Item	Etapas del proceso	Descripción	Imagen
1	Impregnación	Humectación de las partículas	

2	Estratificación	Orientación refuerzo	
3	Consolidación	Aplicar presión	

Nota. Imágenes del proceso para la aplicación de resina y partículas de totora. Autores

La composición de las diferentes probetas se realiza a través del cálculo de la fracción volumétrica, con el peso del material particulado de totora que va a ser introducido en la resina. (Kalpakjian, 2002), para lo cual, se utiliza las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$V_P = \frac{V_{pfv}}{V_c} \quad (1)$$

$$V_m = \frac{V_{mfv}}{V_c} \quad (2)$$

$$V_P + V_m = V_c \quad (3)$$

Donde:

V_{pfv} es la fracción de volumen de las partículas

V_{mfv} es la fracción de volumen de la matriz

V_m, V_c, V_p son los volúmenes de matriz, compuesto y particulado respectivamente.

En la tabla 3 se muestra los porcentajes de fibra de totora.

Tabla 3

Porcentaje de totora en mm³ y gr

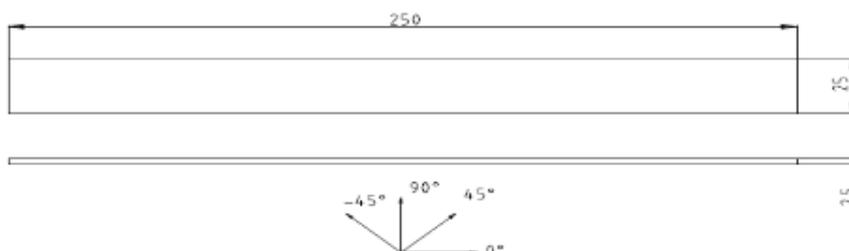
Porcentaje de Totora	Ensayo Tracción Volumen (mm ³)	Ensayo Tracción Peso (gr)	Ensayo Flexión Volumen (mm ³)	Ensayo Flexión Peso (gr)
5%	0,78	0,064	0,42	0,034
10%	1,56	0,128	0,83	0,068
15%	2,34	0,193	1,25	0,103
20%	3,13	0,257	1,66	0,137
25%	3,91	0,321	2,08	0,171
30%	4,69	0,385	2,50	0,205

35% 5,47 0,449 2,91 0,239

Una vez obtenidas las probetas de material compuesto los ensayos de flexión (figura 2) y tracción (figura 3), se lleva a cabo según la normativa ASTM D 7264 para materiales compuestos. Estas probetas se someten a una carga en una máquina de ensayos universales MTS - modelo T 5002.

Figura 2.

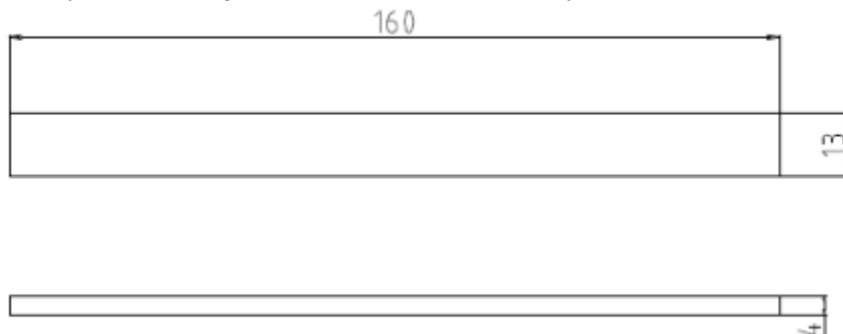
Dimensiones probetas ensayos de flexión.



Nota: Matriz para ensayos de tracción de material compuesto. (Standard Test Method for Flexión Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2017)

Figura 3.

Dimensiones probeta ensayo de Tracción Material Compuesto



Nota. (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2017)

Es importante destacar que el proceso de solidificación de la mezcla de resina y partículas de totora varía en un rango de 60 a 180 minutos, dependiendo de los porcentajes de catalizadores y acelerantes utilizados. Este tiempo de solidificación es crucial para el desarrollo adecuado de las propiedades del material compuesto.

Resultados y Discusión

Los ensayos a tracción y flexión, se realizan en probetas con diferente concentración de fracción volumétrica de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% y 35% de partículas de totora, con la composición de material base de 1% de MEKP, 10% de estireno y la variación de octanato de cobalto del 0.4%, 0.5% y 0.6%. En la tabla 4, se muestran las probetas obtenidas.

Tabla 4

Compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas de totora

Probeta	Imagen
Flexión	
Tracción	

La tabla 5, muestra el peso en gramos de las probetas de Poliéster sometidas a tracción, con una concentración de 10% Estireno, 1% MEKP, variando únicamente el porcentaje de Cobalto de 0,4%, 0,5% y 0,6%.

Tabla 5

Peso en gramos de las probetas de Poliéster con diferentes porcentajes de cobalto

Código Probetas	Cobalto 0,4%	Cobalto 0,5%	Cobalto 0,6%
P1	16,03	16,01	15,99
P2	16,00	16,00	15,98
P3	16,02	15,99	16,00
P4	16,03	16,02	16,02
P5	16,02	16,01	15,98

La tabla 6, muestra los resultados obtenidos de los ensayos a tracción de las probetas de Poliéster, con una concentración de 10% Estireno, 1% MEKP, variando únicamente el porcentaje de Cobalto de 0,4%, 0,5% y 0,6%.

Tabla 6

Esfuerzo Último a tracción de Resina de Poliéster (MPa)

Código Probetas	Cobalto 0,4%	Cobalto 0,5%	Cobalto 0,6%
P1	22,69	22,61	19,44
P2	11,74	20,27	21,66
P3	24,66	18,48	22,86
P4	22,56	22,17	12,45
P5	22,66	21,14	20,54

En la tabla 7, se presenta el peso de las probetas de material compuesto a base de resina de Poliéster con las diferentes concentraciones de factor volumétrico de fibra particulada de totora para el ensayo de tracción.

Tabla 7

Peso en gramos de las probetas de Poliéster con las diferentes fracciones volumétricas de partícula de totora (FVT).

Peso Probetas en gramos (gr)							
Código Probetas	5%FVT	10%FVT	15%FVT	20%FVT	25%FVT	30%FVT	35%FVT
P1 Co 0,5%	15,43	14,76	14,39	13,78	13,41	12,68	12,65
P2 Co 0,5%	15,35	14,85	14,17	13,64	13,34	12,91	12,54
P3 Co 0,5%	15,48	14,79	14,32	13,86	13,28	12,93	12,47
P4 Co 0,5%	15,38	14,75	14,23	13,88	13,26	12,86	12,35
P5 Co 0,5%	15,29	14,90	14,11	13,65	13,32	12,90	12,32
Promedio Peso (gr)	15,39	14,81	14,24	13,76	13,32	12,86	12,47

En la tabla 8, se muestran los resultados de cada ensayo a tracción realizado por probeta en las diferentes configuraciones de factor volumétrico de partícula de totora.

Tabla 8

Esfuerzo Último Tracción por cada ensayo y factor volumétrico de partícula de totora (FVT).

Resistencia a la Tracción (MPa)							
Código Probetas	5%FVT	10%FVT	15% FVT	20% FVT	25% FVT	30% FVT	35% FVT
P1 Co 0,5%	24,68	23,28	23,51	23,59	20,96	13,29	8,55
P2 Co 0,5%	22,83	23,22	23,45	23,62	21,06	12,81	6,73
P3 Co 0,5%	22,85	23,31	23,55	23,60	20,93	13,13	6,81
P4 Co 0,5%	22,84	23,38	23,48	23,57	21,44	12,65	6,39

P5 Co 0,5% 22,83 23,31 23,56 23,60 21,15 13,00 7,85

En la tabla 9, se presenta el peso de las probetas sometidas a ensayo de flexión de material compuesto a base de resina de Poliéster con fibra particulada de totora.

Tabla 9

Peso de probetas de material compuesto para ensayo de flexión a diferentes fracciones volumétricas de partícula de totora (FVT)

Código Probetas	Peso en gramos (gr)					
	5%FVT	10%FVT	15%FVT	20%FVT	25%FVT	35%FVT
P1 Co 0,5%	8,34	7,93	7,51	7,31	7,11	6,68
P2 Co 0,5%	8,22	7,88	7,59	7,39	7,15	6,71
P3 Co 0,5%	8,26	7,95	7,65	7,32	7,04	6,58
P4 Co 0,5%	8,18	7,84	7,62	7,37	7,18	6,65
P5 Co 0,5%	8,16	7,87	7,58	7,29	7,01	6,63
Peso Promedio (gr)	8,23	7,89	7,59	7,34	7,10	6,65

En la tabla 10, se muestran los resultados de cada ensayo a flexión realizado por probeta en las diferentes configuraciones de factor volumétrico de partícula de totora.

Tabla 10

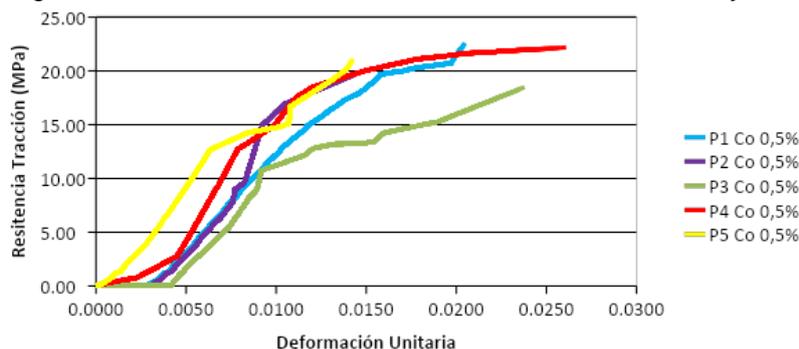
Esfuerzo a flexión por cada ensayo y factor volumétrico de partícula de totora (FVT)

Código Probetas	Resistencia a la Flexión (MPa)					
	5%FVT	10% FVT	15% FVT	20% FVT	25% FVT	35% FVT
P1 Co 0,5%	6,76	4,85	4,73	5,48	4,72	4,46
P2 Co 0,5%	6,66	4,71	4,58	4,85	4,56	4,30
P3 Co 0,5%	7,68	4,77	4,75	4,86	4,66	4,39
P4 Co 0,5%	6,92	4,82	4,70	4,76	4,69	4,43
P5 Co 0,5%	6,98	4,75	4,62	4,66	4,59	4,33

La figura 4, representa el diagrama de resistencia a la tracción del material compuesto en función de la deformación unitaria (MPa). Se realizaron 5 ensayos utilizando la configuración de 1% de MEKP, 10% de estireno y 0,5% de cobalto. En la mayoría de los ensayos, se observa que la deformación unitaria alcanza aproximadamente 0,025, lo cual, indica un mejor comportamiento del material en esta configuración. Se destaca que la zona plástica es mayor que la zona elástica, con un esfuerzo a la tracción en el rango de 15 a 25 MPa. Además, las gráficas muestran una tendencia estable y similar entre sí.

Figura 4.

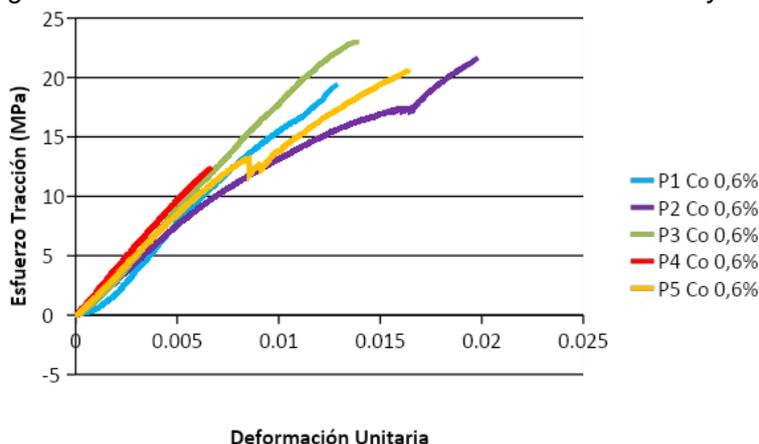
Diagrama Resistencia Promedio a la Tracción – Número Ensayos



La figura 5, presenta el diagrama de resistencia a la tracción del material compuesto en función de la deformación unitaria (MPa). Se realizaron 5 ensayos utilizando la configuración de 1% de MEKP, 10% de estireno y 0,6% de cobalto, en los ensayos, se observa que la deformación unitaria alcanza aproximadamente 0,02, mientras que el esfuerzo a tracción varía en el rango de 10 a 25 MPa.

Figura 5.

Diagrama Resistencia Promedio a la Tracción – Número Ensayos

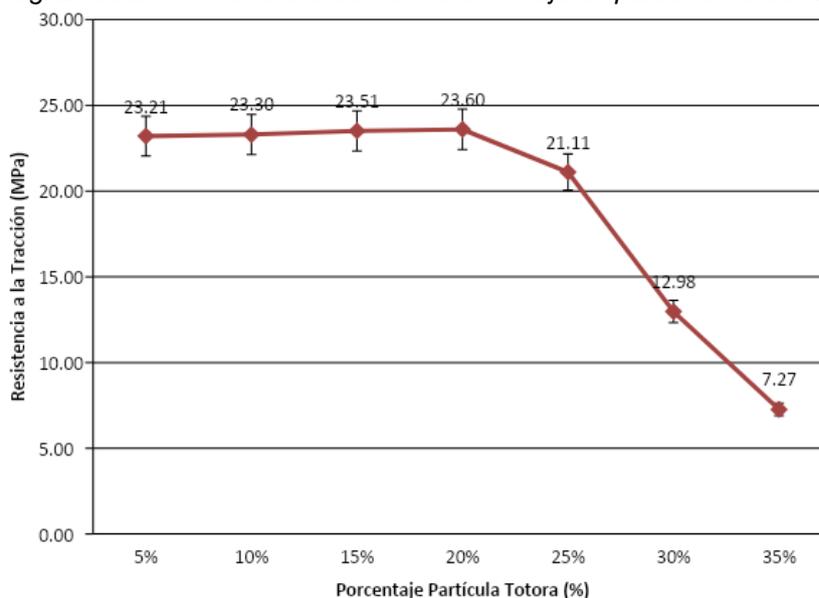


La figura 6, muestra el diagrama Resistencia a la Tracción (MPa) Vs. Porcentaje de partícula de totora en cada configuración de probetas de resina de Poliéster y totora, donde se observa que al 5% de factor volumétrico de partícula de totora la resistencia es de 23,21 MPa, con un aumento progresivo hasta al 20% de factor volumétrico, donde el valor máximo de resistencia a la tracción es de 23,60 MPa. A partir de este punto la resistencia de las probetas sometidas a tracción disminuye teniendo su punto más bajo al 35% de factor volumétrico con 7,27 MPa, es decir, mientras más presencia de fracciones volumétricas de partícula de totora (FVT), su resistencia a la tracción disminuye y su peso en gramos se vuelve más liviano, sin embargo, en estudios realizados por de la Cruz, Chamorro, Córdoba (2021), se puede mencionar que un factor para que esta tendencia se dé, puede ser debido a la

densidad de la totora, el cual, influye en la utilidad de la fibra para su uso, además, para explicar esta tendencia se debe tomar en cuenta un estudio de composición estructural, que generaría una mayor explicación sobre el fenómeno de aumento de FVT y disminución de resistencia a la tracción, ya que, según estudios realizados por (Tapia, Paredes, Simbaña y Bermudez, 2006), (Majewski y Bledzki, 2013) (Suarez, Restrepo, Quinchia y Mercado, 2017). La composición estructural permite establecer la resistencia mecánica, y considerar una proporción adecuada de fibras vegetales como aditivo para la elaboración de materiales (de la Cruz, Chamorro, Córdoba, 2021

Figura 6.

Diagrama Resistencia a la Tracción – Porcentaje de partícula de Totora

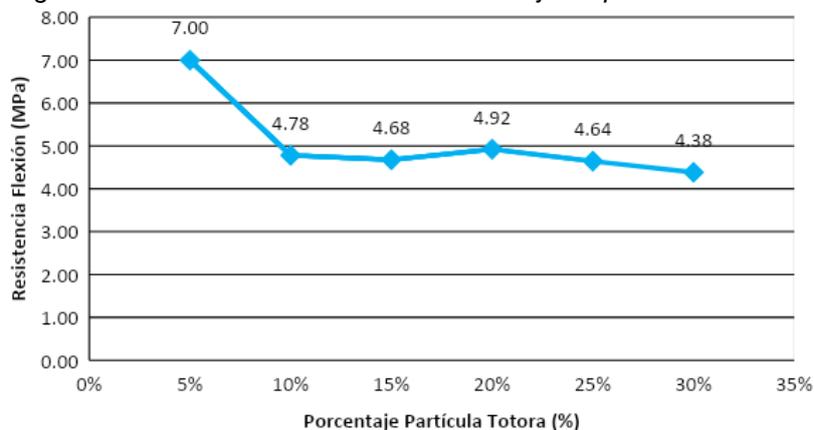


La figura 7, muestra el diagrama de resistencia a la flexión (MPa) en función del porcentaje de partícula de totora en las diferentes configuraciones de probetas de resina de poliéster y totora. Se observa que, a un 5% de fracción volumétrica de partícula de totora, se alcanza la resistencia máxima de 7 MPa, siendo este el valor más alto registrado. A partir de este punto, la resistencia disminuye gradualmente, y a un 20% de fracción volumétrica se obtiene el segundo valor máximo de resistencia, con 4,92 MPa. En cambio, a un 35% de fracción volumétrica, se registra el menor esfuerzo de todas las configuraciones, con 4,38 MPa. Estos resultados indican que el porcentaje de partícula de totora influye significativamente en la resistencia a la flexión del material compuesto, destacando la configuración con un 5% de fracción volumétrica como la de mayor resistencia, sin embargo, la composición de FVT del 10% al 35% no presenta una variación amplia de resistencia a la flexión, y según estudios de Amar, Manjusri & Lawrence, (2005) los materiales compuestos de matriz de resina reforzados con fibra que tienen una alta relación de resistencia a peso y de rigidez a peso se han vuelto importantes en aplicaciones sensibles al peso, como aviones y vehículos espaciales (Vilañez, 2020, p. 17), adicional dentro del proceso de fabricación de materiales compuestos, se observan varios estudios que utilizan como

matriz a polímeros como el polietileno, polipropileno, cloruro polivinílico o resinas termoestables por sus características de dureza y bajo costo (Mejía, 2017, p. 5),

Figura 7.

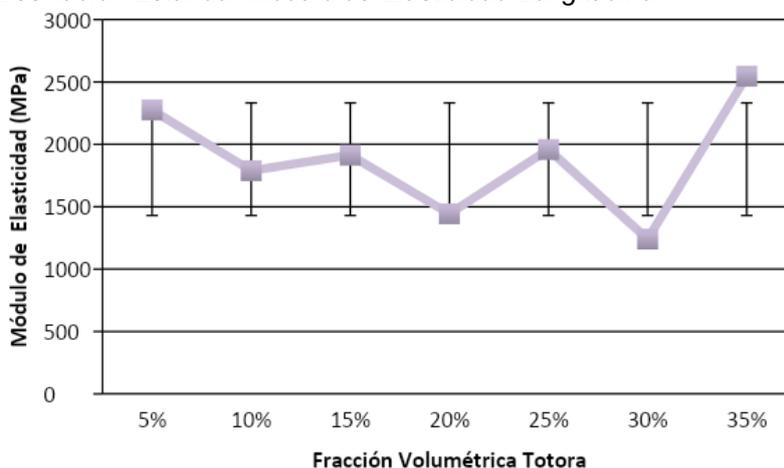
Diagrama Resistencia a la Flexión – Porcentaje de partícula de Totora



La figura 8, presenta la desviación estándar del módulo de elasticidad longitudinal para los distintos factores volumétricos de totora. Se observa que el valor máximo de desviación estándar es de 2,5 GPa, correspondiente al 35% de factor volumétrico de totora. Por otro lado, el valor mínimo de desviación estándar se registra en 1,25 GPa para un factor volumétrico del 30% de totora. Los demás valores se encuentran dentro de la media establecida. Estos resultados indican que el porcentaje de factor volumétrico de totora tiene un impacto en la variabilidad del módulo de elasticidad longitudinal, siendo el 35% de factor volumétrico el que presenta la mayor variabilidad y el 30% el que muestra la menor variabilidad en los datos.

Figura 8.

Desviación Estándar Módulo de Elasticidad Longitudinal



Conclusiones

Se determinó que el porcentaje adecuado de cobalto en la mezcla para preparar el material base es del 0,5%. Valores superiores de cobalto provocan fragilidad en las probetas, lo que resulta en una fácil ruptura, mientras que valores inferiores generan rigidez y pérdida de elasticidad en el material compuesto.

En cuanto a la resistencia a la tracción, se observó que el material compuesto con una fracción volumétrica de fibra particulada de totora del 20% exhibió la mayor resistencia, alcanzando un valor de 23,60 MPa. Esta configuración específica demostró una mayor capacidad para soportar cargas antes de experimentar deformación o fractura.

Por otro lado, en el ensayo de flexión, se determinó que la configuración con un 5% de fracción volumétrica de fibra particulada de totora mostró la mayor resistencia, con un valor de 7,00 MPa. Esto indica que dicha configuración posee una mayor capacidad para resistir fuerzas aplicadas en una dirección perpendicular al eje del material compuesto.

En general, el material compuesto con un 20% de fracción volumétrica de fibra particulada de totora exhibió las mejores características mecánicas tanto en términos de resistencia a la tracción como a la flexión. Esta configuración específica logró un equilibrio óptimo entre resistencia y flexibilidad, lo que lo convierte en una opción favorable para aplicaciones que requieran propiedades mecánicas destacadas.

Es importante destacar la importancia de encontrar el porcentaje adecuado de fibra en el material compuesto. Un exceso de fibra puede disminuir la resistencia mecánica, mientras que un porcentaje óptimo puede mejorar las características mecánicas a la flexión y tracción. Por lo tanto, se enfatiza la necesidad de encontrar un equilibrio adecuado para lograr un rendimiento óptimo del material compuesto.

Referencias

- Aguire Mendoza, Z., Jaramillo Díaz, N., & Quizhpe Coronel, W. (2019). Arvenses Asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador. Loja: *EDILOJA Cía. Ltda.*
- Ashby, M. F. (2018). *Materials: engineering, science, processing and design. Butterworth-Heinemann.*
- (ASTM), A. S. (2016). Standard Test Method for Traction. Annual Book of ASTM Standards.
- Avilés, M. D.-P. (2016). Self-lubricating, wear resistant protic ionic liquid-epoxy resin. *Express Polymer Letters*, 11(3), 219 - 229. <https://doi.org/https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2017.23>
- Baillie, C. &. (2004). *Green composites: polymer composites and the environment. Elsevier.*
- Besednjak Dietrich, A. (2009). *Materiales Compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones. UPC.*
- De la Cruz-Velasco, L., Chamorro-Mejía, J., Córdova-Cely, C., (2021). Caracterización físico-química y mecánicas de cuatro fibras vegetales utilizadas como materia prima artesanal en el Departamento de Nariño, *DINA*, (88)216, 101-1 96-102.
doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.87958>
- García, J. (2009). *Química Bioproductos a partir de biomasa. Jaca.*
- Gil, A. (2012). *esinas de poliéster Guía de manejo. Universidad EAFIT.*
- Hull, D. (2021). *Materiales Compuestos. Barcelona: Reverté S.A.*
- Kalpakjian, S. &. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson educación.*
- Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. (2023). Obtenido de *Bioweb.Bio.*: <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/patrones/>
- Materials., A. C.-3. (2008). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. *ASTM international.*
- Mazón Ortiz, G. E., & Vaca Ortega, W. H. (2017). Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales. *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica.*
- Mejía, D., (2017). Caracterización De Un Material Con Matriz De Resina Poliéster Y Refuerzo Con Fibra Natural De Totora (*Schoenoplectus Californicus*), Mediante Simulación A Partir De Microfotografía. *Escuela Politécnica del Ejército, Centro de Postgrado.*
- Vilañez, P., (2020). Caracterización de las Propiedades Mecánicas de un Material Compuesto Fabricado con Matriz de Resina Epóxica y Refuerzo de Fibra Natural de Totora. *Escuela Politécnica del Ejército, Centro de Postgrado*

Análisis de los parámetros de atomización en inyectores crdi2 según su mantenimiento

Analysis of the parameters of spraying in crdi2 injectors according to their maintenance

Guillermo Gorky Reyes Campaña¹, Denny Javier Guanuche Larco², Stalin Morocho Perez³, Adonis Núñez Garcia⁴, Charles Ariel Silva Hinojosa⁵

Resumen:

Las exigencias con respecto al control de emisiones contaminantes cada vez son más estrictas conforme avanza la tecnología. Al hablar de un sistema diésel, en lo primero que se piensa es en la contaminación que generan estos vehículos, para contribuir al cuidado ambiental es importante mantener la operación del vehículo en óptimas condiciones, esto implica una correcta atomización del combustible, de ahí la importancia de realizar un análisis por etapas del inyector para que trabaje de la mejor manera posible resultando en un excelente proceso de combustión. Es necesario aplicar dos tipos de métodos, para analizar la atomización antes y después del mantenimiento se aplica un método inductivo y se incluye el método cuantitativo para el estudio de los datos números obtenidos en el equipo de diagnóstico. El ángulo de atomización varía notablemente luego del mantenimiento, esto debido a que en un principio los orificios de la tobera pueden estar obstruidos y algunos de sus elementos internos dañados, para que la dispersión del diésel sea homogénea en el interior del cilindro es fundamental mantener estos componentes en correcto estado y de ser el caso reemplazarlos. Los grados del ángulo de atomización en la ruptura secundaria aumentaron después del tratamiento a cada una de las partes internas del inyector, así mismo se reemplazó el anillo de teflón y válvula pues no se encontraban en buen estado.

Palabras clave: atomización, dispersión, ruptura secundaria

¹ Universidad Internacional del Ecuador, Magister en Sistemas Automotrices, Doctorado en Educación Superior, <https://orcid.org/0000-0002-7133-9509>

² Universidad Internacional del Ecuador, Magister en Sistemas Automotrices, Doctorado en Educación, <https://orcid.org/0000-0001-7376-0105>

³ Universidad Internacional del Ecuador, Estudiante de Ingeniería Automotriz, <https://orcid.org/0009-0000-4063-3679>

⁴ Universidad Internacional del Ecuador, Estudiante de Ingeniería Automotriz, <https://orcid.org/0009-0001-1078-8984>

⁵ Universidad Internacional del Ecuador, Estudiante de Ingeniería Automotriz, <https://orcid.org/0009-0008-4596-7166>

Abstract:

The requirements regarding the control of polluting emissions are becoming stricter as technology advances. When talking about a diesel system, the first thing that comes to mind is the pollution generated by these vehicles, to contribute to environmental care it is important to operate the vehicle in optimal conditions, this implies a correct atomization of the fuel, hence the importance of carry out a phased analysis of the combustion injector so that it works in the best possible way, resulting in an excellent process. It is necessary to apply two types of methods, to analyze the atomization before and after maintenance, an inductive method is applied and the quantitative method is included for the study of the data numbers obtained in the diagnostic equipment. Results: The atomization angle varies safely after maintenance, this is due to the fact that initially the nozzle holes may be clogged and some of its internal elements damaged, so that the diesel dispersion is homogeneous inside the cylinder. It is essential to keep components in correct condition and, if this is the case, replace them. The degrees of the angle of atomization in the secondary rupture increase after the treatment to each one of the internal parts of the injector, likewise the teflon ring and the valve were replaced because they were not in good condition.

Keywords: *atomization, dispersion, secondary rupture.*

Introducción

Los vehículos que circulan a nivel nacional son diferentes procedencias, esto implica que muchos de ellos cuenten con distintas calibraciones, para condiciones ideales de funcionamiento. A medida que el vehículo genera sus periodos de funcionamiento, el performance de torque, potencia y consumo tiende a alterarse en algunos elementos que conforman el sistema de inyección, como es el caso del inyector, en el cual, se presentan desgastes de los elementos neumáticos-mecánicos, por tal motivo, existen diferentes tipos de laboratorios que analizan el estado y las condiciones en las que se encuentra un inyector, para luego, proceder con un método de calibración, que en este elemento funge como reparación.

Hablar de un sistema diésel, es sinónimo de contaminación, sin embargo, al encontrarse en óptimas condiciones de funcionamiento puede contribuir al cuidado ambiental, pero, lograr esto implica una correcta atomización del combustible, de ahí la importancia de realizar un análisis por etapas del inyector en un laboratorio especializado para establecer periodos de mantenimientos en base a los resultados obtenidos.

La presente investigación trata del mantenimiento y reparación de un inyector de la marca Bosch, para lo cual, se realizará un análisis previo del estado del componente, luego del cual, se buscó determinar las posibles fallas que afectan su funcionamiento y definir el tipo de mantenimiento adecuado para lograr un óptimo parámetro de atomización del combustible dentro de la cámara de combustión, en busca de una correcta explosión que no genere combustiones incompletas, que propicien un exceso de emisiones de gases contaminantes.

Conforme el avance tecnológico, las exigencias sobre la emisión de gases contaminantes son cada vez más estrictas, por ello en la actualidad muchos de los sistemas del motor están diseñados para reducir los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar, tal es el caso del inyector.

Los inyectores pueden trabajar en condiciones ideales con otras partes del sistema de inyección para lograr la alta presión que proporciona la atomización correcta (Yacelga y Pinto, 2022). En las pruebas de laboratorio se puede determinar que en los inyectores Common Rail no existe una reparación establecida para sus componentes internos, debido a las dimensiones de las piezas y precisión, por lo que si un inyector está en deterioro extremo se procede al cambio completo sin la intervención de ningún tipo de mantenimiento (Viláñez, Sacancela, 2017) para asegurar una correcta pulverización y direccionamiento del chorro de combustible (Reyes, 2018).

Debido a la alta presión con la que trabaja el sistema de inyección diésel y la eficiente atomización, se aumenta el par y potencia en todo rango de revoluciones (Almendariz y Naranjo, 2022). La forma en cómo se descarga el combustible se le conoce como patrón de atomización, que va a depender de la presión del inyector, del número, tamaño y ángulo de los orificios que exista en la tobera, estos factores influyen en la forma y longitud de atomización (Coral, 2013) para lograr desempeñar

un papel importante en el rendimiento óptimo de los motores a combustión interna (Mora, Altamirano, Guasumba, y Cabascango, 2022)

Para determinar la atomización del inyector según su mantenimiento, es necesario aplicar un método inductivo, además, se incluye el método cuantitativo que permite trabajar con los datos numéricos hallados en el equipo de diagnóstico. Se obtienen los primeros datos cuando se realiza la fase de prueba al inyector sin que haya recibido ningún tipo de mantenimiento previo. En el inyector se analiza el ángulo que genera la atomización, en cada una de las etapas los valores van a cambiar, tanto pulso de inyección como atomización.

Una correcta atomización requiere alta presión de inyección de combustible, diámetro pequeño del orificio del inyector, viscosidad óptima del combustible y alta presión de aire en el cilindro al momento de la inyección. La velocidad y la eficiencia de evaporación de las gotas de combustible están influenciadas por varios factores, que incluyen el tamaño y la distribución de las gotas, la presión y la temperatura dentro de la cámara, así como la volatilidad del combustible (Heywood, 1998), también las características de diseño del inyector, como el número y la disposición de los orificios, son primordiales en la formación del patrón de pulverización del combustible. Cada uno de los orificios de la boquilla contribuye a determinar el ángulo de dispersión del cono de pulverización (Ren y Li, 2016).

Metodología

En primera instancia se aplica el método inductivo, con el cual, se analiza cómo será la atomización que genera el inyector según las etapas de mantenimiento o calibración de ser el caso, siendo necesario incluir el método cuantitativo pues permite el estudio de valores numéricos a obtener en el equipo de diagnóstico para los diferentes estados del inyector (Amaya, 2020).

El estudio se realizó en un inyector de la marca BOSCH, sus características, la serie del inyector y el vehículo al cual puede ser aplicado se encuentran detalladas en la tabla 1

Tabla 1

Aplicación del inyector en el vehículo

INYECTOR	APLICACIÓN BOSCH	
0445110293	Marca	Great Wall
	Modelo	Gingle
	Motor	GW2.8TC
	Cilindros	4
	Normas de emisión	EURO III
	Bomba	CP3, CP1H
	Tobera	DLLA150P1666

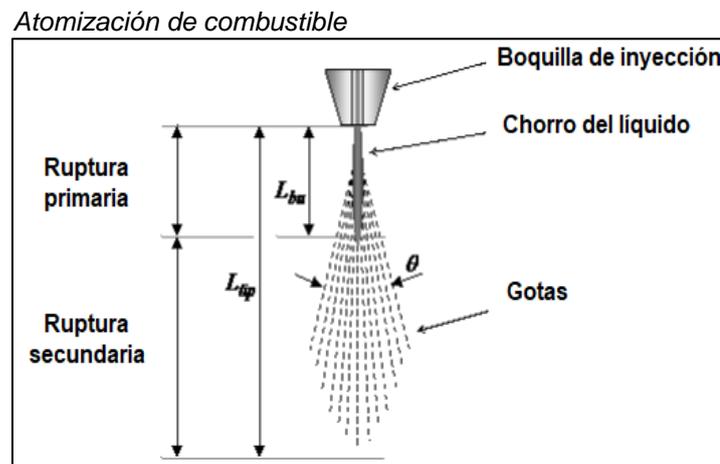
Nota. Cabezas y Freire, 2018

Atomización del inyector CRDI

Para llevar a cabo el proceso de combustión, el combustible debe mezclarse con el aire a altas temperaturas y evaporarse en el interior del cilindro, el primer paso a tomar en cuenta es el parámetro de atomización, que consiste en pasar de una columna líquida a un chorro integrado por gotas diminutas para que la evaporación sea más eficiente (Borrego, 2018). Bajo las condiciones de inyección del motor Diesel, el chorro de combustible generalmente forma un rociado en forma de cono en la salida de la tobera. Este tipo de comportamiento se clasifica como régimen de ruptura de la atomización y produce gotas con tamaños muy inferiores al diámetro de salida de la tobera (Vergel, Pietro y Orejuela, 2020)

Los procesos de pulverización y atomización se describen como un fenómeno de flujo multifásico que involucra una fase líquida en forma de gotitas y ligamentos, y la fase gaseosa representada como un cono continuo. El proceso de rociado generalmente se inicia como resultado de la descarga de combustible líquido a alta presión desde una boquilla inyectora. Este proceso consta de dos etapas, la atomización o ruptura primaria consiste en la rotura de la vena líquida en gotas más pequeñas, mientras que la atomización secundaria consiste en la disgregación de las gotas ya existentes en gotas más diminutas como se muestra en la figura 1.

Figura 1



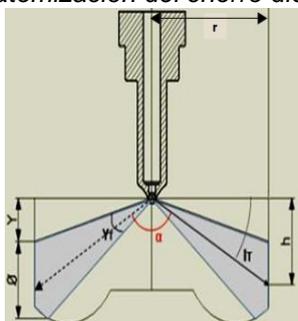
Nota. Proceso de atomización del chorro diésel en etapa primaria y secundaria, Chávez, 2013

Ángulo de pulverización

Para efectuar el cálculo del ángulo de pulverización es necesario obtener las siguientes variables de la figura 2.

Figura 2

Proceso de atomización del chorro diésel en etapa primaria y secundaria



En donde:

- h = altura
- r = radio del cilindro
- θ = diámetro del chorro
- IT = ángulo de disparo
- γT = ángulo de dispersion
- Y = Diferencia de alturas
- α = ángulo de cono

Nota. Valores por tomar en cuenta para el proceso de cálculo de pulverización. Autores

Ecuación del ángulo de dispersión:

$$yT = tg^{-1} \left(\frac{\theta + Y}{r} \right) - tg^{-1} \left(\frac{Y}{r} \right) \quad (1)$$

Equipo de diagnóstico

El equipo de la figura 3, se utiliza para realizar las pruebas respectivas, con la finalidad de determinar el estado del inyector y tomar en cuenta los mantenimientos o calibraciones, además, permite la toma de datos para el cálculo del ángulo de atomización. El equipo de diagnóstico requiere la reparación de las toberas e inyectores, pues permite la evaluación de funcionamiento bajo condiciones como ralentí y plena carga (Bosch, 2014).

Figura 3

Equipo de diagnostico



Nota. Bosch, 2014

Fluido de prueba

El fluido ISO 4113 utilizado para calibraciones de inyectores y bombas diésel, “es un aceite mineral de baja viscosidad, formulado con un conjunto de aditivos para la calibración y protección temporal de los sistemas de alimentación de combustible

en los motores diésel” (Dokumen, p. 1), a continuación, en la tabla 2, se indican las propiedades físico-químicas más importantes que contiene el fluido.

Tabla 2

Propiedades físico-químicas del fluido

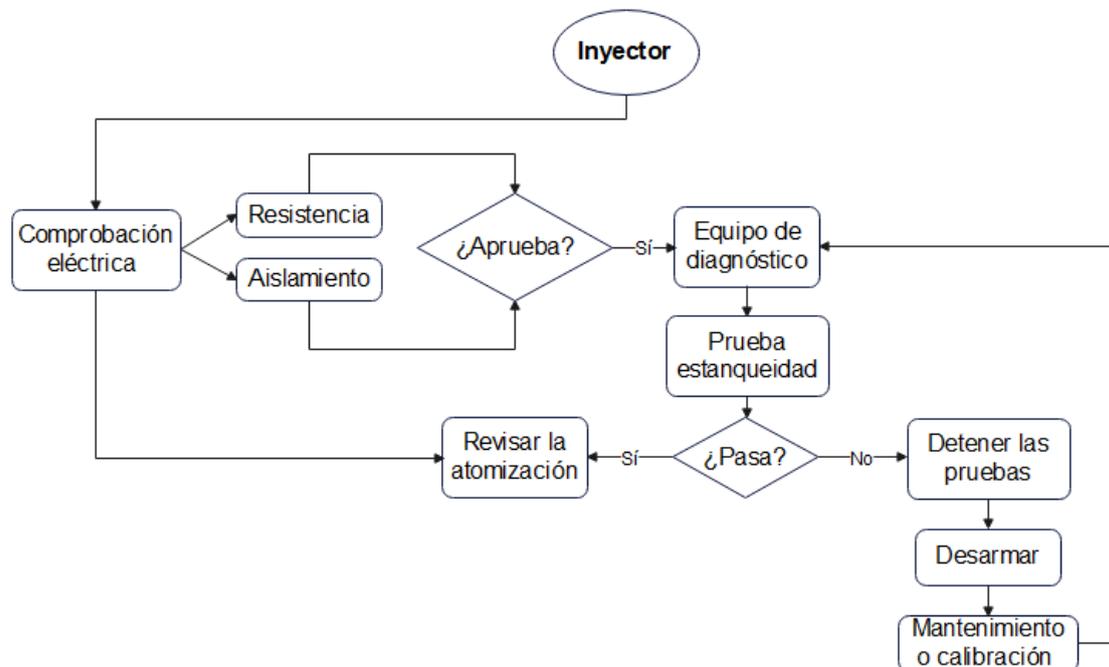
ISO 4113	Unidad	Valor
Apariencia	---	Blanquecino claro
Densidad, 15°C	g/ml	0,825
Viscosidad cinemática, 40°C	cSt	2,62
Punto de llama	°C	84
Punto de fluidez	°C	< - 30

Nota. Valores y características del fluido a utilizar. Castrol, 2014

Para calcular el ángulo de pulverización del inyector es indispensable realizar las comprobaciones eléctricas para descartar problemas en la bobina en caso de ser un inyector inductivo. El proceso que se debe seguir se describe en la figura 4.

Figura 4

Pasos para la revisión del inyector



Nota. Diagrama de proceso para revisión del ángulo de pulverización en un inyector. Autores

Resultados y Discusión

Prueba de resistencia y aislamiento

La serie del inyector de la marca BOSCH es la siguiente. CRI2.1: Bosch 0445110293

Tabla 3

Resultados de prueba de resistencia y aislamiento

Inyector	Resistencia	Aislamiento		
		Voltaje de prueba	Pin 1	Pin 2
Bosch 0445110293	0.4 Ω	500 V	20.5 G Ω	10 G Ω

Nota. Autores

Prueba de estanqueidad

Una vez que se verifique el óptimo funcionamiento eléctrico del inyector, se procede a realizar la prueba de estanqueidad en el comprobador mecánico. El equipo de diagnóstico también es capaz de realizar esta prueba que consiste en asegurar la ausencia de fugas en el inyector.

La tabla 4 muestra el diagnóstico de estanqueidad del inyector a una presión de 4000 PSI, luego de aplicar la presión la pluma del comprobador mecánico debe bajar lentamente, si la presión cae enseguida, implicaría que hay retorno excesivo y por tanto fuga del fluido.

Tabla 4

Resultado de la prueba de estanqueidad

Presión	Inyector	Diagnóstico
4000 PSI	0445110293	NO PASA

Nota. Autores

INYECTOR BOSCH 0445110293

El inyector Bosch 0445110293 aprobó las comprobaciones eléctricas, pero presenta inconvenientes en la prueba de estanqueidad realizado en el equipo mecánico.

Tabla 5

Valores estándar y resultados antes del mantenimiento

Nombre	activación (μ s)	Presión (MPa)	Tiempo (s)	Caudal inyección		Caudal retorno		Evaluación
				Valor nominal (mm^3/H)	Valor real (mm^3/H)	Valor nominal (mm^3/H)	Valor real (mm^3/H)	
Leak	0	155	200	--- \pm ---	---	40,0 \pm 40,0	128,43	✗
VL	800	145	90	52,4 \pm 8,0	---	38,0 \pm 20,0	---	
EM5789	630	60	40	12,8 \pm 4,8	---	--- \pm ---	---	
LL	695	30	40	4,6 \pm 3,5	---	--- \pm ---	---	
VE	295	60	40	2,1 \pm 1,8	---	--- \pm ---	---	

Nota. Autores

Como se observa en los resultados de la tabla 5, el inyector no pasa la prueba de estanqueidad y de esta manera se confirma el resultado obtenido en el comprobador mecánico. Si se verifica que existe una medida que exceda el límite de retorno, se suspenden las siguientes pruebas y se procede al desarmado del inyector para las revisiones técnicas. El despiece del inyector Bosch 0445110293, se lo realiza por etapas, las cuales, se encuentran detalladas en la tabla 6

Tabla 6

Etapas para el desarmado del inyector

ETAPA II	ETAPA III	ETAPA I
Tapa de la tobera	Activación de la parte eléctrica	Ajuste tuerca de la válvula
<ul style="list-style-type: none"> • Tapa de la tobera • Tobera • Pin guía de la tobera • Aguja de la tobera • DNH • Guía de la tobera • Muelle para la tensión de la tobera • DFK 	<ul style="list-style-type: none"> • Bobina • VFK • Muelle para la tensión de la bobina • UEH • Inducido • Muelle del inducido • RLS • VSS 	<ul style="list-style-type: none"> • Bulón del inducido • Válvula • AH • Esfera y porta esfera • Vástago • Anillo de teflón

Nota. Autores

Las causas para el exceso de retorno pueden deberse a falla en la esfera-porta esfera, anillo de teflón, vástago, válvula y tobera, tal como lo expone (Asqui, 2021) en su investigación, que un mantenimiento adecuado de los inyectores mejora la optimización y rendimiento del motor. Por lo tanto, estos elementos pasan al microscopio para realizar una inspección visual más precisa y exacta con el fin de dar solución al problema de estanqueidad. El cuadro de diagnóstico se tiene en la tabla 7 junto con los valores de calibración para los anillos.

Tabla 7

Observación, soluciones y calibraciones

Elemento	Observación	Solución	Importante
Esfera y porta esfera	Desgaste normal	Pulir lija 1200	---
Anillo de teflón	Desgaste excesivo	Reemplazar	---
Vástago	Rayaduras	Limpieza con pomada	---
Válvula	Desgaste excesivo	Reemplazar	Verificar que no haya bloqueo de los orificios
Tobera	Desgaste normal	Limpieza	---
CALIBRACIÓN			
	Anillo	Valor estándar para prueba con reloj palpador	
	AH	0.045 mm – 0.056 mm	
	RLS	0.06 mm ± 0.01 mm	
	DNH	0.025 mm ± 0.05 mm	

Nota. Autores

Prueba en el equipo de diagnóstico después del mantenimiento

Luego de la limpieza, reemplazo y calibración de los elementos del inyector, se realiza nuevamente la prueba en el equipo de diagnóstico y los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8

Valores estándar y resultados después del mantenimiento

Nombre del paso	Duración activación (µs)	Presión (MPa)	Tiempo medición (s)	Caudal inyección		Caudal retorno		Evaluación
				Valor nominal (mm ³ /H)	Valor real (mm ³ /H)	Valor nominal (mm ³ /H)	Valor real (mm ³ /H)	
Leak test	0	155	200	--- ± ---	---	40,0 ± 40,0	10,57	✓
VL	800	145	90	52,4 ± 8,0	46,20	38,0 ± 20,0	24,78	✓
EM	630	60	40	12,8 ± 4,8	11,96	--- ± ---	---	✓
LL	695	30	40	4,6 ± 3,5	4,05	--- ± ---	---	✓
VE	295	60	40	2,1 ± 1,8	1,00	--- ± ---	---	✓

Nota. Autores

Angulo de atomización

A la hora de estudiar el ángulo del chorro hay que tener cierta precaución ya que su determinación ni es universal, ni es fácil de definir, por lo que se trata de una medida relativamente imprecisa y heterogénea. Así, la determinación del ángulo de chorro puede estar afectada por aspectos tan diversos como: la técnica de visualización utilizada, la intensidad y homogeneidad de la iluminación, criterio de obtención a partir del contorno del chorro, las fluctuaciones que pueda tener ese contorno, etc. Todos estos factores tienen como consecuencia que la medida de

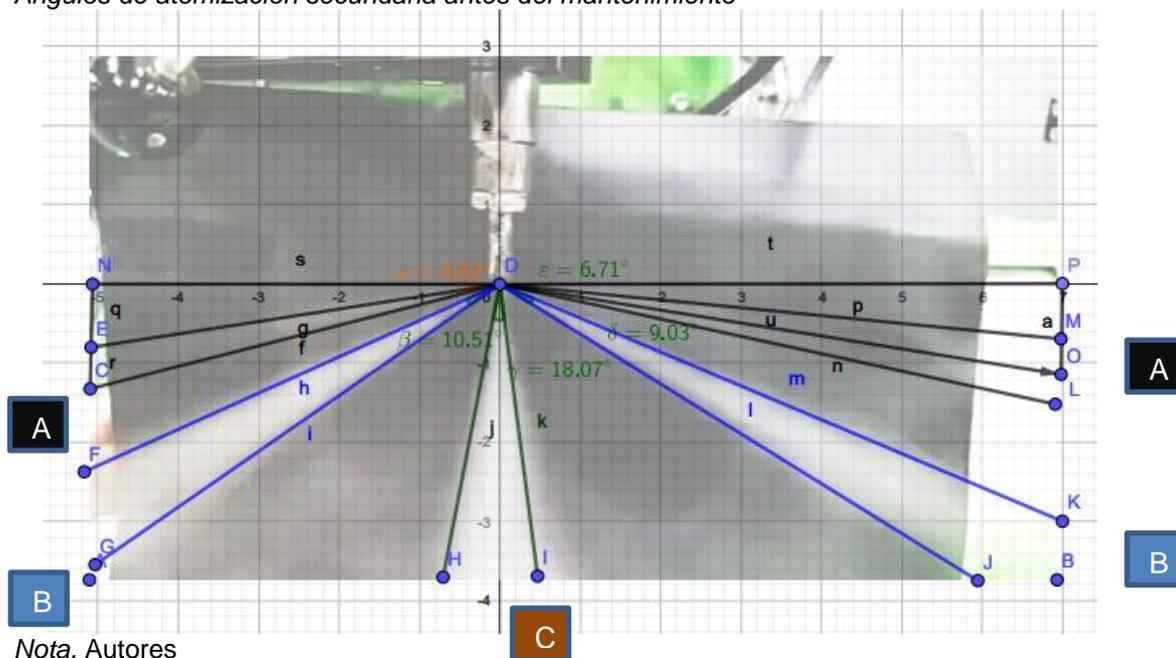
ángulo sea relativamente imprecisa y poco comparable de un autor a otro (Cabezas y Freire, 2018, p. 37). El ángulo de atomización se calcula en base a la ecuación 1, para hallar cada una de las variables se utilizó el programa GeoGebra clásico, de esta manera se obtienen las medidas para el cálculo respectivo.

Inyector antes del mantenimiento

El programa automáticamente calcula el ángulo entre los segmentos, en la figura 5, se tiene el ángulo de atomización en la ruptura secundaria de todos los chorros.

Figura 5

Ángulos de atomización secundaria antes del mantenimiento



Se calcula el mismo ángulo del chorro “A” de la izquierda con la ecuación 2 y con los datos de los segmentos que aparecen en el mismo programa.

Figura 6

Variables de GeoGebra

	$q = \text{Segmento}(E, N)$ $= 0.8$
	$r = \text{Segmento}(C, E)$ $= 0.52$
	$s = \text{Segmento}(D, N)$ $= 5.07$

Nota. Datos proporcionados por el programa GeoGebra utilizados en el cálculo del ángulo de pulverización.
Autores

Cálculo del ángulo A, utilizando las variables del programa GeoGebra

$$yT = tg^{-1} \left(\frac{0,52+0,8}{5,07} \right) - tg^{-1} \left(\frac{0,8}{5,07} \right) \quad (2)$$

$$yT = 14,59 - 8,96$$

$$yT = 5,62^\circ$$

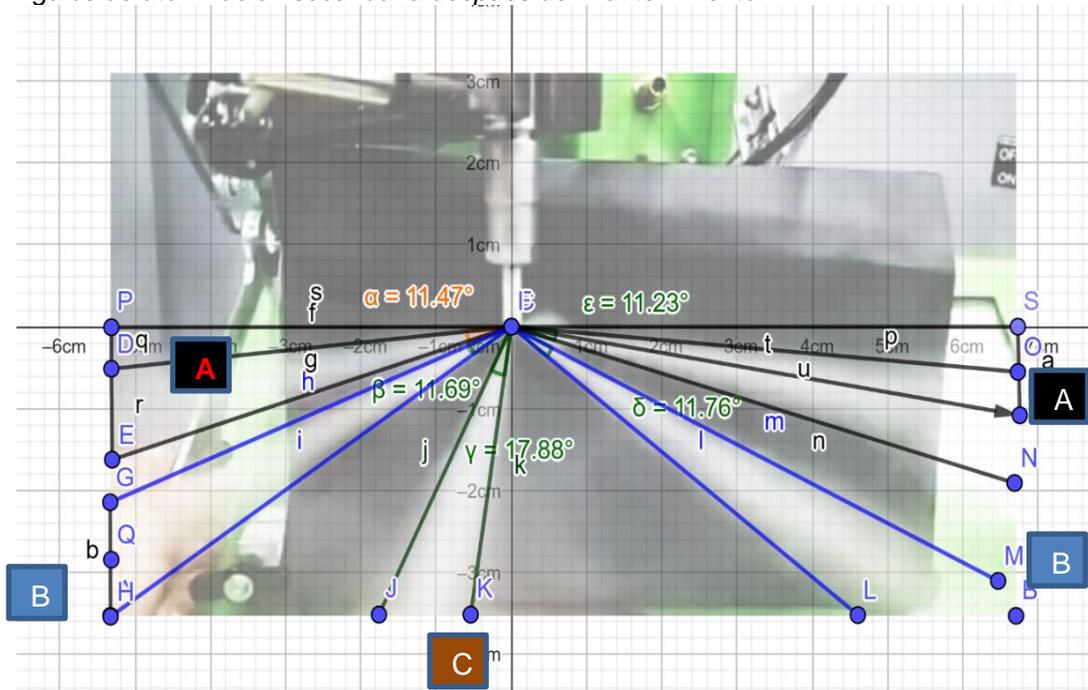
Como se puede evidenciar el valor que se calculó numéricamente es igual al valor encontrado por GeoGebra, al ser el margen de error de cero o mínimo, el resto de los ángulos se calculan con la aplicación y se encuentran en la tabla 9.

Inyector después del mantenimiento

Al igual que el caso anterior, el programa automáticamente calcula el ángulo entre los segmentos, en la figura 7, se tiene el ángulo de atomización en la ruptura secundaria de todos los chorros.

Figura 7

Ángulos de atomización secundaria después del mantenimiento



Nota. Autores

Se calcula el mismo ángulo del chorro A de la izquierda con la ecuación 3 y con los datos de los segmentos que aparecen en el mismo programa

Figura 8

Variables de GeoGebra

 $q = \text{Segmento}(D, P)$
 $= 0.51$
 $r = \text{Segmento}(E, D)$
 $= 1.11$
 $s = \text{Segmento}(I, P)$
 $= 5.32$

Nota. Datos proporcionados por el programa GeoGebra utilizados en el cálculo del ángulo de pulverización.
 Autores

Cálculo del ángulo A, utilizando las variables del programa GeoGebra

$$\begin{aligned}
 yT &= tg^{-1} \left(\frac{1,11+0,51}{5,32} \right) - tg^{-1} \left(\frac{0,51}{5,32} \right) & (3) \\
 yT &= 16,93 - 5,47 \\
 yT &= 11,46^\circ
 \end{aligned}$$

Como el margen de error es mínimo, los demás ángulos se calculan automáticamente con GeoGebra y se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9

Recopilación de ángulos de atomización secundaria

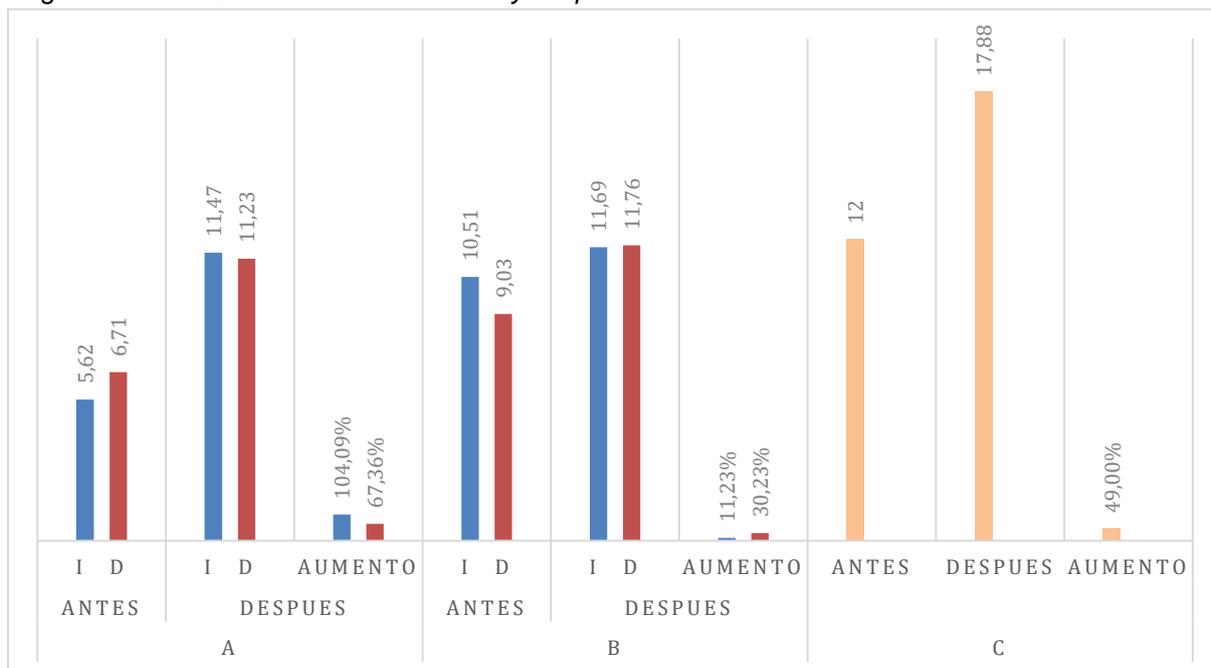
MANTENIMIENTO		
Antes		
Atomización	Ángulo de dispersión	
	Izquierda	Derecha
A	5,62°	6,71°
B	10,51°	9,03°
C	Central	
	18,7	
Después		
Atomización	Ángulo de dispersión	
	Izquierda	Derecha
A	11,47°	11,23°
B	11,69°	11,76°
C	Central	
	17,88	

Nota. Autores

Como se puede ver en la tabla 9, los valores del antes y después varían de manera considerable, esto debido al mantenimiento que se realizó en el inyector, como la limpieza, calibración en el proceso de armado y el cambio de partes internas que no servían como el anillo de teflón y la válvula.

Figura 9

Ángulos de atomización secundaria antes y después del mantenimiento



Fuente: Autores

Los ángulos de dispersión antes del mantenimiento son bajos y claramente luego del mantenimiento aumentan, lo que determina que el área de penetración porcentual mejora en la pre-inyección y post-inyección (Barrera, 2020), esto implica una atomización más homogénea en el interior del cilindro, además, a simple vista en la figura 7, la pulverización no tiene un gran alcance ni una buena dispersión, razón por la cual los ángulos son menores.

Conclusiones

El proceso para la revisión y posterior reparación lleva un orden a seguir, siempre antes de montar en cualquier equipo de diagnóstico, es necesario realizar las comprobaciones eléctricas como medida de resistencia, aislamiento, etc. Cuando el inyector pasa estas comprobaciones se procede a instalar en el equipo para las pruebas según el tipo de marca.

En el equipo de diagnóstico se puede saltar la prueba de estanqueidad en caso de no aprobar, esto con el fin de analizar el parámetro de atomización en plena carga y tener la comparativa de un inyector antes de cualquier mantenimiento y con problemas de retorno.

Una de las posibles causas para que el inyector no pase la prueba de estanqueidad es la falla interna de algunos de sus componentes, como porta-esfera, esfera, anillo de teflón, vástago, válvula y tobera. Es necesario realizar una inspección visual precisa, por lo que con ayuda de un microscopio se determina el origen del

problema y los tratamientos para mejorar el estado de los elementos que aún pueden seguir en operación.

El ángulo de atomización varía notablemente, como se midió antes del mantenimiento y después del mismo, se puede ver el cambio en los grados. Los ángulos antes de cualquier tratamiento son inferiores, varias son las causas para que esto suceda, primero es que al no tener una limpieza los orificios de la tobera se encuentran obstruidos y es la causa principal, además como se omite la prueba de estanqueidad, los elementos internos pueden estar defectuosos y eso influye negativamente en los grados de atomización que a la final en la ruptura secundaria de la atomización no van a alcanzar a homogenizar todo el interior del cilindro para una correcta combustión.

Una vez que se realice cualquier tratamiento en el inyector y verificado que apruebe todas las revisiones en el equipo de diagnóstico, se analiza el parámetro de atomización, y según los resultados obtenidos el ángulo aumenta, esto debido al tratamiento que se le da a los elementos internos en el proceso de armado. Cuando un inyector no pasa la prueba de estanqueidad se suspenden las siguientes, se desmonta y se desarma, al final de este proceso, la revisión es fundamental para descartar piezas en mal estado y siempre es necesario la limpieza o tratamiento de todas las demás piezas así no se cambien, estos procesos van a beneficiar en el aumento de los grados de atomización. Además, en el proceso de armado hay que tener la carta de reparación del inyector para la calibración de los anillos.

El anillo de teflón y la válvula del inyector se reemplazó debido al desgaste excesivo y eran el problema de la causa de retorno excesivo, los tratamientos secundarios contribuyen en la mejora del funcionamiento. Luego de la limpieza de los orificios de la tobera se consigue como ventaja una pulverización perfecta y el beneficio va a ser una combustión completa.

El mantenimiento de la tobera es importante y ante la presencia de cualquier tipo de falla en el proceso de combustión como la de humos en el escape, tanto negra como blanca, así como el aumento de consumo o pérdida de potencia en el motor. Se tiene que desmontar para una limpieza y después probar la pulverización, si no se logra una correcta atomización no se podrá quemar el combustible en su totalidad, pues es fundamental la microgota, como buena pulverización, para dar forma a una combustión lo más perfecta posible. De no ser así, la distribución del diésel no va a ser homogénea. Mientras más pequeñas son las gotas más fácilmente se queman. Aun así, las gotas no son todas iguales, va a variar y es lo que se puede ver en el cálculo del ángulo de atomización, ya que de los grados del ángulo depende la buena dispersión en todas las paredes del cilindro en la combustión.

Referencias

- Almendariz, C., & Naranjo, L. (2022). Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29297/1/T-ESPEL-MAI-0731.pdf>
- Amaya, M. (2020). Tendencias.com. Obtenido de Que es el metodo cuantitativo, características y diferencia con el cualitativo: <https://tendencias.com/life/que-es-el-metodo-cuantitativo/>
- Asqui, G., (2021). Optimización del rendimiento del motor a diesel Mercedes Benz sprinter mediante la mejora de inyectores electromagnéticos. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8219371>
- Barrera., (2020). Influencia de las estrategias de inyección múltiple en la caracterización del chorro diésel empleando inyectores diésel tipo solenoide y piezoeléctrico. Obtenido de: http://somim.org.mx/memorias/memorias2020/articulos/A4_120.pdf
- Borrego, S. (2018). Estudio de los efectos de la estrategia de inyección piloto sobre el proceso de mezcla en un motor diésel. Obtenido de Universidad Autónoma de Nuevo León: <http://eprints.uanl.mx/15945/1/1080291097.pdf>
- BOSCH. (2014). Scribd. Obtenido de EPS 205: <https://es.scribd.com/document/407477048/EPS-205-pdf>
- Cabezas, C., & Freire, E. (2018). Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores marca bosch serie 0 445 110 290 y 0 445 110 293 utilizados en el sistema CRDI (common rail diesel injection). Obtenido de Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14029/1/T-ESPEL-MAI-0619.pdf>
- Castrol.(2012). Castrol. Obtenido de Calibration oil 4113 <https://www.unilub.eu/en/webshop/service-products/castrol-calibration-oil/castrol-calibration-oil-4113>
- Coral, F. (2013). DSpace ESPOCH. Obtenido de <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/2963/1/65T00090.pdf>
- Chavez , M. (2013). Modelado CFD Euleriano-Lagrangiano del chorro diesel y evaluación de su combinación con modelos fenomenológicos y udimensionales. Obtenido de Doc player: <https://docplayer.es/1359582-Universidat-politecnica-de-valencia-departamento-de-maquinas-y-motores-termicos.htm>
- Dokumen. (s.f.). Dokumen. Obtenido de Aceite de calibracion ISO 4113: <https://dokumen.tips/documents/aceite-de-calibracin-iso-4113-common-rail-common-rail-de-sistemas-de-alimentacin.html?page=1>
- Heywood, J. (1998). Internal Combustion Engine Fundamentals. En J. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals (págs. 540-541). TATA McGRW-HILL

- Mora, C., Altamirano, D., Guasumba, J., & Cabascango, C. (2022). Polo del conocimiento. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8482966>
- Noboa, J., & Vargas, D. (2017). Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores marca Denso, "05S00047" y "06S00387" del sistema de inyección CRDI (common rail diesel injection). Obtenido de Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13435/2/ESPEL-MAI-0608-P.pdf>
- Ren, X., & Li, X. (2016). Assessment and Validation of Liquid Breakup Models for High-Pressure Dense Diesel. Obtenido de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-016-0407-9>
- Reyes, J. (2018). Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8354/1/04%20MAUT%20065%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Salas, S. (2021). Scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/523324678/gregorio-TIPOS-DE-SENSORES>
- Suntaxi Christian, Auz, S., & Lisintuña, J. (2018). Estudio de la entrega de carga en inyectores CRDI en periodo de mantenibilidad. Obtenido de Library: <https://1library.co/document/zlgw2ory-estudio-entrega-carga-inyectores-crdi-periodo-mantenibilidad.html>
- Vergel, N., Piero, J., & Orejuela, S. (2020). Estudio sobre el modelado del chorro de inyección en motores de combustión interna diesel con aplicaciones didácticas. Obtenido de Revista redipe: <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1365/1281>
- Vilánez, B., & Sacancela, L. (2017). Repositorio digital UIDE. Obtenido de <https://docplayer.es/54258020-Universidad-internacional-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-mecanica-automotriz.html>
- Vsip. (2022). Inyectores CRDi. Obtenido de VSIP: <https://vsip.info/inyectores-crdi-pdf-free.html#Aponte+Yampier>
- Yacelga, C., & Pinto, S. (2022). Polo del conocimiento. Obtenido de <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/4653/11172>

Revista Científica Unanchay ISSN 2953-6707

Equipo editorial

Directora de la revista

PhD. Ana Teresa Berrios Rivas - Doctorado en Educación: Tecnología Instruccional y Educación a Distancia

<https://orcid.org/0000-0002-0101-176X>

Editor

MSc. Christian Patricio Cabascango Camuendo - Magíster en Diseño Mecánico con Mención en Fabricación de Autopartes

<https://orcid.org/0000-0002-8883-782X>

Secretaria

Lic. Noelia Betsabé Goldstein Molina - Licenciada en Ciencias Políticas y Sociales

<https://orcid.org/0000-0002-8883-782X>

Administrador Tecnológico

MSc. Christian David Moscoso G. -Ingeniero en Sistemas de la Información.

<https://orcid.org/0000-0003-1557-400X>

Diseñadora Gráfica

Tloga. Sandy Carapaz Chicaiza - Tecnóloga en Diseño Gráfico.

<https://orcid.org/0000-0001-9948-3898>

COMITÉ EDITORIAL

- *MSc. Carmita Alexandra Oñate Haro. Magíster en Gestión del Transporte con mención en tráfico, movilidad y seguridad vial. Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano. Quito, Ecuador.*
- *MSc. Richard Andrés Cabrera Armijos. Magister en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial. Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano. Quito, Ecuador.*
- *Dr. Alcides Aranda. Doctor en Pensamiento Complejo y Construcción Transdisciplinaria del Conocimiento. Quito, Ecuador.*
- *PhD. Jose Andres Castillo Reyes. Doctor en Educación Superior. Quito, Ecuador.*
- *MSc. Johnny Marcelo Pancha Ramos. Magister en Sistemas Automotrices. Quito, Ecuador.*
- *PhD. Raúl Gutiérrez Alvarez. PhD en Ingeniería Energética, Química y Ambiental. Riobamba, Ecuador.*
- *MSc. Juan Fernando Iñiguez Izquierdo. Magister Gerencia y Liderazgo Educativo. Quito, Ecuador.*
- *MSc. Franz Paul Guzmán Galarza. Magister en Seguridad salud y Ambiente. Quito, Ecuador.*