

NÚMERO 3
JUNIO 2023
ISSN 2737-6036
RIOBAMBA
ECUADOR



TECH

• CARLOS CISNEROS •

REVISTA DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO TECNOLÓGICO
E INNOVACIÓN

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
PARA LA EDUCACIÓN TÉCNICA

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS

Av. La Paz y México
itscarloscisneros@hotmail.com
RIOBAMBA - ECUADOR
www.istcarloscisneros.edu.ec

Edición N° 03
RIOBAMBA - ECUADOR, 2023
Publicación Anual
revistatech@istcarloscisneros.edu.ec
REVISTA DIGITAL

Los trabajos firmados son de responsabilidad de cada autor.
Prohibida la reproducción total o parcial de esta revista,
por cualquier medio, sin permiso expreso del fondo editorial.
Se puede acceder a una versión en PDF en

<http://revistatech.istcarloscisneros.edu.ec>





CONSEJO EDITORIAL

Director

Ing. Francisco Nájera, Mgs.

ISU Carlos Cisneros

Editor Responsable

Ing. Roberto Larrea Luzuriaga PhD.

ISU Carlos Cisneros

Editora Ejecutiva y Secretaria

Ing. Cristina Orozco, M_Eng

ISU Carlos Cisneros

Diseño y Diagramación

Ing. Fernando Garzón

ISU Carlos Cisneros

APOYO EDITORIAL

Traductor de Inglés

Lic. Gabriela Illicachi

ISU Carlos Cisneros

Equipo Técnico

Mgs. Jorge Chávez

ISU Carlos Cisneros

Mgs. Renny Montalvo

ISU Carlos Cisneros



TECH

COMITÉ CIENTÍFICO

<i>PhD. David Moreno</i>	ESPOCH
<i>PhD. Gustavo Orozco</i>	UNACH
<i>PhD. Leonardo Rentería</i>	UNACH
<i>PhD. Margarita Mayacela</i>	UTA
<i>PhD. Marta Lucía Ávalos</i>	UNACH
<i>PhD. Patricio Humanante</i>	UNACH
<i>MSc. Christiam Núñez</i>	UNACH
<i>MSc. Edgard Brossard</i>	IST RIOBAMBA
<i>MSc. Fabricio Santacruz</i>	ESPOCH
<i>MSc. Javier Jaramillo</i>	ISU CARLOS CISNEROS
<i>MSc. Marcel Paredes</i>	UNACH
<i>MSc. Vanessa Vásconez</i>	UNACH

TEC **ÍNDICE**

PRÓLOGO 06

EDITORIAL 08

**DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL
BASADA EN REALIDAD AUMENTADA
PARA EL CONTROL DE UNA BANDA TRANSPORTADORA 11**

A MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT
BASED ON INCREASED REALITY TO CONTROL A CONVEYOR BAND

**ESTUDIO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL
ENTRE LOGO V8Y VARIADOR DE FRECUENCIA ABB 16**

STUDY OF DATA TRAFFIC BETWEEN
LOGO V8 AND ABB VARIABLE
FREQUENCY DRIVE IN A LOCAL NETWORK

**DISEÑO DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL MEMORIZADO
DE PIEZAS SMA MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO 26**

DESIGN OF AN ELECTRIC FURNACE FOR THE STORAGE
OF SMA PARTS BY MEANS OF HEAT TREATMENT

**HORMIGÓN A BASE DE FIBRAS DE ZANAHORIA PARA
POTENCIALIZAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS 45**

CONCRETE BASED ON CARROT FIBERS TO
POTENTIALIZE ITS MECHANICAL PROPERTIES

**AULA INVERTIDA COMO ESTRATEGIA EDUCATIVA
PARA MEJORAR EL USO DE INSTRUMENTOS DE METROLOGÍA 53**

INVERTED CLASSROOM AS AN EDUCATIONAL STRATEGY
TO IMPROVE THE USE OF METROLOGY INSTRUMENTS

**ESTUDIO COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE RUTEO EN
REDES MALLADAS USANDO GNS3 65**

ROUTING PROTOCOLS COMPARATIVE STUDY
IN MESH NETWORKS USING GNS3



PRÓLOGO



Ing. Cristina Alejandra Orozco Cazco M_Eng

*COORDINADORA DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN
INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO CARLOS CISNEROS
RIOBAMBA -ECUADOR*

La revista Tech Carlos Cisneros, se ha desarrollado con la finalidad de crear un espacio de divulgación técnica y científica, donde docentes y estudiantes de diferentes Instituciones de Educación Superior contribuyen a la publicación de cada edición de la revista multidisciplinaria.

Estimados lectores, en esta tercera edición nos complace en publicar 6 artículos, que reportan nuevos conocimientos, con pertinencia local y nacional en diferentes disciplinas. Esperamos que esta edición continúe promoviendo la participación de los lectores en nuestras publicaciones y que sus artículos sean de referencia en futuros estudios.

Realizamos una cordial invitación a nuestros lectores e investigadores a publicar los resultados de sus investigaciones en la revista TECH Carlos Cisneros. Asimismo invitamos a la comunidad académica y científica a leer esta tercera edición, que muestra los esfuerzos del equipo editorial para incrementar el alcance de divulgación e impacto de las investigaciones de nuestros autores. Además, extendemos nuestro agradecimiento a los pares revisores que han contribuido a seleccionar y perfeccionar los trabajos presentados en esta edición.

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO

ISUCC

Carlos Cisneros

RIOBAMBA

EDITORIAL



Ing. Roberto Alejandro Larrea Luzuriaga PhD

EDITOR REVISTA TECH

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO CARLOS CISNEROS

RIOBAMBA -ECUADOR

La investigación y la innovación en las instituciones de educación superior son los pilares para el desarrollo de los sectores productivos de la sociedad, enfocándose en aspectos en los que destacan el perfeccionamiento a nivel de eficiencia, incremento de la producción a través de la tecnificación de los procesos, mejoramiento continuo de su infraestructura, entre otros.

La vinculación de la empresa y otros sectores de la industria por medio de proyectos de innovación y desarrollo generados en Universidades, Politécnicas e Institutos Superiores Universitarios y Tecnológicos, deben enfocarse en solventar las diversas problemáticas y retos que la sociedad demanda en razón de mejorar el estilo de vida de la población. Los espacios de divulgación científica y tecnológica tienen como objetivo acercar a la población hacia temáticas que se desarrollan en diversas áreas de interés con directrices de mejoramiento, desarrollo tecnológico y generación de conocimiento.

La revista de publicación abierta TECH proporciona dichos espacios para investigadores, docentes y estudiantes que realizan actividades de investigación y desarrollan trabajos originales, cuyos resultados son de interés y contribuyen en el ámbito de la ciencia y la academia, como soluciones originales que aportan y que pueden ser accedidos por toda la comunidad. La presente edición de la revista de ciencias multidisciplinarias presenta diversos trabajos, fruto de investigaciones realizadas cuyos resultados son relevantes para la sociedad y comunidad científica.





DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL BASADA EN REALIDAD AUMENTADA PARA EL CONTROL DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

A MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT
BASED ON INCREASED REALITY TO CONTROL A CONVEYOR BAND



DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL BASADA EN REALIDAD AUMENTADA PARA EL CONTROL DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

A MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT BASED ON INCREASED REALITY TO CONTROL A CONVEYOR BAND

Jimmy Alexander Valencia Barona¹,
Kevin Josué Ojeda Aguilar²,
David Alejandro Ulloa Carvajal³

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, jimmy.valencia@esPOCH.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, kevin.ojeda@esPOCH.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, david.ulloa@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Este artículo presenta el desarrollo de una aplicación móvil basada en realidad aumentada para controlar una cinta transportadora en la industria 4.0. La aplicación se creó utilizando los programas Unity y Vuforia y se diseñó una cinta transportadora con el software Fusion 360. Además, se implementó un panel de control en la plataforma web Ubidots para supervisar y controlar los parámetros de la cinta transportadora de Lucas Nulle en el laboratorio de Industria 4.0. Los resultados demuestran que la realidad aumentada puede ser una herramienta útil para mejorar el control y la supervisión de las operaciones en la industria 4.0. Se concluye que este enfoque es una forma dinámica para que los estudiantes utilicen plataformas IoT.

Palabras clave: Realidad aumentada, Industria 4.0, Aplicación móvil, banda transportadora, control y supervisión.

ABSTRACT

This article presents the development of an augmented reality-based mobile application for controlling a conveyor belt in Industry 4.0. The application was created using Unity and Vuforia software, and a conveyor belt was designed with Fusion 360 software. Additionally, a dashboard was implemented on the Ubidots web platform to monitor and control the parameters of the Lucas Nulle conveyor belt in the Industry 4.0 laboratory. The results demonstrate that augmented reality can be a useful tool to improve control and supervision of operations in Industry 4.0. It is concluded that this approach is a dynamic way for students to use IoT platforms.

Keywords: Augmented reality, Industry 4.0, Mobile application, Conveyor belt, Control and supervision.

Recibido: 01/02/2023

Aceptado: 05/04/2023

Received: 01/02/2023

Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada ha sido una tecnología emergente en la última década, y ha encontrado aplicaciones en diferentes campos de la industria. En particular, ha sido utilizada para mejorar el control y la supervisión de procesos en la industria 4.0, como en el caso de las cintas transportadoras. Existen varios trabajos previos que han explorado el uso de la realidad aumentada para el control y la supervisión de cintas transportadoras en la industria 4.0.

Por ejemplo, en [1], desarrollaron una aplicación móvil basada en realidad aumentada para el control de cintas transportadoras. Rizvi, Raza y Shah [2], utilizaron la realidad aumentada para el entrenamiento en el uso de cintas transportadoras. En [3], crearon una aplicación móvil para la inspección de cintas transportadoras utilizando realidad aumentada. Liu, Sun y Zhang [4], diseñaron un sistema de entrenamiento para el mantenimiento de cintas transportadoras basado en realidad aumentada. Finalmente, Ahmed, Timm-Giel y Helfert [5] desarrollaron un sistema de monitoreo remoto basado en realidad aumentada para cintas transportadoras.

En este artículo, se presenta el desarrollo de una aplicación móvil basada en realidad aumentada para el control de cintas transportadoras en la industria 4.0, construida sobre la base de los trabajos previos en esta área.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El principal objetivo de este estudio es desarrollar una aplicación móvil basada en realidad aumentada para el control y supervisión de una banda transportadora con enfoque en la Industria 4.0.

METODOLOGÍA

Para lograr con el objetivo de la investigación la metodología se dividió en cuatro etapas principales que se describen a continuación:

Desarrollo de la aplicación móvil:

Se utilizó Vuforia, un motor de reconocimiento de imagen y seguimiento de objetos en tiempo real para Unity, donde se generó la imagen de la banda transportadora para importar a Unity.

También se utilizó el software Unity, un motor de juego multiplataforma que permite el desarrollo de aplicaciones móviles basadas en realidad aumentada. Aquí se instaló las librerías de Vuforia para agregar la imagen creada, además se carga el diseño de la banda transportadora generado en Fusion 360. Finalmente se generó el archivo APK para Android.

Diseño de la banda transportadora:

Para el diseño de la banda transportadora se utilizó el software Fusion 360 de Autodesk. Se creó una estructura de aluminio y se agregaron componentes como motores, sensores, ruedas, PLC y una banda transportadora.

Programación del controlador lógico programable (PLC):

Se utilizó el software TIA Portal de Siemens, se creó el programa para el funcionamiento de la banda transportadora, en el cual fue necesario tomar en cuenta los requerimientos para lo cual fue necesario conocer el esquema eléctrico de la banda transportadora obteniendo la dirección de las entradas y salidas del PLC.

Implementación del dashboard en Ubidots:

Se creó un dashboard en la plataforma Ubidots para el monitoreo y control de los parámetros de la banda transportadora Lucas Nulle en el laboratorio de la Industria 4.0.

Se utilizó Node-red para la comunicación entre TIA Portal y Ubidots, donde se instaló las librerías correspondientes para desarrollar el dashboard y obtener la comunicación.

En Ubidots se creó una cuenta e ingresó el label y token para tener acceso al dispositivo en Node-Red, se asignó indicadores y botones para el control de la banda transportadora.

En general, esta metodología combina el diseño y modelado de hardware, programación de controladores, desarrollo de aplicaciones móviles basadas en realidad aumentada y configuración de dashboard en la plataforma web, con el objetivo de proporcionar una solución integrada para el control y monitoreo en tiempo real de la banda transportadora en la industria 4.0.

MATERIALES

En la implementación de la aplicación móvil se utilizó un teléfono inteligente con sistema operativo Android y una cámara de alta resolución para el seguimiento de imágenes en tiempo real.

3. RESULTADOS

En la Fig. 1 se muestra la banda transportadora que se elaboró en Fusion 360, que permite al usuario tener una mejor visión de la banda transportadora en un plano tridimensional.

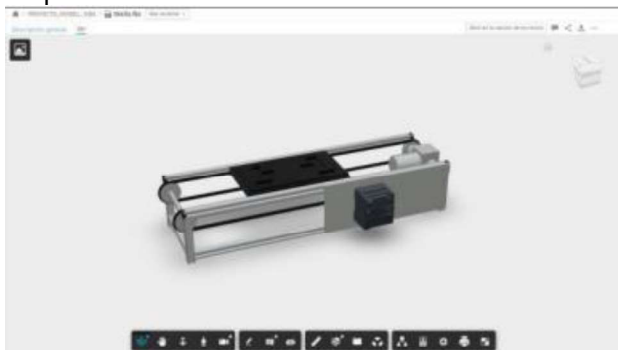


Fig. 1: Banda transportadora generada en el software Fusion 360.

Al escanear en la aplicación móvil mediante la cámara de un dispositivo Android se presenta la portada como se muestra en la Fig. 2



Fig. 2: Portada del programa en la aplicación móvil.

En la Fig. 3, se muestra la interfaz de la aplicación móvil desarrollada, que permite al usuario controlar el encendido y apagado de la banda transportadora, así como su velocidad de operación. Se pueden observar los controles virtuales que se activan al apuntar la cámara del dispositivo móvil hacia la banda transportadora.

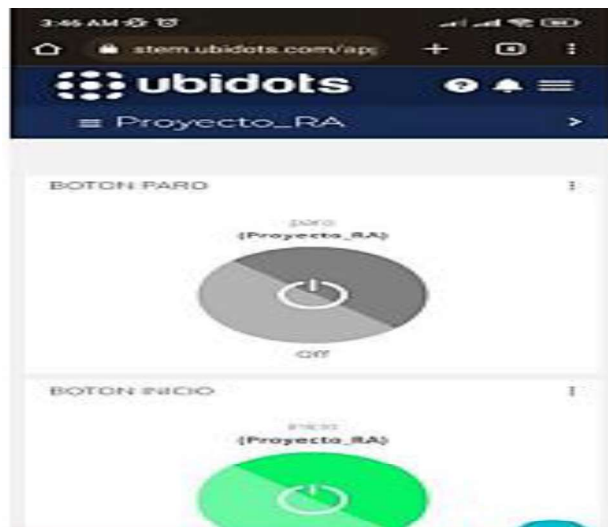


Fig. 3: Dashboard de la banda transportadora en Ubidots.

Los resultados indican que la aplicación móvil basada en realidad aumentada desarrollada en este estudio es una herramienta útil y efectiva para el control y supervisión de operaciones en la Industria 4.0, y que puede ser utilizada de manera dinámica por estudiantes en plataformas de IoT.

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar una aplicación móvil basada en realidad aumentada se tiene una noción más clara de que es lo que se está controlando y supervisando pudiendo cambiar de ventanas con botones digitales en esta app, intercalando entre la cámara RA y el servidor web, teniendo acceso absolutamente a todo lo que hemos realizado.

Con los resultados obtenidos se establece que la aplicación móvil con base a la realidad aumentada utilizando el software Unity tiene una gran ventaja ya que es software con ventajas para cargar diseños tridimensionales, logrando con esto tener una mejor perspectiva de la banda transportadora, además en la plataforma Ubidots se muestra un dashboard que permite el control y supervisión de la banda, siendo así una herramienta con gran utilidad en la Industria 4.0 para lograr una eficiencia en el control de la banda.

A comparación de los resultados de la investigación con los de otros trabajos similares, se observa que en todos se utiliza la realidad aumentada como una

herramienta que mejore el funcionamiento de la banda transportadora en la Industria.

Los trabajos similares presentan resultados positivos en cuanto al uso de la realidad aumentada en la industria de la banda transportadora, en particular en términos de mejoras en la eficiencia y la reducción de costos. Nuestro estudio aporta una contribución adicional al presentar una aplicación móvil basada en realidad aumentada para el control de la banda transportadora en tiempo real, lo que permite una mayor eficiencia en el mantenimiento y la toma de decisiones.

5. CONCLUSIÓN

La aplicación móvil de realidad aumentada desarrollada en este estudio ha demostrado ser efectiva en el control de una banda transportadora, mejorando la eficiencia y la precisión del monitoreo y la supervisión de la banda. Sin embargo, esta aplicación tiene limitaciones en términos de compatibilidad con diferentes dispositivos móviles y puede requerir una mayor adaptación para diferentes entornos industriales. En el futuro, se podrían explorar soluciones para mejorar la adaptabilidad y escalabilidad de la aplicación, así como ampliar el alcance del estudio a otras áreas de la industria.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Arbab, M.N., & Wagan, A.I. (2019). Development of a Mobile Application based on Augmented Reality for Control of Conveyor Belts. 2019 International Conference on Computer, Control and Communication (IC4), Karachi, Pakistan, pp. 1-6.

[2] Rizvi, S.A., Raza, S.H., & Shah, S.A.A. (2018). Augmented Reality Application for Conveyor Belt Training. 2018 International Conference on Intelligent Computing and Optimization (ICO), Pattaya, Thailand, pp. 196-200.

[3] Dugar, D.D., & Karmarkar, A.V. "Development of a mobile application for conveyor belt inspection using augmented reality," 2018 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECOT), Mysore, India, 2018, pp. 2405-2409.

[4] Liu, G., Sun, L., & Zhang, W. "Augmented Reality-Based Conveyor Belt Maintenance Training System," 2020 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA), Nanjing, China, 2020, pp. 429-434.

[5] Ahmed, S., Timm-Giel, A., & Helfert, M. "Augmented Reality-based Remote Monitoring of Conveyor Belt Systems," 2020 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), Cluj-Napoca, Romania, 2020, pp. 1-6.



ESTUDIO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL ENTRE LOGO V8Y VARIADOR DE FRECUENCIA ABB

STUDY OF DATA TRAFFIC BETWEEN
LOGO V8 AND ABB VARIABLE
FREQUENCY DRIVE IN A LOCAL NETWORK



ESTUDIO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL ENTRE LOGO V8 Y VARIADOR DE FRECUENCIA ABB

STUDY OF DATA TRAFFIC BETWEEN LOGO V8 AND ABB VARIABLE FREQUENCY DRIVE IN A LOCAL NETWORK

Juca Rodríguez Cristian Ronaldo¹

Lara Márquez Brayan Javier²

Tarco Chafra Daniela Alexandra³

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, cristian.juca@esPOCH.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, brayan.lara@esPOCH.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, daniela.tarco@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH, con el objetivo principal de analizar el tráfico generado por una conexión entre un Controlador Lógico Programable (PLC) y un Variador de Frecuencia, que controla la velocidad de un motor trifásico. Para realizar este análisis, se consideró el número de tramas transmitidas por unidad de tiempo, que se identificaron mediante el uso de un software capaz de reconocer los diferentes protocolos de transmisión del modelo TCP/IP. Se determinaron los niveles de seguridad para la transmisión de datos y el acceso a Internet en el monitoreo remoto en tiempo real a partir de los protocolos estudiados.

Palabras clave: Tráfico de red, S7COMM, PLC, Servidor web, Protocolos de red.

ABSTRACT

The present study was carried out at the Faculty of Computer Science and Electronics at ESPOCH, with the main objective of analyzing the traffic generated by a connection between a Programmable Logic Controller (PLC) and a Frequency Inverter, which controls the speed of a three-phase motor. To perform this analysis, the number of frames transmitted per unit of time was considered, which were identified using software capable of recognizing the different transmission protocols of the TCP/IP model. The levels of security for data transmission and access to the Internet were determined in real-time remote monitoring based on the studied protocols.

Keywords: Network traffic, S7COMM, PLC, Web server, Network protocol.

Recibido: 31/01/2023
Received: 31/01/2023

Aceptado: 05/04/2023
Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

El tráfico de datos hace referencia como los paquetes, unidades de datos fundamentales más pequeñas que se transmiten a lo largo de una red. El tráfico consiste en dividir estos paquetes para su transmisión y volver a ensamblarse en el destino. [1]

El estudio del tráfico de red se establece como un método de seguimiento de la actividad de la red para detectar problemas de seguridad y operación.

En la Fig. 1. se muestran los elementos que se involucran en el tráfico de una red, donde la plataforma SOC es el centro de operaciones de seguridad, que monitorea, previene, detecta, investiga y responde a las amenazas cibernéticas. [2]

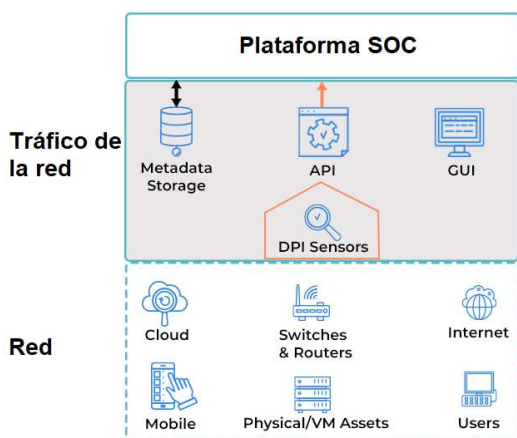


Fig. 1. Descripción general del tráfico en una red

Entre los aspectos más importantes por los cuales se debería realizar un análisis de la red son:

Detección automática de anomalías. – Las soluciones de análisis de tráfico de red atribuyen comportamientos a activos específicos proporcionando un amplio contexto para que los equipos de seguridad decidan si una alerta merece una respuesta. [3]

Disponibilidad de red. – El análisis del tráfico de red proporciona información detallada sobre la disponibilidad y el tiempo de actividad de las redes; detectando el tiempo de inactividad causado por interfaces de red defectuosas y falta de disponibilidad de subredes, así como otros obstáculos para la disponibilidad. [3]

Rendimiento de la red. – El rendimiento mejora cuando se realiza un seguimiento en los equipos de TI, al proporcionar una descripción general del uso de recursos, a través de un análisis del tráfico de red. Esto

contribuye a identificar las conexiones de red que requieren actualizaciones mediante la localización de aquellas que carecen del ancho de banda necesario para completar una tarea de forma rápida. [3]

Visibilidad robusta. – La creciente adopción de la computación en la nube, e IoT ha evidenciado un crecimiento en los entornos de trabajo remotos, por lo que ha hecho que el mantenimiento de una red sea un proceso complejo. El análisis del tráfico de red genera información que otras fuentes de datos no pueden lograr. [3]

Seguridad mejorada. – En los últimos años han existido numerosos ciberataques, entre los que se destacan: STUXNET [4], SLAMMER [5] y MARIPOSA [6], estos evidencian las vulnerabilidades que presentan los sistemas de control industrial (ICS) frente a amenazas cibernéticas, además de los casos mencionados. Se evidencia que el objetivo de los ciberataques no es elegido al azar, pues las consecuencias pueden llegar a ser desastrosas tanto en lo que respecta al medio ambiente, como a la economía de la empresa y a la salud de las personas.

Por lo expuesto, resulta evidente que el diseño de un sistema de control industrial moderno sea este dedicado para una infraestructura crítica o no, debe contemplar desde su concepción un plan de análisis de tráfico de datos con la finalidad de proteger los activos de la empresa, para garantizar la disponibilidad de sus procesos, la integridad de los datos que se manejan y la confidencialidad de estos.

Las vulnerabilidades en las redes IT, no son la única opción que existe para comprometer una planta industrial, pues un ICS puede ser atacado de manera directa a través de los dispositivos de campo, esto debido a las debilidades de diseño que presentan los equipos de control y monitoreo industrial como se evidencia en [7].

Una alternativa para detectar este tipo de malware es también el análisis de tráfico de red, mediante este se consigue monitorear la disponibilidad y la actividad de la red para identificar anomalías, incluidos problemas operativos y de seguridad. Recopilando registros históricos en tiempo real de lo que sucede en su red, a través de la detección y uso de protocolos mejorando la visibilidad interna y eliminando los puntos ciegos

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El presente trabajo inició con una revisión bibliográfica que permitió identificar trabajos previos realizados, tomando como referencia la investigación de la Universidad de Chile [8] la cual propone un análisis de datos de redes para seguridad mediante la ejecución de simulaciones de tráfico web en diferentes condiciones para capturar el comportamiento a nivel de la capa de Internet.

La metodología de investigación utilizada fue la inductiva, estableciendo premisas singulares de cada caso estudiado a través de la observación de las gráficas resultantes del tráfico de datos para posteriormente establecer una conclusión general.

Para la situación de estudio propuesta, se requiere una selección adecuada de componentes, ya que no todos los PLC tienen las características necesarias para conectarse a la red y algunos modelos necesitan módulos adicionales para su conexión.

Los parámetros técnicos y selección de componentes se desglosarán a continuación; considerando los equipos existentes en el laboratorio de Industria 4.0 de la Facultad de Informática y Electrónica.

- ☐ Especificaciones del PLC
- ☐ Especificaciones del Motor
- ☐ Detalles del Variador de Frecuencia
- ☐ Descripción del Editor Web
- ☐ Parámetros técnicos
- ☐ Implementación

Especificaciones del PLC

SIEMENS LOGO 8.3. – Tiene la capacidad de conectarse y permitir almacenamiento permanente en la nube alcanzando el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Adicional, se puede crear dashboard usando la herramienta LOGO Web. [9]

La encriptación de seguridad se realiza mediante *Transport Layer Security*, al tener la comunicación con la nube integrada también se puede utilizar como gateway para Modbus TCP/IP. [9]

Especificaciones del Motor

Se trabajó con un motor trifásico jaula de ardilla cerrado de hierro fundido de tipo M2QA. El modelo al cual se tuvo acceso fue 90S4A, con potencia de 1kW e IP55 - IC

411, con aislamiento clase F / ΔT B y voltaje de 220-230 YY y 440-460 Y. [10]

Detalles del Variador de Frecuencia

De los modelos existentes: ABB ACS 350 y Lenze 152X2, se seleccionó el primero debido a sus características.

El ACS 350, puede trabajar en rangos de voltaje de 200 - 240 V y 380 - 480 V. Soporta los buses de campo: DeviceNet, PROFIBUS DP, CANopen, Modbus RTU y Ethernet. [11]

Descripciones del Editor Web

Existen varios editores web para diseñar *dashboard*, sin embargo en este trabajo se considerarán dos: Logo Web Server, Node-Red.

Logo Web Server. – software que permite web sites personalizados, que se utilizan para controlar y monitorear tareas automatizadas en LOGO. A través de los componentes se puede integrar valores digitales y analógicos [12].

Node-Red. – Herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea. Con este los dispositivos pueden actuar como dispositivos *edge* o *pre-edge* similares a los dispositivos actuadores o sensores en una red IoT [13].

MODELO TCP/IP

Su diseño se basa en protocolos estándar; este modelo ayuda a determinar cómo se deben conectar los dispositivos finales a Internet y cómo transmitir datos entre ellos. Creando redes virtuales cuando varias redes informáticas están conectadas entre sí [14]. El modelo contiene cuatro capas:

1. Capa de enlace

Encargado de la transmisión entre dos dispositivos en la misma red.

2. Capa de Red

Brinda la movilidad de los paquetes de origen a destino, para facilitar la interconexión. Realiza cuatro procesos básicos: [15]

- ☐ Direccionamiento de dispositivos finales
- ☐ Enrutamiento
- ☐ Encapsulación
- ☐ Des-encapsulación

3. Capa de transporte

La capa de transporte proporciona comunicación lógica entre los procesos de aplicación que se ejecutan en diferentes *hosts* dentro de una arquitectura en capas de protocolos y otros componentes de red; se encapsula en TCP o UDP. [14]

4. Capa de aplicación

Permite el acceso a los recursos de la red.

PROTOCOLOS ESTUDIADOS

TCP.- Esta orientado a la conexión para los servicios que utilizan reconocimientos y respuestas para establecer una conexión virtual entre las estaciones de envío y recepción. Este protocolo usa *acknowledgments* los cuales se emplean para garantizar que se mantenga la conexión. [15]

HTTP.- Empleado para transferencia de hipertexto es un protocolo de aplicación para sistemas de información hipermedia distribuidos y colaborativos que permite a los usuarios comunicar datos en la World Wide Web, brindando a los usuarios una forma de interactuar con recursos web. [16]

ARP.- Usado en la resolución de direcciones, el cual es importante a nivel de la capa de red, ayuda a encontrar la dirección MAC dada la dirección IP del sistema [17].

De manera que, la dirección IP del PLC (32 bits) es convertida en una dirección MAC (48 bits) para poder monitorear el estado de los sensores y actuadores a través del IDE, es decir, determina la dirección de hardware de un dispositivo a partir de una dirección IP.

S7COMM.- Se basa en el modelo TCP/IP, usando el servicio de transporte ISO orientado a bloques. Está envuelto en los protocolos TPKT e ISO-COTP, lo que permite que la unidad de datos de protocolo (PDU) se transmita a través de TCP. [18]

Se orienta a funciones/comandos, hecho que implica que una transmisión consiste en una solicitud S7 y una respuesta adecuada. El número de transmisiones en paralelo y la longitud máxima de una PDU se negocian durante el establecimiento de la conexión.

IMPLEMENTACIÓN

La implementación del sistema se ha realizado siguiendo los siguientes pasos:

- **Selección de los componentes adecuados:** Se han seleccionado los componentes necesarios para la implementación del sistema, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y los requisitos del proyecto.
- **Conexión de los componentes:** Los componentes se han conectado de acuerdo a los diagramas de conexión previamente diseñados.
- **Programación del PLC:** Se ha programado el PLC utilizando el software LOGO Soft Comfort. Se han definido las entradas y salidas, se ha creado el programa de control y se han establecido las comunicaciones con los demás dispositivos.
- **Configuración del variador de frecuencia:** Se ha configurado el variador de frecuencia utilizando el software de programación proporcionado por el fabricante. Se han establecido los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento del motor.
- **Diseño de dashboard:** Se han diseñado los dashboard utilizando las herramientas Logo Web Server y Node-Red. Se han creado visualizaciones en tiempo real de los datos obtenidos del sistema.
- **Pruebas del sistema:** Se han llevado a cabo pruebas del sistema para comprobar su correcto funcionamiento. Se han realizado pruebas de conexión, pruebas de comunicación y pruebas de control del motor.

ARQUITECTURA

En la Fig. 2 se observa el escenario sobre el cual se va a desarrollar el estudio de tráfico. Allí se puede notar que en el funcionamiento del sistema intervienen dos agentes principales:

El ICS con sus dispositivos de campo y red de comunicaciones, el centro de control y monitoreo remoto SOC con sus dispositivos y personal de ingeniería.

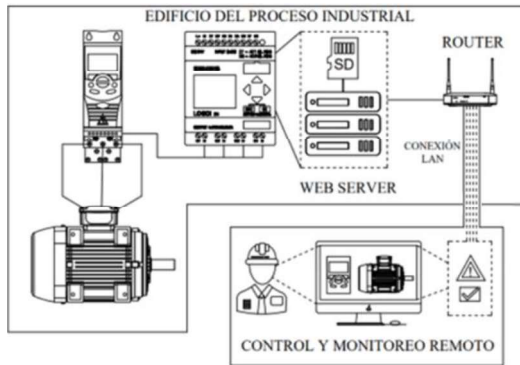


Fig. 2. Propuesta de Arquitectura del estudio

Funcionamiento

El ICS está conformado por un motor trifásico, un variador de frecuencia y un PLC conectado mediante un cable Ethernet a un router.

El PLC, tiene la función de controlador del proceso y a la vez de servidor web, este último, será creado a través de Logo Soft Comfort y el *dashboard* para control y monitoreo en Logo Web Editor, podrá ser accedido desde el SOC para controlar el encendido del motor, su sentido de giro y establecer tres velocidades constantes distintas mediante una red WI/FI local.

Diagrama de Conexión Eléctricas

En la Fig. 3 se muestra la bornera de conexión del variador de frecuencia hacia la red de alimentación la cual debe ser una fuente de voltaje trifásica de 220-230V AC.

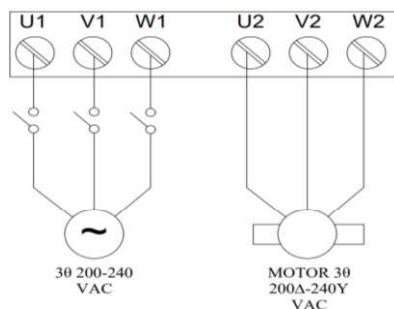


Fig. 3. Conexiones entre el convertidor de frecuencia, la fuente de alimentación y el motor eléctrico

Adicional se muestra, la conexión entre el variador y el motor. En ambos circuitos de potencia el calibre de cable a utilizar será AWG 14 y se incluye un interruptor termomagnético de 15A para desconectar la alimentación del variador, la conexión al motor no necesita de protecciones extra pues el variador se encarga de proteger los conductores contra sobre corrientes.

La Fig. 4 presenta el esquema de conexiones entre las salidas del PLC y las entradas/salidas digitales del variador.

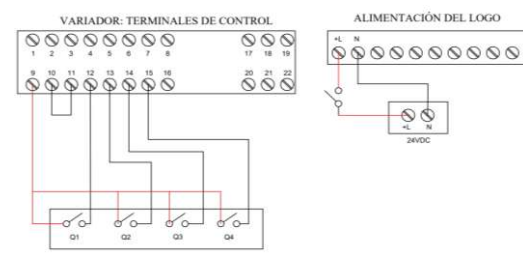


Fig. 4. Conexiones entre las salidas del Logo y las entradas del variador de frecuencia y alimentación del Logo

Estas conexiones están basadas en lo establecido por el fabricante del variador cuando se pretende usar el macro de aplicación en el estándar ABB. El calibre del conductor a utilizar tanto para las conexiones de control, como la alimentación del PLC es AWG 16, además se incluye un interruptor termomagnético de 2A entre el PLC y la fuente de alimentación, la misma que debe ser de 24V DC y debe suministrar 4A.

Tabla 1. Detalle de los tronillos de la bornera de control del variador de frecuencia

1: SCR	9: +24V- max 200mA
2: EA1	10: GND
3: GND	11: DCOM
4: +10V	12: ED1
5 EA2	13: ED2
6: GND	14: ED3
7: SA	15: ED4
8: GND	16: ED5

3. RESULTADOS

El control del motor y el variador con el PLC LOGO se puede llevar a cabo de varias maneras, de las cuales, para el estudio de este trabajo se basó en el control a través de Node-Red, Logo Web Server y un monitoreo desde el IDE de programación de LOGO.

El objetivo de la misma es identificar los protocolos que presentan en cada proceso de adquisición y la vulnerabilidad que se puede presentar debido a la encapsulación de los paquetes, como también el tipo de control que se puede llevar a cabo a través de los mismos.

En el proceso de comunicación de los casos expuestos se genera un tráfico de

datos por protocolo, mismos que son identificados a través del software WireShark.

Se exponen en la Tabla 2 los protocolos en estudiados.

Tabla 2. Protocolos de comunicación generados.

1er Caso	2do Caso	3er Caso
TCP	TCP	TCP
ARP	S7COMM	HTTP

1er Caso: Monitoreo a través del ide de LOGO

2do Caso: Monitoreo a través de Node-Red

3er Caso: Monitoreo a través de Logo Web Server

1er Caso:

Cuando no existe una conexión a la red, la información se lleva a cabo a través de TCP y ARP. A través del IDE de programación se puede realizar un monitoreo de los sensores y actuadores que se están ejecutando en el proceso, la utilización de esta herramienta de visualización genera un tráfico para la obtención de estos valores. En la Fig. 5 y Fig. 6 se puede observar el flujo de datos que conducen los protocolos TCP y ARP. Dichos datos comunican el estado de las variables usadas: indicadores y actuadores que están ejecutándose en el momento.

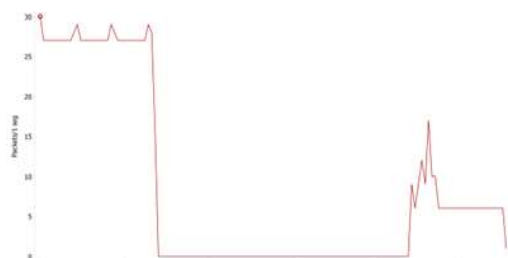


Fig. 5. Tramas generadas por el protocolo TCP (1er caso)



Fig. 6. Tramas generadas por el protocolo ARP (1er caso)

En este caso se presenta el tráfico que genera el protocolo TCP (Fig. 5) y el generado por ARP (Fig. 6) van cambiando según las solicitudes realizadas por el controlador y la recepción desde el entorno

de programación de LOGO. Este tráfico es la cantidad de tramas que son enviadas como entrada y salida, tomadas en una instancia de tiempo en la cual el motor fue variando su velocidad a través del variador ABB implementado. El tráfico generado por ARP se debe a la codificación realizada para obtener la dirección MAC del PLC una vez entablada la comunicación con el direccionamiento IP.

2do Caso:

Para la ejecución de la plataforma Node-Red se requiere del puerto 102 de comunicación, a través del cual se lleva a cabo el intercambio de todo el tráfico generado de la red, es decir, será el medio por el cual se controla el PLC. A partir del análisis de este puerto se puede hallar la Fig. 7.

Analizando la gráfica se puede ver que al cabo de 7 segundos que se establece la comunicación, una cantidad de tramas fueron llevadas por este puerto, mismas que contienen información de monitoreo y control de las variables utilizadas, tanto en la interfaz de control como en LOGO.

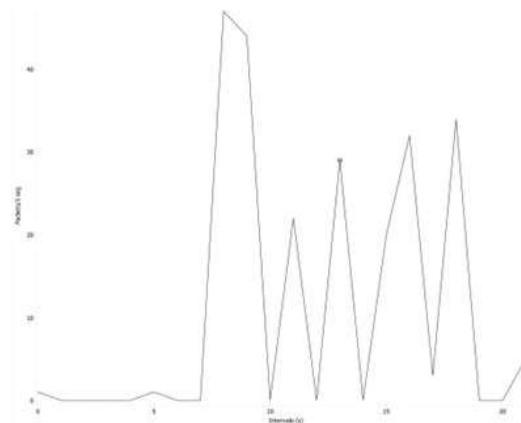


Fig. 7. Flujo de datos que atraviesa el puerto 102.

Para la transmisión de datos entre Node-Red y el PLC, se utiliza un protocolo denominado S7COMM. Este tráfico se puede observar en la Fig. 8.

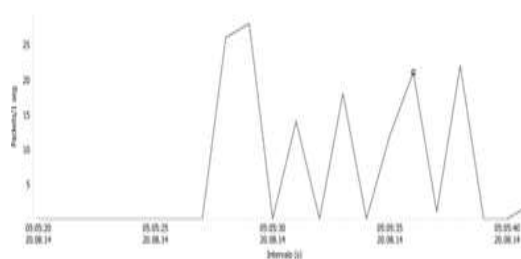


Fig. 8. Tramas generadas por unidad de tiempo por el protocolo S7COMM.

La Fig. 8 muestra cómo los datos son adquiridos, la unidad de los paquetes enviados se mantiene en 0, ya que no existe un intercambio de datos si no se realiza una petición directa desde la plataforma remota y el PLC emita una respuesta. La lectura de las variables establecidas desde los sensores y los actuadores a ser controlados desde la interfaz inician la comunicación, además, se observa que a 6 segundos de haber iniciado el proceso, la transmisión se ha iniciado

3er Caso

Para el control y monitoreo a través del servidor web de logo, se presentan los protocolos TCP y HTTP, los cuales se muestran en la Fig. 9 y Fig. 10, respectivamente.

En la Fig. 9 se observa la cantidad de tramas que se envían por unidad de tiempo, las cuales llevan la mayor cantidad de información y estado de las variables para su monitoreo, razón por la cual existe una elevada cantidad de información, expresadas con picos elevados, así también, existen otros que tardan en descender a cero, ya que se requiere que el enlace permanezca establecido.

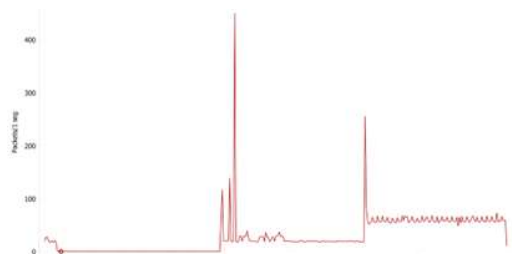


Fig. 9. Tramas generadas por el protocolo TCP (3er caso)

Mientras que en la Fig. 10 está presente únicamente el tráfico de salida a la red generado, el cual permite que los valores estudiados puedan ser llevados al servidor de logo, estos valores permiten que el intercambio de información permanezca en un constante estado de recepción y emisión.

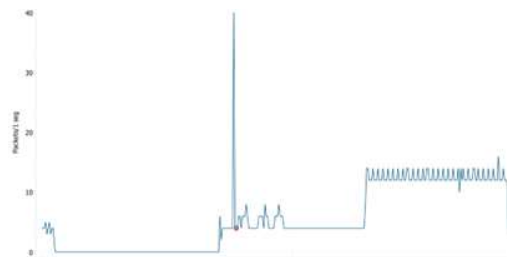


Fig. 10. Tramas generadas por el protocolo HTTP (3er caso)

Cabe mencionar que además de los protocolos mencionados, en el 3er caso existe el protocolo UDP, el cual permite que la salida a la red sea mediante un servidor DNS.

4. DISCUSIÓN

Establecer una conexión entre un servidor (Node-Red, Logo Web Server) o un entorno de programación (LOGO ide) crea un flujo de datos que transporta la información necesaria para resolver problemas, verificar el estado de los sensores como variables o ejecutar los actuadores correctos. El protocolo TCP, como se puede observar en el apartado de salida de los tres casos estudiados, está presente en todos ellos e incluye algunas modificaciones. Además, incluye protocolos propios para cada plataforma, como S7COMM, que se incluye para atravesar el puerto 102 sobre TCP. En cualquier caso, existen similitudes en el número de tramas enviadas por un protocolo similar debido al tipo de datos que transmiten, aunque representen una función diferente.

El protocolo ARP se encarga de encontrar la dirección IP y así obtener la dirección MAC del dispositivo, lo que permite la conexión entre el controlador y el entorno de monitoreo. Mientras que S7COMM es un tráfico diseñado para establecer un vínculo entre LOGO y la plataforma Node-Red, lo que permite la comunicación y el posterior intercambio de datos. Este protocolo es propiedad de Siemens y se utiliza para los controladores Siemens S7, que también se pueden utilizar en algunos PLC LOGO.

Muestra el protocolo HTTP que se produce cuando el PLC se conecta al propio servidor de LOGO, que se encarga de cifrar los datos enviados. El cifrado de datos mediante el protocolo de cifrado y consulta se realiza para proteger la integridad de los datos y aumentar la seguridad.

5. CONCLUSIÓN

La comunicación de un controlador lógico programable o PLC hacia un entorno de control y/o monitoreo, genera un tráfico que puede ser vulnerado según el tipo de proceso en el cual se vea involucrado; sin considerar el tamaño de este, se presentará una variación de protocolos según el requerimiento o solicitud realizada. A través de un estudio del tráfico se puede verificar hacia que tipo de ataques puede estar expuesto.

Según la plataforma de red local que se pueda implementar en este tipo procesos, el cifrado de datos e integridad de estos va a cambiar de acuerdo con la necesidad, a través de un estudio de tráfico generado, elegir un método de monitoreo remoto puede ser más preciso y eficaz si de salvaguardar la información se trata, llevando a cabo la no vulneración de estos.

Si bien existen protocolos que fueron generados y estudiados en este trabajo, también se presentaron otros que por su contribución menor pero no menos importante dentro de un entorno de comunicación típico, no fueron abordados debido a la cantidad de tramas que estos transportan, mismos que no causaron una variación significativa en la obtención de históricos en cada caso.

El protocolo UDP genera un tráfico que se utiliza para comunicar de manera rápida un servidor con un dispositivo o acceso remoto, este protocolo es capaz de enviar información con un intervalo de tiempo corto pero vulnerando la información debido a que no posee un cifrado de datos confiable. Este protocolo está incluido dentro del tráfico generado TCP y HTTP, los cuales de manera colectiva presentan un rendimiento mayor a nivel de seguridad.

Una conexión de red local usando un entorno de visualización como el ide de programación, si bien es útil, no puede ser utilizado para un monitoreo, debido a su complejo entendimiento y conocimiento previo de manejo, mientras que una plataforma como Node-Red, presenta varias ventajas sobre los demás, presenta un entorno visual agradable y de fácil manipulación; su vulnerabilidad y uso de herramientas propias de la plataforma como lo es su protocolo S7COMM, si bien es compatible con LOGO, no es recomendable al no ser un protocolo predispuesto para este tipo de PLC, mientras que la

implementación de su propio servidor web, permite tener una mejor experiencia con respecto a la manipulación de variables y monitoreo de estados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Deke Guo, Data Center Networking: Network Topologies and Traffic Management in Large-Scale Data Centers, Springer Nature, 2022.
- [2] Check Point Software Technologies, «SOC (Security Operation Center),» Check Point Software, 2018. [En línea].
- [3] H. Ashtari, «Network Traffic Analysis,» Spiceworks, 2022. [En línea]. Available: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/network-traffic-analysis/>.
- [4] R. McMILLAN, «Stuxnet worm hit industrial systems,» Siemens, 2010. [En línea]. Available: <https://www.computerworld.com/article/2515570/siemens--stuxnet-worm-hit-industrial-systems.html>. [Último acceso: 31 Octubre 2022].
- [5] V. P. S. S. C. S. S. S. y. N. W. D. Moore, «Inside the slammer worm,» *IEEE Secur Priv*, vol. I, n° 4, pp. 33-39, 2003.
- [6] A. B. V. H. B. y. M. D. P. Sinha, «Insights from the analysis of the Mariposa botnet,» *5th International Conference on Risks and Security of Internet and Systems*, n° 4, 2010.
- [7] G. Tzokatziou, L. A. Maglaras y H. Janicke, «Using Human Interface Devices to exploit SCADA systems,» *Insecure*, 2015.
- [8] J. Chávez Barbaste, «Análisis y modelos de datos de redes para seguridad informática,» *Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, 2016.
- [9] Siemens, «SIMATIC LOGO! Manual,» 2013.
- [10] ABB LV Motors, «Motores Eléctricos Trifásicos - 50 y 60 Hz,» 2008.
- [11] ABB, «Convertidores de frecuencia ABB para maquinaria general ACS350, 0,37 a 22 kW / 0,5 a 30 CV,» 2009.
- [12] SIEMENS, «SIEMENS. LOGO! Software,» 2002. [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industri>. [Último acceso: 15 12 2022].

- [13] OpenJS Foundation., «Node-RED:Low-code programming for eventdriven applications.,» 2022. [En línea]. Available: <https://nodered.org/>. [Último acceso: 19 12 2022].
- [14] L. Williams, «Modelo TCP/IP: ¿Qué son las capas y el protocolo? Pila TCP/IP,» 3 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.guru99.com/tcp-ip-model.html>. [Último acceso: 26 Diciembre 2022].
- [15] J. F. Kurose y K. W. Ross, «La capa de red: el plano de datos,» de *Redes de computadoras, Un enfoque descendente*, Madrid, Pearson, 2017, pp. 253-299.
- [16] Noite.pl, HTTP Protocol: Network Basic. AL0-034, NOITE S.C..
- [17] B. Hartpence, Packet Guide to Core Network Protocols, "O'Reilly Media, Inc., 2011.
- [18] Siemens, «S7 Communication,» 2019.



DISEÑO DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL MEMORIZADO DE PIEZAS SMA MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO

DESIGN OF AN ELECTRIC FURNACE FOR THE STORAGE
OF SMA PARTS BY MEANS OF HEAT TREATMENT



DISEÑO DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL MEMORIZADO DE PIEZAS SMA MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO

DESIGN OF AN ELECTRIC FURNACE FOR THE STORAGE OF SMA PARTS BY MEANS OF HEAT TREATMENT

Rolando Morocho Yuquilema¹
Christian Fernando Aguagallo Coello²
Jonathan Alexis Chamba Aguilar³
Diego Ramiro Nacato Estrella⁴

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, rolando.morocho@esPOCH.edu.ec

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, christian.aguagallo@esPOCH.edu.ec

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, jonathan.chamba@esPOCH.edu.ec

⁴Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, diego.nacato@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

En este documento se presenta una revisión bibliográfica concerniente al tema de aleaciones con memoria de forma (SMA, conocido por sus siglas en inglés) y su compuesto más común, formado a partir de aleaciones Níquel y Titanio que lleva el nombre de Nitinol, todo con el propósito de proceder con el diseño de un horno eléctrico que permita satisfacer las principales características y especificaciones para la memorización de piezas elaboradas con esta aleación por medio de un tratamiento térmico respectivo. El diseño se elabora en base a la información disponible en la bibliografía referente a hornos eléctricos, materiales térmicos, controladores de temperatura, dimensionamiento y también del diseño de un dispositivo para sujetar la pieza que se tratará.

Palabras clave: SMA, Nitinol, Horno eléctrico, Resistencia térmica.

ABSTRACT

This paper presents a literature review concerning the subject of shape memory alloys (SMA) and its most common compound, formed from Nickel and Titanium alloys called Nitinol, all with the purpose of proceeding with the design of an electric furnace to meet the main characteristics and specifications for the storage of parts made with this alloy by means of a respective heat treatment. The design is elaborated based on the information available in the bibliography referring to electric furnaces, thermal materials, temperature controllers, sizing and also the design of a device to hold the piece to be treated.

Keywords: SMA, Nitinol, Electric furnace, Thermal resistance.

Recibido: 01/02/2023
Received: 01/02/2023

Aceptado: 05/04/2023
Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se puede encontrar a nuestro alcance materiales denominados inteligentes que cuentan con la particularidad de poder cambiar sus propiedades o incluso su forma cuando son sometidos a estímulos externos. Dependiendo de estos estímulos existen diversas formas de clasificación y la más general se basa según las fuerzas aplicadas al material, que pueden ser campos térmicos o magnéticos. Por lo cual, estos materiales se pueden clasificar en: materiales con memoria de forma, materiales electro y magneto activos, y materiales foto y cromo-activos [1] [2].

Las aleaciones con memoria de forma (SMA conocidos por su siglas en ingles " Shape Memory Alloy") son materiales considerados inteligentes ya que pueden regresar o recuperar su forma original, luego de haberse sometido a una cierta deformación; donde su principal singularidad es que cuando la fuerza que provoca la deformación, se elimina, su forma se mantiene, pero cuando se le aplica calor, para incrementar su temperatura, este material regresa a su estado original, en otras palabras, el material tiene la capacidad de "recordar" su forma después de ser deformado [3].

Existen una gran cantidad de composiciones de aleaciones que presentan el efecto de memoria de forma, pero en 1962 William J. Buehler desarrollo una aleación de níquel y titanio (Ni-Ti) con este efecto y fue denominado como NITINOL (Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory) siendo este el material con memoria de forma más utilizado, debido a que presenta mejores propiedades mecánicas, mejor resistencia a la corrosión o biocompatibilidad [4] [5].

El Dr. Rodolfo Mannheim .C en su investigación "Aleaciones con memoria de forma" nos dice que las principales exigencias para producir el efecto de forma son:

- a) El material debe sufrir una transformación martensita. La diferencia de volumen entre las dos fases debe ser pequeña o se producirá muchas dislocaciones para realice la diferencia de volumen. Debido al aumento de la densidad de dislocación se compactará la martensita y por lo cual no será posible una reorientación por la tensión aplicada.
- b) La estructura debe ser ordenada, la transformación de martensita a austenita dependerá de las restricciones cristalográficas; además, solo la

orientación original de austenita podrá ser obtenida al calentarse [6].

En el caso del Nitinol, existe una transición entre sus dos formas (austenita y martensita). La estructura de martensita consta de varios planos que se pueden mover. La estructura de martensita tiene 24 variantes posibles para esta transformación de manera que puede ser deformada prácticamente en cualquier dirección [7]. Cuando la aleación se calienta y vuelve a la forma austenita, los planos se deslizan hacia atrás a su posición original y la estructura vuelve a la forma de memoria. Así, el nitinol vuelve a su forma original [8].

Para lograr obtener las propiedades físicas y mecánicas requeridas para la mayoría de las aplicaciones, es necesario realizar un proceso de trabajado en frío en varios pasos, después de un pretratamiento en caliente. Sin embargo, en algunos casos el Nitinol no presenta las propiedades esperadas en estas condiciones de trabajo en frío, por lo que es necesario realizar un tratamiento térmico final a temperaturas entre 450-550°C después del último proceso de trabajado en frío. Este tratamiento se lleva a cabo en hornos de aire, vacío o en cualquier otro sistema adecuado para tal fin [9].

Un horno es un aparato que tiene la particularidad de generar calor y mantenerlo dentro de un compartimento cerrado. Los hornos varían en estructura, tamaño, capacidad y tecnología, y en la industria metalúrgica se utilizan para el tratamiento térmico de materiales, para lo cual se diseñan con materiales resistentes a altas temperaturas. También nos permite controlar y ajustar parámetros importantes como la temperatura, el tiempo o las tasas de calentamiento y enfriamiento, de esta manera, se pueden obtener ciertas propiedades mecánicas y microestructuras deseadas para su uso posterior en aplicaciones específicas [10] [11].

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El trabajo que se presenta se apoya en una metodología de investigación bibliográfica de trabajos de diseños que sirve como guía en el proceso creativo. Para llevar a cabo el proyecto, se procedió a realizar un desarrollo por etapas del diseño, considerando las hojas de datos y las recomendaciones de los fabricantes de cada elemento. Una metodología rigurosa y adaptada a la realidad actual que asegura un excelente resultado en la finalización del proyecto. Es importante

destacar que el trabajo se ha dividido en fases para su adecuado desarrollo:

- Criterios para el memorizado de piezas de nitinol.
- Elementos y materiales que conforman el diseño de un horno eléctrico.
- Cálculos para el diseño del sistema de calentamiento.
- Modelo matemático del controlador PID.
- Diseño de la estructura del horno eléctrico.
- Diseño del dispositivo para sujetar las piezas dentro de la cabina del horno eléctrico.

A. CRITERIOS PARA EL MEMORIZADO DE PIEZAS DE NITINOL

La producción con NITINOL se da en 4 etapas, empezando cuando la pieza de aleación está en estado austenítico donde se gravan las características dimensionales, luego se enfría a una temperatura ambiente para llegar a la etapa martensítica, en la tercera etapa se deforma por maclaje en estado martensítico y finalmente se aumenta la temperatura a, donde la aleación recupera las dimensiones y forma original de la primera etapa [12].

La figura 1 presenta una imagen representativa de los cambios en las propiedades de una SMA durante la transformación, donde Ms, Mf, As y Af son las temperaturas a las cuales, tanto la transformación martensítica como austenítica empiezan y terminan.

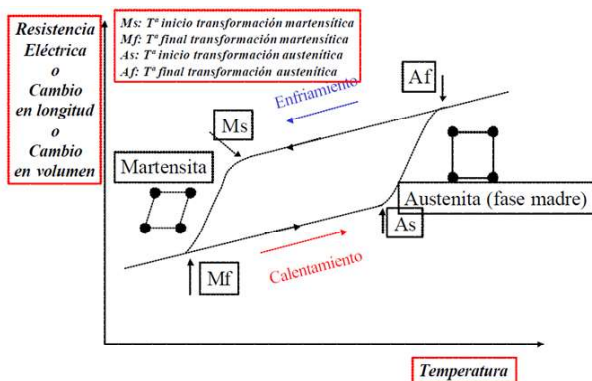


Figura 1 Representación de los cambios en las propiedades de una aleación en una transformación martensítica [13]

Para impartir una nueva forma a memorizar se suele emplear un tipo de mecanismo que permita fijar firmemente el material en su nueva forma y realizar

un tratamiento térmico. El tratamiento térmico puede ser en horno de aire, vacío, o cualquier otro sistema. La temperatura que se debe aplicar suele ser entre 450 – 550 °C, no se recomienda el sobrecalentamiento de la aleación de NiTi a temperaturas superiores a 600°C debido a la pérdida de estabilidad química. El tiempo que se emplea el tratamiento térmico debe ser lo suficiente para que toda la sección del material alcance la temperatura deseada, por lo general es recomendable hacer varias pruebas o ensayos para determinar la temperatura y tiempo más adecuados para obtener los resultados esperados. El enfriamiento tiene que ser rápido, por lo cual se recomienda el templado en agua para así poder evitar envejecimiento. En la figura 2 se puede observar un diagrama TTT de transformación de tiempo – temperatura [9] [14].

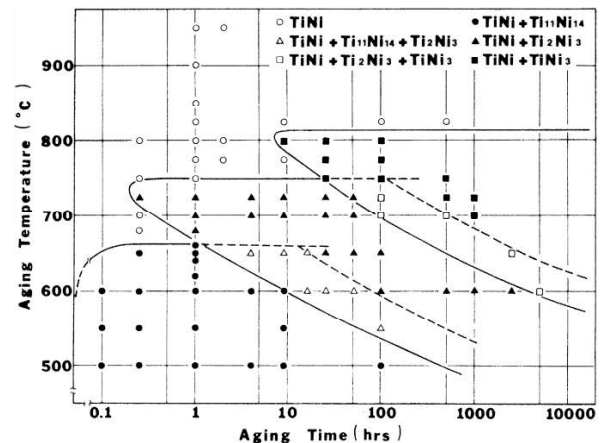


Figura 2 Diagrama TTT que describe el comportamiento de envejecimiento de la aleación [15]

B. ELEMENTOS Y MATERIALES QUE CONFORMAN EL DISEÑO DE UN HORNO ELÉCTRICO.

Los hornos eléctricos tienen la característica de trabajar en altas temperaturas para tratamientos térmicos. Existen hornos eléctricos de inducción y con resistencias eléctricas, donde estos últimos en la industria son utilizados para calentar piezas llevándolas a una temperatura superior a la temperatura ambiente [16].

Un modelo de este tipo lo podemos observar en la figura 3, donde mediante sus resistencias transforman el paso de energía eléctrica en calor el cual se aplica para incrementar la temperatura del ambiente de la cámara donde se colocará el material a tratar térmicamente. Consta de una carcasa

estructural de metal, una fuente de calor (resistencias eléctricas), una cámara de calentamiento y un controlador de temperatura (como una termocupla), como se presenta en la figura 4.



Figura 3 Horno eléctrico de resistencias [17]

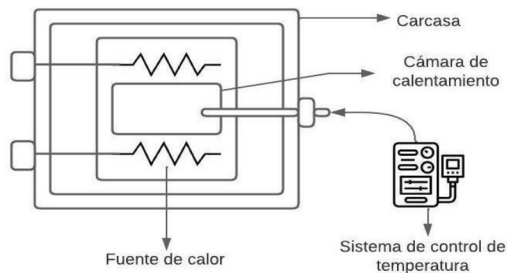


Figura 4 Elementos que conforman los hornos eléctricos [18]

1. Estructura

Entre la carcasa y la cámara de calentamiento, forman una estructura que se encuentra conformada por: capa refractaria y capa aislante, como se observa en la Figura 5.

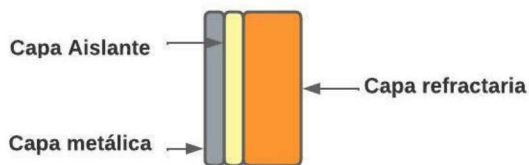


Figura 5 Estructura de un horno eléctrico [18]

Para la capa metálica suele utilizarse una estructura de acero ASTM A36 y el espesor de la chapa metálica se da por las necesidades del sistema y debe ser elegida dependiendo de los espesores disponibles. Comercialmente se puede encontrar en diferentes espesores y tamaños como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de las planchas de acero bajo la norma ASTM A36 de la marca Dismetal [19]

Espesor	Dimensiones		Peso
	Ancho	Largo	
mm	mm	mm	kg
2	1220	2440	46.74
3	1220	2440	70.11
4	1220	2440	93.46
5	1220	2440	116.85
6	1220	2440	140.22
8	1220	2440	186.96

En la capa refractaria, por lo general se utilizan materiales refractarios fabricados para soportar gran variedad de condiciones como: temperaturas elevadas, líquidos y gases corrosivos, esfuerzos mecánicos y térmicos inducidos [20]. Este tipo de material son fabricados en calidades variadas, pero la más común de encontrarlos es en ladrillos, como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Ladrillos refractarios [20]

Comercialmente se pueden encontrar diferentes tipos de estos ladrillos refractarios que se componen de distintas composiciones y propiedades, como se puede ver en la tabla 2.

Tabla 2 Propiedades de los ladrillos refractarios de la marca Morgan Thermal Ceramics. [20]

		JM 23	JM 26	JM 28
Máxima temperatura recomendada	°C	1260	1430	1540
Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de:				
400	W/m k	0.12	0.25	0.30
600	W/m k	0.14	0.27	0.32
800	W/m k	0.17	0.30	0.34
1000	W/m k	0.19	0.33	0.36

La capa aislante se ubica entre la estructura metálica y la capa refractaria; esta parte cumple la función de impedir el paso del calor de un punto a otro por conducción. Los aislantes más conocidos que se utilizan son la lana de vidrio, lana de escorias o lana mineral, hojas de aluminios, hasta temperaturas de 500 °C como se observa en la figura 7, en cambio para temperaturas más elevadas se utilizan mantas de fibra cerámica.



Figura 7 Manta de fibra cerámica [20]

En la industria comercial se puede encontrar este tipo de aislamiento con las siguientes características que se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades y características de fibra cerámica de la marca Thermal C [20]

		Kaowool	Kaowoll RT	CeraBla nket
Conductividad térmica				
260°C	W/m k	0.06	0.06	0.06
538°C	W/m k	0.12	0.13	0.13
816°C	W/m k	0.21	0.23	0.23

2. Fuente de calor

Las resistencias eléctricas de Kanthal A-1 son adecuadas para hornos industriales, como la que se muestra en la figura 8, es una aleación de hierro, cromo y aluminio (FeCrAl) que puede alcanzar temperaturas cercanas a 1400°C. Además de poseer una alta resistividad y resistencia a la corrosión [21], mientras que una resistencia blindada puede alcanzar los 800°C. Dependiendo del tipo de horno y de su ubicación, las resistencias se pueden ubicar dentro o fuera de la estructura del mismo, y pueden funcionar por convección, radiación o una combinación de las dos.



Figura 8 Resistencia de tipo Bobina Kanthal

3. Sistema de control de temperatura

Siempre en procesos de tratamiento térmico es primordial tener un adecuado y eficiente control de temperatura. En los hornos eléctricos, la manera más útil para medir una temperatura precisa es por medio de termocuplas, como la de la figura 9.

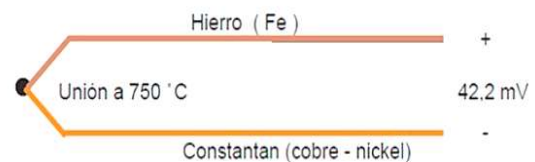


Figura 9. Termocupla o termopar

Una termocupla es un sensor de temperatura fabricado a base de dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al exponerse a la temperatura en la unión se presenta el efecto Seebeck, que genera voltajes en el orden de los milivoltios y que aumentan de acuerdo al incremento de la temperatura. Existen múltiples tipos de termocuplas de acuerdo a sus características, aunque alrededor del 90% de las termocuplas que se usan en la industria son de tipo J (de -210°C a 1200°C) y tipo K (desde -200°C hasta 372°C), debido a su conveniente rango de medición, su bajo costo y su disponibilidad en el mercado [22]

4. Control de temperatura

Para seleccionar el controlador de temperatura correcto se deben considerar el tipo de sensor de entrada, rangos de temperatura, tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica), algoritmos de control necesarios, número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite) [23].

Los sistemas de control de temperatura básicos son el On/Off de encendido y apagado, el controlador proporcional y el controlador PID, cuya implementación dependerá del tipo de proceso a controlar, la exactitud que se pretenda obtener o los

parámetros que se prioricen para el control de temperatura.

5. Controlador PID

Este controlador de temperatura logra compensar los cambios de temperatura mediante un control integral, proporcional y derivativo, en este controlador se puede ajustar cada variable de manera individual y resultando en una inspección es mucho más precisa. Esto permite que se genere una mejor aproximación al valor de referencia y un control más estable, pues reacciona de una manera más ágil a cambios rápidos de temperatura [24] .

La figura 10 representa la respuesta de un controlador PID ante un escalón, donde la acción proporcional intenta imitar directamente el cambio en la entrada. La acción integral se incrementa a una pendiente constante desde que el valor del escalón en la entrada se mantiene constante. La acción derivativa define el escalón de entrada como un rate de cambio infinito, generando un spike que lleva la salida a la saturación [25] .

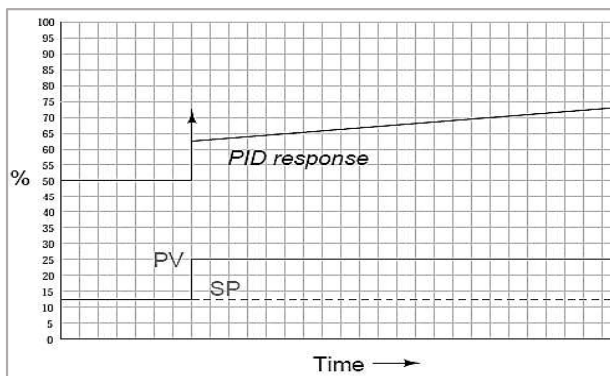


Figura 10. Control PID respuesta a un escalón [25]

C. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

La cámara de trabajo de los hornos de tratamiento térmico se caracteriza por sus dimensiones útiles y por las dimensiones totales. Las dimensiones útiles conforman el espacio donde se coloca la carga, en este caso será la cámara del horno. Las dimensiones totales se definen de manera que exista un espacio libre entre el espacio ocupado por la carga y el espacio total de la cámara.

1. Dimensiones de la cámara interna del horno

$x = 0.18 \text{ m}$ (ancho), $y = 0.10 \text{ m}$ (alto), $z = 0.14 \text{ m}$ (profundidad)

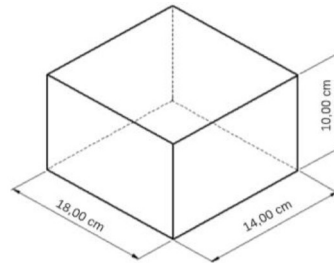


Figura 11. Dimensiones de la cámara del horno

Mediante la ecuación 1 se calcula el volumen interno de la cámara del horno

$$V_{\text{cámara}} = x * y * z \quad (1)$$

$$V_{\text{cámara}} = 0.00252 \text{ m}^3$$

El material que ingrese a la cámara del horno, no deberá sobrepasar un tercio del volumen total de la cámara interna ecuación 2

$$V_{\text{pieza}} = \frac{1}{3} V_{\text{cámara}} \quad (2)$$

$$V_{\text{pieza}} = 0.00084 \text{ m}^3$$

2. Cantidad de calor a la carga

Mediante la ecuación 3 se puede determinar la cantidad de calor a la carga. Donde la suma de calor necesario para aumentar la temperatura del aire más la cantidad de calor que absorbe el material a realizar el tratamiento, determinará el valor total de calor suministrado por el sistema hacia la carga [26].

$$Q_c = Q_A + Q_m \quad (3)$$

Donde:

Q_A : Calor debido al calentamiento del aire [W]

Q_m : Calor debido al calentamiento del material para tratamiento térmico [W]

mediante el uso de la ecuación 4, se determina la cantidad de calor necesario para el calentamiento del aire

$$Q_A = m_A * C_{pA} + \Delta T \quad (4)$$

Donde:

m_A : Masa del aire [kg]

CpA : Calor específico del aire [J/ (Kg k)]
 ΔT : Diferencia de temperaturas [K]

En la tabla 5 se especifican las propiedades del aire, que se ocuparan para realizar los cálculos, con las temperaturas que se establecieron para el diseño del horno [27].

Las temperaturas que se establecieron para el diseño del horno son: temperatura ambiente 20 °C, la cual es una temperatura promedio, la temperatura de la superficie exterior del horno 50 °C, la cual es recomendando para trabajos en la industria y la temperatura interna del horno será de 500 °C.

Tabla 5 Propiedades del aire a diferentes temperaturas [28]

Temperatura	°C	20	50	500
Densidad	Kg/m^3	1.204	1.092	0.456
Calor específico	$J/Kg K$	1007	1007	1093
Conductividad térmica	$W/m K$	0.025	0.027	0.055
Número de Prandtl	-	0.731	0.723	0.699

Se obtiene primero el valor de la masa del aire que existe en la cámara interna del horno ecuación 5, cuando dentro de ella se encuentre la pieza con el volumen máximo permitido [29].

$$mA = \rho A * VA \quad (5)$$

Donde:

ρA : Densidad del aire a 500 °C [Kg/m^3]

VA : Volumen de aire [m^3]

El volumen en el interior del horno es igual a la diferencia entre el volumen de la cámara y el volumen de la pieza ecuación 6.

$$V_A = V_{cámara} - V_{pieza} \quad (6)$$

$$V_A = 0.00168 m^3$$

Entonces

$$mA = 0.4565 \text{ Kg}/m^3 * 0.00168 m^3 = 0.00076692 \text{ kg}$$

La diferencia de temperatura será igual a la temperatura en la cámara interna menos y la temperatura ambiente, ecuación 7.

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (7)$$

$$\Delta T = 480 K$$

Entonces:

$$QA = mA * CpA * \Delta T$$

$$QA = 402.357 J = 0.4024 KJ$$

Luego se calcula la cantidad de calor que se requiere para calentar el material que va ser tratado, por lo cual se emplea la ecuación 8 [27]

$$Q_m = m_{pieza} * Cp_m * \Delta T \quad (8)$$

Donde:

m_A : Masa de la pieza Nitinol [kg]

Cp_m : Calor específico del Nitinol [$\frac{J}{Kg k}$]

ΔT : Diferencia de temperaturas [K]

Las principales propiedades del Nitinol que será utilizado se muestra en la tabla 6

Tabla 6 Propiedades del Nitinol [30]

Material	Nitinol	
Densidad	Kg/m^3	6450
Calor específico	$J/Kg K$	620
Conductividad térmica	$W/m K$	18

La masa de la pieza de volumen máximo a tratar se obtiene mediante la ecuación 9.

$$m_{pieza} = \rho_m * V_{pieza} \quad (9)$$

Donde:

ρ_m : Densidad de la pieza [Kg/m^3]

$m_{pieza} = 5.418 \text{ Kg}$

$$Q_m = 5.418 \text{ kg} * 620 \frac{J}{Kg k} * 480k = 1612396.8 J$$

Ahora se obtiene el valor total del calor que el sistema debe suministrar a la carga en la ecuación 3

$$Q_c = Q_A + Q_m$$

$$Q_c = 1612.799 KJ = 447.99 Wh$$

3. Modelamiento matemático de transferencia de calor

Mediante la ecuación 10 se calcula el flujo de calor que se perderá a través de las resistencias térmicas. En la figura 12 se puede observar cada parte de material que conforma la pared representa una resistencia al paso normal del calor [31].

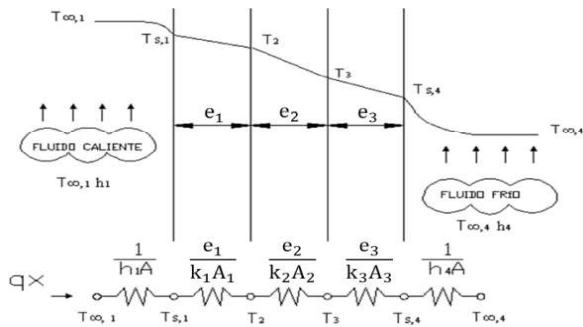


Figura 12 Esquema de pared compuesta en serie [32]

$$q = \frac{T_1 - T_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (10)$$

4. Cálculo de las pérdidas de calor

Se realiza el análisis para encontrar la potencia extra que necesitara el horno, considerando las pérdidas que se produzcan a través de las paredes, no se considerarán las pérdidas por aberturas y se despreciando la pérdida de calor al abrir y cerrar la puerta.

Para el diseño del horno se considerarán las resistencias que se exponen en la figura 13. A continuación, se detallan todos los valores conocidos para poder efectuar el análisis de las pérdidas a través de las paredes.

$T_1 = 773.15 \text{ K}$ (Temperatura pared interior del horno)
 $T_2 = 327.15 \text{ K}$ (Temperatura superficie exterior del horno)
 $T_3 = 293.15 \text{ K}$ (Temperatura ambiente)
 $e_1 = 0.060 \text{ m}$ (Espesor del ladrillo refractario)
 $e_2 = 0.060 \text{ m}$ (Espesor de la manta térmica)
 $e_3 = 0.003 \text{ m}$ (Espesor chapa de acero)
 $k_1 = 0.14 \text{ W/m K}$ (Conductividad térmica del ladrillo refractario)

$k_2 = 0.12 \text{ W/m K}$ (Conductividad térmica manta fibra cerámica)

$k_3 = 47 \text{ W/m K}$ (Conductividad térmica chapa de acero)

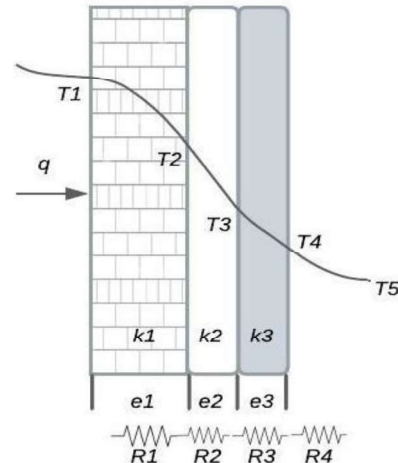


Figura 13. Corte lateral de la pared de la cámara de calentamiento [32]

Mediante las ecuaciones 11 y 12 respectivamente, se determina el valor de las resistencias térmicas por conducción en cada material y también la resistencia de calor por convección.

$$R_{cond} = \frac{e}{K \cdot A} \quad (11)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad (12)$$

Donde:

R_{cond} : Resistencia de calor por conducción $[K/W]$
 e : Espesor del material $[m]$
 k : Conductividad térmica del material $[W/m K]$
 A : Área de transferencia de calor $[m^2]$
 R_{conv} : Resistencia de calor por convección. $[K/W]$
 h : Coeficiente de transferencia de calor por convección $[W/m^2 K]$.

Luego tenemos:

$$R_1 = \frac{e_1}{K_1 A_1}$$

$$R_2 = \frac{e_2}{K_2 A_2}$$

$$R_3 = \frac{e_3}{K_3 A_3}$$

$$R_4 = \frac{e_4}{K_4 A_4}$$

Donde:

R_1 : Resistencia térmica de la capa de ladrillos refractarios [K/W]

R_2 : Resistencia térmica de la capa de manta de fibra cerámica [K/W]

R_3 : Resistencia térmica de la chapa de acero [K/W]

R_4 : Resistencia de calor por convección [K/W]

A_1 : Área de transferencia de calor del ladrillo refractario [m^2]

A_2 : Área de transferencia de calor de la manta de fibra [m^2]

A_3 : Área exterior del horno [m^2]

h : Coeficiente de convección en el exterior del horno [$W/m^2 K$]

Se determinan las áreas de cada material por donde ocurre la transferencia de calor. Para este cálculo no se tomarán en cuenta las ranuras que se dejarán para la ubicación de las resistencias eléctricas en los ladrillos refractarios.

$$\begin{aligned} x_1 &= 0.30 & x_2 &= 0.325 & x_3 &= 0.32 \\ y_1 &= 0.22 & y_2 &= 0.2327 & y_3 &= 0.2327 \\ z_1 &= 0.26 & z_2 &= 0.2854 & z_3 &= 0.2894 \\ A_1 &= 2[(x_1 * z_1) + (y_1 * z_1) + (x_1 * y_1)] \end{aligned}$$

$$A_1 = 0.4024 m^2$$

$$A_2 = 2[(x_2 * z_2) + (y_2 * z_2) + (x_2 * y_2)]$$

$$A_2 = 0.4696 m^2$$

$$A_3 = 2[(x_3 * z_3) + (y_3 * z_3) + (x_3 * y_3)]$$

$$A_3 = 0.4832 m^2$$

Ahora se encuentra el valor de las resistencias de calor por conducción pertenecientes a cada una de las capas que componen las paredes del horno.

$$R_1 = \frac{e_1}{K_1 * A_1} = \frac{0.06}{0.14 * 0.4024} = 1.0650 [K/W]$$

$$R_2 = \frac{e_2}{K_2 * A_2} = \frac{0.025}{0.12 * 0.4696} = 0.4436 [K/W]$$

$$R_3 = \frac{e_3}{K_3 * A_3} = \frac{0.003}{47 * 0.4832} = 13.2098 \times 10^{-5} [K/W]$$

Ahora, mediante la ecuación 13 se debe encontrar el coeficiente de transferencia de calor por convección, para poder hallar la resistencia por convección del aire [27]

$$h = \frac{N_u * k}{L} \quad (13)$$

Donde:

N_u : Número de Nusselt

k : Conductividad térmica del aire [$W/m K$]

L : Longitud característica [m]

El valor del número de Nusselt es adimensional hace una relación de la transferencia de calor por conducción entre el fluido en contacto con la pared sólida y por convección del fluido en movimiento. Este valor se lo determina mediante la ecuación 14 [27].

$$N_u = f(G_r, P_r) \quad (14)$$

Donde:

G_r : Número de Grashof

P_r : Número de Prandtl

Empleado la ecuación 15 se determina el número de Grashof.

$$G_r = (\Delta T * \beta) \left(\frac{L^3 * \rho^3 * g}{u^2} \right) \quad (15)$$

Donde:

ΔT : Variación de temperatura entre la superficie exterior del horno y la media del ambiente [K]

β : Coeficiente de expansión térmica volumétrica [K^{-1}]

L : Longitud característica [m]

ρ : Densidad del aire [$\frac{kg}{m^3}$]

g : Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

u : Viscosidad absoluta [$\frac{kg}{m s}$]

Se calcula el valor de la variación de la temperatura

$$\Delta T = T_4 - T_5 = 30 K$$

Mediante la ecuación 16 se halla el coeficiente de expansión térmica [27]

$$\beta = \frac{1}{T_4} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{1}{323.15} = 3.0945 \times 10^{-3} K^{-1}$$

Mediante el despeje de la ecuación 17, se encuentra el valor de la longitud característica [32]

$$L = \frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL} \quad (17)$$

Donde:

LH: Longitud horizontal del horno [m]

LV: Longitud vertical del horno [m]

LL: Longitud lateral del horno [m]

Remplazando valores tenemos:

$$L = \frac{1}{\frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL}} = 0.0933 \text{ m}$$

Ahora se emplea los valores de viscosidad dinámica, densidad y el valor del número de Prandtl del aire a 50 °C, la cual es la temperatura del exterior del horno, como se observa en la tabla 5.

$$Gr = (30 \times 3.0945 \times 10^{-3} \text{ k}^{-1}) \left(\frac{(0.0933)^3 \times (1.092)^2 \times 9.81}{(1.963 \times 10^{-5})^2} \right)$$

$$Gr = 2.2889 \times 10^6$$

Mediante la ecuación 18 se calcula el número de Rayleigh [27]

$$Ra = Gr * Pr \quad (18)$$

$$Ra = 1.654416 \times 10^6$$

Finalmente, para tener el número de Nusselt, se aplica la ecuación 14 [27]

$$\text{Si } 10^4 \leq Gr * Pr \leq 10^9 \rightarrow Nu = 0.59 (Gr * Pr)^{1/4}$$

$$Nu = 0.59 (1.654416 \times 10^6)^{1/4}$$

$$Nu = 21.1598$$

Ahora aplicamos la ecuación 13 para encontrar el coeficiente de transferencia de calor

$$h = \frac{Nu * k}{L} = 6.202 \frac{W}{m^2 K}$$

Se obtiene el valor de la resistencia de calor por convección de la ecuación 12

$$R_4 = \frac{1}{h * A_3} = 0.3336 \text{ [K/W]}$$

Y últimamente con la ecuación 10 se determina la pérdida de calor total.

$$q = \frac{T_1 - T_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$q = 260.5393 \text{ W} = 0.2605393 \text{ kW}$$

5. Rendimiento térmico del horno

En un sistema de calefacción se determina por la relación entre el calor que será aplicado a la carga y el calor entregado por el sistema donde se incluyen las pérdidas. La ecuación 19 nos permitirá encontrar el rendimiento del horno [33]

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_c + q} \quad (19)$$

Para encontrar el rendimiento se requiere que las unidades sean compatibles, por lo tanto, el calor suministrado a la carga se lo divide para el tiempo que necesita el horno en alcanzar su temperatura máxima que es una hora.

$$\eta = \frac{447.99}{447.99 + 260.5393} = 0.6323 = 63.23\%$$

6. Cálculo de la resistencia eléctrica y corriente de trabajo

El cálculo de corriente de trabajo se lo hace mediante la ecuación 21

$$I = \frac{P}{V} = \frac{708.5086}{220} \quad (21)$$

$$I = 3.2205 \text{ A}$$

Ahora mediante la ley de ohm ecuación 22, se obtiene el valor de la resistencia requerida [34]

$$R = \frac{V}{I} = 68.3124 \Omega \quad (22)$$

Para elevar la temperatura en la cabina del horno se utiliza resistencias de Kanthal A-1, el cual está diseñado para trabajar hasta temperaturas de 1400°C. En la tabla 7 se muestran las propiedades de este material el cual se utilizará para elaborar la resistencia eléctrica.

Tabla 7. Propiedades del Kanthal A-1 [35]

Aleación	Kanthal A-1	
Resistividad a 20°C	Ωm	1.45x 10 ⁻⁶
Resistencia por metro	Ω	1.2
Diámetro del conductor	mm	2
Coefficiente de resistividad a 500 °C		1.01

El tipo de resistencia que se utilizara será del tipo de arrollado en espiral y se ubicaran en secciones de los ladrillos refractarios de tres paredes que componen la cámara del horno.

7. Cálculo de la resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo

Se calcula mediante la ecuación 23, donde se aplica el coeficiente de resistividad a 500 °C de la tabla 7. [31]

$$\begin{aligned} RT &= C_t * R_{20} \text{ °C} \\ RT &= 1.01 * 1.2 \\ RT &= 1.212 \Omega \end{aligned} \quad (23)$$

La resistencia eléctrica cambia a 1.212 Ω/m a la temperatura máxima de trabajo máxima del horno.

8. Cálculo de la longitud del hilo a realizar la resistencia

Mediante la ecuación 24, se calcula el largo del hilo de kanthal A-1 que será necesario para fabricar la resistencia. [31]

$$\begin{aligned} L_t &= \frac{R}{RT} \\ L_t &= \frac{68.3124}{1.212} = 56.3633 [m] \end{aligned} \quad (24)$$

9. Cálculo del diámetro de la espira

Para hornos industriales existen diferentes criterios Si la temperatura de trabajo de los elementos es menor a 1000°C, entonces se tomará en cuenta: $D/\Phi = 6 - 8$.

Si la temperatura de trabajo de los elementos es mayor a 1000°C, entonces se tomará en cuenta: $D/\Phi = 5 - 6$.

Por lo mencionado, se procede a obtener el diámetro que será utilizado para el bobinado de las resistencias ecuación 25 [31].

$$\begin{aligned} D &= 6 * \Phi \\ D &= 0.0120 [m] \end{aligned} \quad (25)$$

10. Cálculo del número de vueltas o espiras

Empleado la ecuación 26 se determina el número total de vueltas que debe tener la resistencia. [31]

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{L_t}{\pi * (D - \Phi)} \\ N_t &= 1794.099 \text{ Vueltas} \end{aligned} \quad (26)$$

D. MODELO MATEMÁTICO DEL CONTROLADOR PID

1. Modelo del proceso de calefacción

Se procede a partir del modelo del proceso de calefacción, que se puede representar utilizando la ecuación de transferencia de calor de Fourier [36], que describe la conducción de calor en un medio y se representa por la ecuación 27:

$$Q = hA(T - T_{amb}) \quad (27)$$

Donde:

Q: Es la cantidad de calor transferida (en watts).
h: Coeficiente de transferencia de calor (watts/m².K).
A: Es el área de transferencia de calor (en m²).
T: Es la temperatura en el interior del horno (en °C).
Tamb: Es la temperatura ambiente (en °C).

Para un horno con una resistencia de kanthal, se puede asumir que la transferencia de calor es proporcional a la corriente que fluye a través de la resistencia. Por lo tanto, se puede escribir como en la ecuación 28:

$$Q = kI(T - T_{amb}) \quad (28)$$

Donde:

k: Es una constante de proporcionalidad que depende de la geometría del horno y de la resistencia de kanthal (en watts/A).
I: Es la corriente que fluye a través de la resistencia de kanthal (en amperes).

2. Modelo del controlador PID

El controlador PID es un sistema de control que utiliza una combinación de tres términos para ajustar la salida del controlador y mantener la temperatura deseada en el horno. Los tres términos son:

Proporcional (P): Este término ajusta la salida del controlador en proporción al error entre la temperatura deseada y la temperatura real del horno. La ecuación 29 correspondería a la del término proporcional:

$$P = K_p(T_{deseada} - T_{actual}) \quad (29)$$

Donde:

Kp: Es la ganancia proporcional del controlador (en unidades de salida por unidad de error).

$T_{deseada}$: Temperatura deseada del horno (en °C).

T_{actual} : Temperatura real del horno (en °C).

Integral (I): Este término ajusta la salida del controlador en función del error acumulado a lo largo del tiempo. La ecuación 30 corresponde a la del término integral:

$$I = Ki \int_0^t (T_{deseada} - T_{actual}) dt \quad (30)$$

Donde:

Ki: Es la ganancia integral del controlador (en unidades de salida por unidad de error integrado).

t: Es el tiempo (en segundos).

Derivativo (D): Este término ajusta la salida del controlador en función de la tasa de cambio del error entre la temperatura deseada y la temperatura real del horno. La ecuación del término derivativo se puede escribir como la ecuación 31:

$$D = Kd \left(\frac{d}{dt} \right) (T_{deseada} - T_{actual}) \quad (31)$$

Donde:

Kd: Es la ganancia derivativa del controlador (en unidades de salida por unidad de cambio de error).

d/dt: Es la derivada respecto al tiempo.

3. Modelo del sistema de control

El modelo del sistema de control combina el modelo del proceso de calefacción y el modelo del controlador PID para formar un sistema de control de la temperatura del horno. El modelo se puede escribir de acuerdo a la ecuación 32:

$$I = \frac{1}{k} (Kp(T_{deseada} - T_{actual}) + Ki \int_0^t (T_{deseada} - T_{actual}) dt + Kd \frac{d}{dt} (T_{deseada} - T_{actual})) \quad (32)$$

Donde:

I: Es la corriente que fluye a través de la resistencia de kanthal (en amperes).

k: Es una constante de proporcionalidad que depende de la geometría del horno y de la resistencia de kanthal (en watts/A).

Kp, Ki, Kd: Son las ganancias proporcional, integral y derivativa del controlador, respectivamente (en unidades de salida por unidad de error, unidad de error integrado y unidad de cambio de error, respectivamente).

$T_{deseada}$: Temperatura deseada del horno (en °C).

T_{actual} : Temperatura real del horno (en °C).

d/dt: Derivada respecto al tiempo.

Para calcular los valores de las ganancias del controlador PID, se puede utilizar el método de Cohen-Coon.

Debido a que la temperatura del horno debe ser estar entre 450-500°C, se estima que el tiempo en que llegue desde 0°C hasta el rango de temperatura deseada sea de 2 minutos, es decir, en este periodo el sistema llegará hasta el 63.2% de temperatura de set point.

$$0.632 * (500 - 450) + 450 = 481.6 \text{ °C}$$

Este tiempo se conoce como tiempo de retardo. Se debe entonces, ajustar el controlador al valor de Kp calculado por la ecuación 33.

$$Kp = 1.2 * \frac{Td}{(Ku * P)} \quad (33)$$

Donde Ku es la ganancia crítica obtenida a partir del método de Ziegler-Nichols y P es el periodo de la respuesta del sistema al escalón de entrada.

Se debe ajustar las constantes Ki y Kd utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \quad (34)$$

$$Kd = Kp * \frac{Td(Td)}{4Tc} \quad (35)$$

Donde Ti es la constante de tiempo integral y Tc es la constante de tiempo de la respuesta del sistema al escalón de entrada.

Si el tiempo de retardo es de 2 minutos, la ganancia crítica Ku es de 2.4 y el periodo de la respuesta del sistema es de 2 minutos, sustituyendo este valor en las ecuaciones se obtiene:

$$Kp = 0.6 * Ku = 1.44$$

$$Ti = 4 * Td = 8 \text{ minutos}$$

$$Tc = \frac{P}{2 * pi} = 0.1592 \text{ minutos}$$

$$Ki = 0.18$$

$$Kd = 0.058$$

Estos valores iniciales se pueden ajustar mediante la experimentación en el sistema real para mejorar el desempeño del controlador y alcanzar los objetivos de control de temperatura del horno.

Respecto a este modelo, se debe buscar un controlador comercial que cumpla con los requerimientos y pueda trabajar dentro de los rangos de temperatura establecidos tanto para la resistencia de kanthal como para la temperatura necesaria para el memorizado de piezas de aleaciones con memoria de forma.

E. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO ELÉCTRICO

De acuerdo a los cálculos realizados y a las especificaciones analizadas para el diseño del horno, utilizando un software tipo CAD se plantea un prototipo que permita visualizar la estructura que se pretendería implementar para trabajar en la memorización del Nitinol.

Para la estructura interna, se plantea una cámara a base de ladrillo refractario, cuya finalidad es mantener el calor evitando pérdidas de energía y además eficiencia en el tiempo de calentamiento del horno. Las dimensiones son: (interno 180mm x 140mm x 100mm y externo 300mm x 200mm x 220mm), como se presenta en la figura 14.

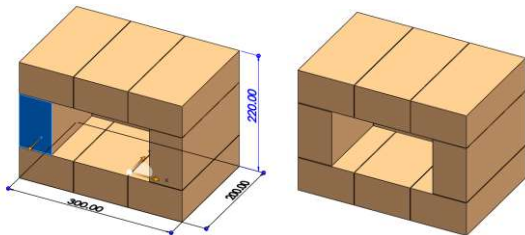


Figura 14. Estructura de ladrillo refractario [37]

Para sujetar la cámara de ladrillo, se requiere de una base metálica con ángulos, cuyas dimensiones serían aproximadamente: Medidas externas 315mm x 210mm, medidas internas 310mm x 205mm; Altura externa 270mm y altura interna 225 mm.

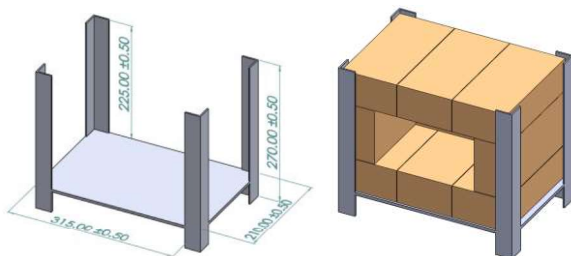


Figura 15. Estructura base angular metálica

Para proteger la estructura de ladrillo refractario y evitar el contacto directo con la persona, se requiere de una carcasa metálica, dentro de la cual se ubican

los elementos ya mencionados y además se debe colocar una capa de lana de vidrio entre el ladrillo y la carcasa para evitar pérdidas de calor. Las dimensiones de esta carcasa son aproximadamente: Medidas externas 320mm x 215mm, medidas internas 315mm x 210mm x 210mm y altura externa 235mm x 210mm x 210mm, como se presenta en la Figura 16.

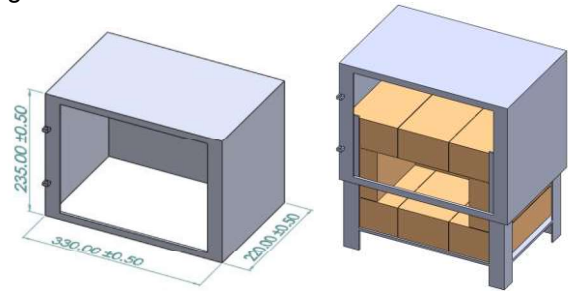


Figura 16. Carcasa metálica para el horno.

Además, se necesita de una tapa, cuyas características sean que se cierre herméticamente para que no haya fugas de calor y así se eviten problemas en el control de la temperatura. Para lo que se ha diseñado una tapa metálica con un soporte para ubicar una pieza de ladrillo refractario, con la finalidad de que evite pérdidas de calor y se mantengan las características de temperatura interna del horno. Las dimensiones de esta tapa son: Medidas externas 320mm x 230mm, mientras que las medidas para el soporte de ladrillo externas serían 220mm x 120mm e internas 200mm x 100mm.

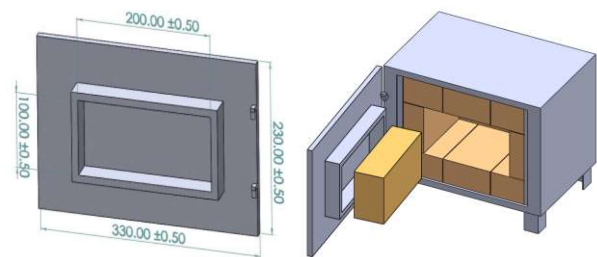


Figura 17. Estructura base angular metálica

Entonces, la estructura final del horno sería la que se muestra en la figura 18.

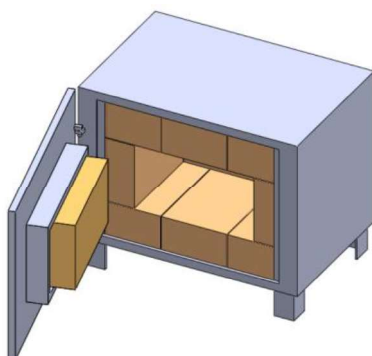


Figura 18. Estructura del Horno para el tratamiento térmico del Nitinol

F. DISEÑO DEL DISPOSITIVO PARA SUJETAR LAS PIEZAS DENTRO DE LA CABINA DEL HORNO ELÉCTRICO

1. Materiales que soportan altas temperaturas

En la Tabla 8. se muestra las aleaciones que funcionan con eficacia a temperaturas iguales o superiores a los 500 °C que debería durar 6 minutos hasta dar la forma dentro del horno. Para ello se utilizará el material de Hierro [38].

Tabla 8. Materiales que soportan diferentes temperaturas

Materiales	Temperatura
Plata	962 °C
Hierro	1538 °C
Aluminio	660 °C
Cobre	1082°C
Plomo	327°C

El material que hemos elegido para realizar el soporte para sostener el alambre dentro del horno es de Acero una aleación de hierro y carbono (AISI 1010), [39] donde estos soportes deben sostener y soportar la temperatura aplicada hasta dar la forma del material, el material seleccionado nos conviene, porque puede soportar la temperatura necesaria para el trabajo que se va realizar a más de 500 °C y este tipo de aleación soporta hasta 600 °C. [40]

2. Base para soportes

Para realizar la estructura de la base como se puede observar en las Figuras 19 y 20 las dimensiones de la base y está construido del material de Acero. Esta

base estará ubicada dentro del horno junto con los soportes que van a fijar el objeto.

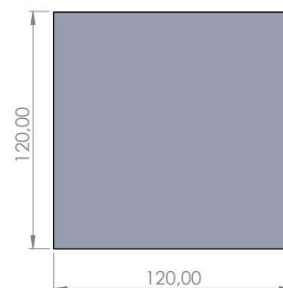


Figura 19. Base para fijar soporte con vista superior

La base tendrá unas medidas de 12X12 y un espesor de 5mm.

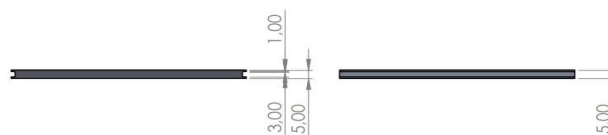


Figura 20. Base con distancia de recorrido de soporte

En la figura 21 se muestra la distancia para el recorrido de un soporte que será movable para poder ajustar en las medidas deseadas, esta distancia permitirá al soporte mover, dependiendo las medidas que tenga la pieza.

3. Dimensiones de la base

En la tabla 9 se puede observar las dimensiones de la base.

Tabla 9. Dimensiones de la base

Longitud	Medidas
Ancho	12 cm
Largo	12 cm
Espesor	12 cm

La estructura del soporte se compone de los siguientes elementos.

Placa de presión

La placa esta echa de Acero, y la función que cumple es sujetar o dar presión al objeto en la base del horno.

Estructura exterior

Material de Acero toda la estructura.

Perno

El perno está ubicado en el centro y perforado en la parte superior de los soportes, y la función que cumple es realizar la presión al objeto junto con la base.

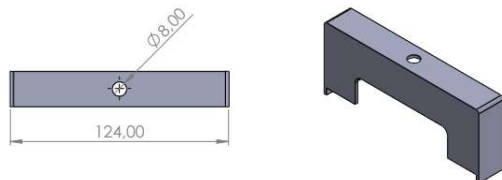


Figura 22. Estructura de soporte vista frontal y superior

El prototipo tendrá una perforación de 8mm en la parte superior para los dos pernos que serán introducidos y soldados en la placa de presión.

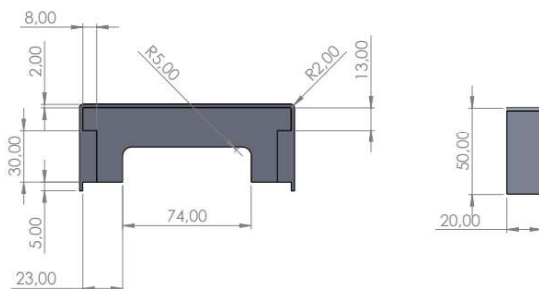


Figura 23. Medidas de soporte frontal y lateral

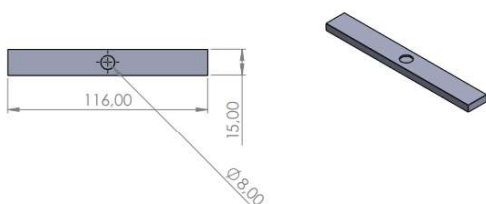


Figura 24. Placa para la presión del objeto

En la figura 24 se muestra la placa de presión, esta placa tiene la función de fijar y sostener el objeto con las ayudas de los pernos, donde harán la presión necesaria.

El diámetro del perno es de 3/8. Del material de Acero. [41]

Tabla 10. Dimensiones del perno

Longitud	Medidas
Largo	7 cm
Diámetro	3/8

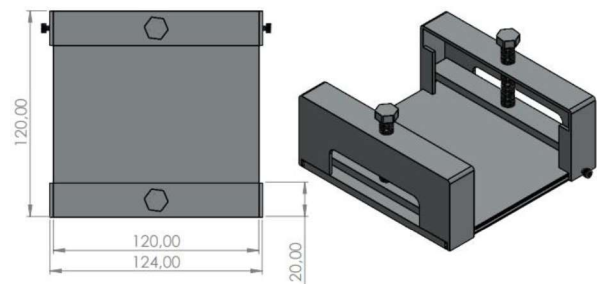


Figura 25. Ensamblaje final base, soporte y perno

En la Figura 25 se muestra el resultado final del prototipo del soporte, está compuesto de una base, placa de presión y el perno. Este será introducido en el horno junto con alambre de Nitinol ya fijado con la ayuda de este prototipo.

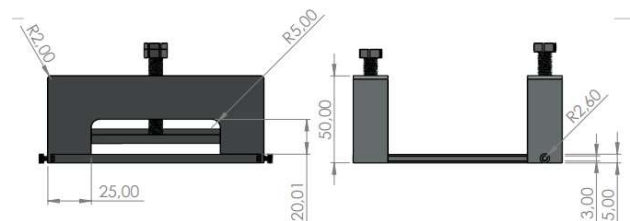


Figura 26. Resultado final del prototipo de soporte

Como se puede observar en la figura 26, un soporte se podrá regular a la distancia que deseemos, ya que este soporte se puede recorrer a una distancia de 8cm hacia el soporte izquierdo y después será ubicado dentro del horno para dar forma.

4. Dimensiones del soporte

En la tabla 11 se puede observar las dimensiones del soporte

Tabla 11. Dimensiones del soporte

Longitud	Medidas
Placa de presión	
Ancho	1.5 cm
Largo	12 cm
Espesor	5 mm
Estructura de soporte	
Ancho	2 cm
Espesor	5mm
Largo 1 y 2	12cm
Altura 1 y 2	5cm

3. RESULTADOS

De acuerdo a la bibliografía disponible, se pudo establecer que el rango de temperatura óptima para el memorizado del Nitinol, va desde 450-500°C, a diferencia de la temperatura que se le aplica posteriormente para que recupere la forma asignada. En base a estos valores se realizaron los cálculos para obtener las dimensiones de la resistencia de kanthal, la forma y estructura del horno, se definió el modelo del controlador, considerando que el controlador PID sería el más óptimo para este tipo de estructuras además de ser un sistema autoajutable. Un controlador que podría implementarse para este tipo de hornos o muflas, sería el controlador PID de la gama Rex C100, ya que es un dispositivo de control que se utiliza para regular la temperatura en sistemas de calefacción y enfriamiento, además que permite utilizar distintos métodos para el ajuste de los valores de las constantes proporcional, integral y derivativo.

4. CONCLUSIÓN

La elaboración del diseño de un horno eléctrico para tratamiento térmico del Nitinol es un proceso complejo que requiere una comprensión detallada de las propiedades térmicas y mecánicas del material, así como de las características del proceso de memorización. Es importante tener en cuenta factores como la homogeneidad de la temperatura en el horno, el control preciso de la temperatura, la velocidad de calentamiento y la protección contra la oxidación. Además, es importante considerar las necesidades específicas del proceso, como el tamaño y la forma de las piezas de Nitinol. El diseño final debe ser lo suficientemente robusto para

soportar las condiciones de tratamiento térmico y garantizar la calidad del producto final.

El controlador que se recomienda aplicar al horno diseñado, es un controlador PID, debido a que es más eficiente para el control de la histéresis que se puede presentar en este tipo de materiales y procesos, de ser el caso que se requiera controlar, ya que un controlador ON/OFF que comúnmente se aplica en la mayoría de hornos tradicionales no cuenta con estas funcionalidades.

La estructura del prototipo que se encarga de fijar y realizar la presión al objeto en la base, debe elaborarse en un material cuya temperatura de fusión sea mayor que la del Nitinol, para que pueda soportar a temperaturas altas o deseadas para el tipo de proyecto. El soporte nos ayuda a dar forma al material, además el diseño consta de un soporte móvil que ayuda a fijar al objeto ciertas distancias dependiendo de la forma dada al material.

5. REFERENCIAS

- [1] L. A. U. Maldonado, Estudio de la laeación inteligente con memoria de forma CuAlNi para determinar su aplicación industrial, Ambato, 2015.
- [2] A. C. L. R. R. P. Oscar López García, «Materiales inteligentes I/II: Introducción a los materiales del siglo XXI,» Anales de mecánica y electricidad, vol. 80, pp. 40-46, 2003.
- [3] C. M. Lampert, «Chromogenic Smart Materials,» Materials, vol. 7, n° 3, pp. 28-35, 2004.
- [4] M. M. S. G. D. B. L. Moreno, «Materiales Inteligentes: aleaciones con memoria de forma,» ResearchGate, pp. 1-32, 2009.
- [5] E. L. Cuéllar, «Una introducción a las aleaciones con memoria de forma,» Ingenierías , vol. 5, n° 16, pp. 5-11, 2002.
- [6] R. MannHeim, «Aleaciones con forma de memoria,» Remetallica, vol. 7, 2014.

- [7] G. A. Lana, Aleaciones con memoria de forma en base, España: Universidad del País Vasco, 2017.
- [8] I. A. G. López, NITINOL, UN NITINOL, UN BIOMATERIAL BIOMATERIAL CON, México: Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, 2011.
- [9] S. d. I. F. López, Simulación numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma, Tarragona: Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en Ingeniería, 2005.
- [10] H. P. O. M. P. D. Bazzana Santiago, Hornos y tratamientos térmicos, Universidad Nacional de Cuyo, 2008.
- [11] D. Gonzáles, orseño y coNSTRUccróru oe uN HoRNo DE, Quito : Universidad tecnológica equinoccial, 2016.
- [12] A. S. Bello, «El Nitinol: Un material Inteligente,» ResearchGate, pp. 1-5, 2013.
- [13] A. C. a. M. A. Sánchez, «Estudio e implementación de actuadores basados en aleaciones SMA,» Universidad Calos III, pp. 12-16, 2010.
- [14] m. k. D. W. Bartosz Wieczorek, «Método de programación de los resortes de nitinol en el espacio de la cámara del horno,» Universidad Tecnológica de Poznan, 2017.
- [15] C. W. T. H. M. Nishida, «Procesos de precipitación en aleaciones con memoria de forma TiNi casi equiatómicas. Transacciones metalúrgicas A.,» Transacciones metalúrgicas A, vol. 17, n° 9, pp. 1505-1515, 1986.
- [16] J. Méndez, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL SECADO DE LOS BOBINADOS DE MOTORES DE HASTA 10 HP, Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [17] Bautermic, Hornos eléctricos, Barcelona.
- [18] A. N. Guesi, Dimensionamiento de un horno eléctrico para tratamiento térmico de aceros, Santa Clara : Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2019.
- [19] D. m. p. l. i. y. construcción, «Dismetel,» [En línea]. Available: <https://dismetel.ec/productos/planchas/laminadas-en-caliente/1220-x-2440>. [Último acceso: 5 12 22].
- [20] M. T.C, Ladrillos refractarios aislantes JM, 2015.
- [21] KANTHAL, «Kanthal A-1,» de Alambre de calentamiento por resistencia y alambre de resistencia, 2021, pp. 1-3.
- [22] R. P. Areny, Sensores y acondicionadores de señal (4th ed.), Barcelona : Marcombo S.A., 2003.
- [23] O. Engineering, «Controladores de temperatura,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html#:~:text=Un%20controlador%20proporcional%20disminuye%20la,sobre pase%2C%20mantenimiento%20una%20temperatura%20estable..> [Último acceso: 12 2022].
- [24] E. J. Q. Copacondori, «Sistemas de Control de Temperatura,» 2018.
- [25] J. C. Villajulca, «Control PID en gráficos: ¿como responde el controlador ante determinados estímulos?,» 11 05 2011. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/control-pid-en-graficos-como-responde-el-controlador-ante-determinados-estimulos/>. [Último acceso: 2022].
- [26] A. Chapman, Transmisión de calor, Madrid: Bellisco, 1984.
- [27] H. J.P, Transferencia de calor, New York, Estados Unidos de América : McGraw-Hill, 1976.

- [28] J. M. C. Cengel Yunus A., Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones, Primera edición ed., McGraw, 2006.
- [29] A. J. G. Yanus A. CENGEL, Transferencia de calor y masa : fundamentos y aplicaciones, McGraw-Hill, 2011.
- [30] «Material Properties of Stainless Steel and Nitinol,» [En línea]. Available: <https://destore.onlinecheaps2022.ru/content?c=nitinol%20mechanical%20properties&id=4>.
- [31] J. A. Urquiza, Hornos industriales de resistencias: teoría, cálculo y aplicaciones, Madrid : McGraw-Hill, 1994.
- [32] L. V. U. Peralta, «DISEÑO, REHABILITACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS HASTA 1000 °C MARCA SYBRON MODELO TERMOLYNE 1500 PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE CIENCIAS DE MATERIALES DEL DECEM,» Sangolquí , 2014.
- [33] A. E. Knowlton, Manual "Standard" del Ingeniero Electricista., México D. F : Labor S.A, 1965.
- [34] R. Boylestad, Introducción al análisis de circuitos, México D.F: Pearson Educación., 2004.
- [35] KANTHAL, KANTHAL HANDBOOK: Resistance Heating Alloys and Systems for Industrial Furnaces Hallstahammar, Suecia: PRIMATryck, 2001.
- [36] RUA, «Mecanismos de transferencia de calor,» UA, pp. 2-5, 2020.
- [37] Autores, «Estructura de ladrillo refractario,» Riobamba, 2023.
- [38] J. A. M. Sabelle, Los materiales utilizados en alta temperaturas, Concepción_Chile: UNIVERSIDAD DEL BIO-BIODEPTO. INGENIERIA MECANICA, 2012.
- [39] L. Balanzas, Clasificación Aceros, Buenos Aires: Lasarte Balanzas, 2016.
- [40] N. Cristti, Las altas temperaturas mejoran la resistencia del acero, Buenos Aires: Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 2009.
- [41] IMPORPERNOS, La norma ASTM, Quito: Norma ASTM, 2023.



HORMIGÓN A BASE DE FIBRAS DE ZANAHORIA PARA POTENCIALIZAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

CONCRETE BASED ON CARROT FIBERS TO
POTENTIALIZE ITS MECHANICAL PROPERTIES



HORMIGÓN A BASE DE FIBRAS DE ZANAHORIA PARA POTENCIALIZAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

CONCRETE BASED ON CARROT FIBERS TO POTENTIALIZE ITS MECHANICAL PROPERTIES

David Alejandro López Niama¹

¹ Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Ecuador, dalopez@institutos.gob.ec

RESUMEN

Las fibras naturales se han utilizado como una forma de refuerzo en el hormigón en muchos países para viviendas ya que estos cuentan con este recurso de manera abundante. Por eso sabiendo que la fibra de zanahoria es una fibra vegetal que abunda en muchas partes de Ecuador, la presente investigación demuestra el mejoramiento de las propiedades mecánicas del hormigón, como la trabajabilidad, durabilidad, consistencia, costos y una reducción del impacto ambiental. La provincia de Chimborazo es la que más origina este tubérculo, siendo en Colta, Guamote y Chambo, producen 10.300 toneladas.

Con los resultados obtenidos de los ensayos en probetas de un total de 32 unidades, se pudo determinar que las únicas mezclas que presentaron resistencia a la compresión mínima ensayada fueron probetas que contenían una cantidad de fibra de 1% con relación a las muestras que no contenían la fibra de zanahoria. Se determinó una resistencia por sobre los 240 kg/cm² dando un efecto positivo con la incorporación de la fibra de zanahoria al hormigón, el efecto obtenido es una buena adherencia de la fibra a la matriz cementicia e impide que las grietas progresen en el hormigón al ser ensayado.

Palabras clave: fibra, hormigón, resistencia a la compresión, zanahoria.

ABSTRACT

Natural fibers have been used as a form of reinforcement in concrete in many countries for housing since they have this resource in abundance. Therefore, knowing that carrot fiber is a vegetable fiber that is abundant in many parts of Ecuador, the present research demonstrates the improvement of the mechanical properties of concrete, such as workability, durability, consistency, costs and a reduction of the environmental impact. The province of Chimborazo is the largest producer of this tuber, with Colta, Guamote and Chambo producing 10,300 tons.

With the results obtained from the tests on specimens of a total of 32 units, it was determined that the only mixtures that presented resistance to the minimum compressive strength tested were specimens that contained an amount of fiber of 1% in relation to the samples that did not contain carrot fiber. A resistance of over 240 kg/cm² was determined, giving a positive effect with the incorporation of carrot fiber to the concrete, the effect obtained is a good adherence of the fiber to the cementitious matrix and prevents cracks from progressing in the concrete when tested.

Keywords: fiber, concrete, compressive strength, carrot.

Recibido: 17/11/2022 Aceptado: 05/04/2023
Received: 17/11/2022 Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, a pesar del crecimiento económico de los últimos años, aún existen muchas carencias en el sector de la construcción más visible, es precisamente por el crecimiento de este sector que la cantidad de materiales de construcción se ha incrementado en los últimos años. Por ello, se buscan alternativas de solución para que estas industrias puedan suplir la necesidad de vivienda segura y que esté dentro de sus posibilidades económicas. («Impacto del Sector de la Construcción en el Ecuador», 2018)

Por otro lado, el uso de cemento está aumentando en todo el mundo, lo que provoca mucha contaminación por la quema de combustibles fósiles, que ocupa el tercer lugar en términos de emisiones de dióxido de carbono. Actualmente se están realizando esfuerzos para reducir esto agregando fibras al concreto para reducir la proporción utilizada en las mezclas de concreto y promover otras ganancias en resistencia. (Frohmann & Olmos, s. f.)

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Chimborazo menciona que la construcción es uno de los ejes de desarrollo económico más fuertes en nuestro país y de la provincia de Chimborazo, corresponde a un (17.31%), de crecimiento, donde la presente investigación aportará con la búsqueda de nuevos materiales para la construcción de obras civiles, haciéndola más sustentable con el medio ambiente, eficiente y viable.

En este contexto este nuevo material como se lo ha denominado “Zanagón” busca modificar las propiedades físicas, mecánicas del hormigón, a través de la inclusión de fibras orgánicas (zanahoria) tratadas, como una alternativa en el uso de materiales cotidianos.

La producción de zanahoria amarilla en la provincia de Chimborazo equivale a las 9620 toneladas, de acuerdo a ministerio de agricultura y pesca zona 3, Censo Nacional Agropecuario año 2000, con esa amplia producción, existe también el desperdicio, en las diferentes plazas de captación, lavado comercialización y transporte hacia las ciudades con mayor densidad poblacional, donde estas son consumidas o aprovechadas en la industria alimentaria. (Tomo_CNA.pdf, s. f.)

El hormigón es producto de la mezcla de 4 elementos principales cemento (planta de producción cemento Chimborazo), agregado fino

(arena lavada de Penipe), agregado grueso (mina de cerro negro) y agua, además a la mezcla se le puede añadir aditivos, que modifiquen el comportamiento físico o mecánico de acuerdo a las necesidades del constructor.

Todos estos elementos son producto de la explotación de minas y el uso de productos químicos, que causan un impacto en el medio ambiente. Es donde ZANAGÓN, tiene como propuesta mejorar las propiedades mecánicas sustituyendo el uso de aditivos que mejoran la resistencia del hormigón, teniendo en cuenta un buen manejo en el proceso de curado de las fibras, aplicación y fraguado del material de construcción, considerando la descomposición de la materia orgánica, la falta de control de los procesos constructivos, etc.

2. ESTADO DEL ARTE

Zongo, K (2018). Este estudio forma parte del problema general del desarrollo de materiales de construcción innovadores con bajo impacto ambiental para las mejoras del medio ambiente. Para ello, se realizaron pruebas para la formulación de compuestos cementicios a base de fibras de rinoceronte (*borassus aethiopum mart.*) y cascarilla de arroz. Los resultados permitieron obtener la proporción óptima en partículas de biomasa y contenido de agua que condujeron a las mejores propiedades físicas y mecánicas de los compuestos (*Compuestos cementantes fibroreforzados de bajo impacto ambiental comportamiento mecánico*, s. f.)

El uso de fibras vegetales ha recuperado interés en diferentes campos. De hecho, las fibras vegetales pueden representar una alternativa a las fibras tradicionales incorporadas en materiales de construcción, como las fibras de polipropileno. El desarrollo sostenible requiere la adopción de materiales ecológicos y naturales. (España Espinoza, 2020)

Reyna, C (2016). En la presente investigación se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. Se utilizó como materia prima, para el diseño de 15 mezclas, el cemento Portland Extra Forte, gravilla de 1/2", arena gruesa y los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, estos residuos sustituyeron a la arena gruesa en los porcentajes en peso de 5%,

10% y 20% respectivamente. (LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE, s. f.)

Narváez, Jairo (2017). En su tesis el objetivo de esta investigación es determinar la influencia en la resistencia a la compresión del uso del bagazo de caña de azúcar como agregado orgánico en la elaboración de bloques para mampostería liviana. El presente trabajo se enmarca dentro de la investigación experimental, dado que durante el desarrollo del mismo se ejecutarán ensayos en muestras de hormigón preparadas con fibras de bagazo de caña de azúcar añadido a la matriz del hormigón convencional y se determinará la influencia de dichas fibras en las propiedades físicas y mecánicas del mismo. En este proyecto se usará la investigación que tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo, ya que se realizará un análisis de los agregados. (Narváez Guevara, 2017)

En el Ecuador el cultivo de zanahoria está muy extendido en los valles de Machachi en la Provincia de Pichincha y de Chambo en la Provincia de Chimborazo, siendo cultivado en mediana escala en toda la serranía ecuatoriana. Este es un cultivo de clima templado que se localiza especialmente en los valles interandinos, de preferencia se desarrolla en las provincias de Chimborazo, Pichincha, Bolívar, Cotopaxi y Tungurahua; abre amplias posibilidades a la producción en zonas no tradicionales aprovechando que los mercados internacionales presentan una demanda diversificada de “zanahoria”, como se muestra en la Tabla N° 1. Según el cuadro de estimación de la producción en (Tn) en el año 2005 de zanahoria amarilla.

Provincia	Toneladas
Carchi	355
Imbabura	131
Pichincha	1425
Cotopaxi	3656
Tungurahua	2569

Chimborazo	9620
Cañar	225
Loja	956

Fuente:

<http://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm#3>.

La superficie sembrada de zanahoria amarilla (*Daucus carota*) en el Ecuador se estima en 2932ha, con una producción de 18127Tn. En la provincia de Chimborazo la superficie sembrada es de 120ha.

La zanahoria amarilla tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Tabla N° 2. Clasificación Taxonómica de la Zanahoria Amarilla

Nombre común	Zanahoria
Nombre científico	<i>Daucus carota</i> L.var. Sativa.
Reino	Vegetal
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Orden	Umbelliflorae
Familia	Umbelliferae
Género	<i>Daucus</i>
Especie	<i>D. Carota</i>

Fuente:

<http://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm#3>.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar las dosificaciones de fibra de zanahoria para aumentar la resistencia del hormigón
- Determinar el porcentaje de fibra de zanahoria para obtener el asentamiento óptimo de la mezcla de hormigón.

HIPÓTESIS

Al realizar el diseño de la mezcla de hormigón con fibras de zanahoria se mejorará sus propiedades mecánicas

3. METODOLOGÍA

El tipo de investigación fue explicativo, descriptivo y correlacional porque se realizaron diseños de mezcla, los cuales se llevaron al laboratorio para ser ensayados.

En cuanto a la metodología fue de carácter deductivo, porque intenta demostrar las teorías universales en un lugar determinado con el fin de que se cumpla la información.

El nivel de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que mediante los ensayos y sus respectivos resultados se realizaron los cálculos para determinar los objetivos planteados. Y también el diseño fue experimental porque se realizaron ensayos de laboratorio y recolección de datos.

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la observación de campo y se tomó muestras para los ensayos de acuerdo a las normas ASTM C31 (preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra), C39 (Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto), C143 (método estándar para la prueba de asentamiento en el concreto de cemento portland) y la NTE INEN 3124 (hormigón, elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio), las cuales especifican el procedimiento para obtener datos de los ensayos del hormigón a compresión.

Para la investigación se elaboraron en total 48 probetas divididas en 3 probetas para los diseños patrón y con fibra de zanahoria, para los 7, 14, 21 y 28 días del ensayo de compresión. (*Seguridad, calidad y competitividad - Inicio ASTM*, s. f.)

El proceso de cada uno de los materiales utilizados que debió seguirse para la elaboración del hormigón, a continuación, se detalla:

Fibra de zanahoria: Para el tratamiento de la fibra de zanahoria se usó cal hidráulica, la misma que tiene como finalidad preservar la fibra, eliminando la presencia de micro organismos para su adición al diseño.

Se debe señalar que la hortaliza (zanahoria) debe ser lavada y enjuagada repetidas veces, para dejarla secar a temperatura ambiente, para que la humedad de la fibra no incida en la absorción del agua dentro de la mezcla, para la obtención del producto Zanagón la hortaliza debe ser triturada, secada a temperatura ambiente y tratada.

La fibra de zanahoria obtenida será adicionada en la mezcla de hormigón en un 0.50%, 1.00% en relación al peso del agregado fino.

Diseño del Hormigón

La dosificación utilizada fue; 1:2:3:0.5, es decir 1 saco de cemento, 2 partes de agregado fino, 3 partes de agregado grueso, 0,5 kg (1%) de fibra de zanahoria y 65 litros de agua.

Para el diseño de hormigón se empleará las proporciones de agregados adecuadas que se necesitan en la mezcla para poder obtener óptimos resultados en el diseño patrón de mezcla, utilizando los siguientes materiales:

Agregados Fino: arena – Penipe

Agregado Grueso: mina de Cerro Negro

Cemento: Cemento Portland Puzolánico Tipo IP (Chimborazo).

Cal: Cal Hidráulica

Zanahoria: Tipo amarilla procedente del Cantón Chambo

Para los siguientes diseños de mezcla se usaron los datos del diseño patrón añadiendo la fibra de zanahoria, en varios porcentajes 0.50 %,1% y 1.5%. La relación agua cemento se corrigió en función del ensayo de asentamiento del hormigón; Las fibras de zanahoria fueron agregadas junto con el agua, para que se unifique durante el proceso de reacción química entre los diferentes materiales.

Elaboración de testigos de hormigón

Se utilizaron moldes con dimensiones de 100mm de diámetro * 200mm de altura, de acuerdo a la norma, la toma de muestras se realizó de inmediato, en una zona plana y libre de vibraciones, con todos los equipos y materiales necesarios conde los moldes deben estar previamente engrasados para su facilidad de desmolde.

Para la toma de muestras se llena los moldes en dos capas, la primera capa a la mitad del molde y compactándole con una barra de acero lisa con una

punta redondeada de 5/8" de diámetro con 30 cm. de longitud, con el que se realiza 25 penetraciones dentro del molde con uniformidad repartidos de manera espiral, para eliminar las posibles burbujas o vacíos de aire que se encuentran dentro de la probeta se debe emplear un martillo de goma y golpean el molde por 4 ocasiones una por cada punto cardinal. Este proceso se repite en la segunda capa, para darle un terminado o acabado con la ayuda de la varilla liza realizamos rasantes y procedemos a colocar un membrete.

Los cilindros no deben ser movidos por un periodo de 24 horas, para su posterior desencofrado y ubicación en una piscina de curado, donde permanecerán hasta 24 horas antes de su rotura, misma que se procedió a realizarse en un periodo de 7, 14, 21 y 28 días como dicta la norma.

Ensayo de asentamiento

El método indicado para medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el cono de Abrams, ya que permite verificar en campo la consistencia de la mezcla, bajo parámetros del contenido de agua presente en la pasta y la altura que alcanza a una medida determinada (60cm), verificando que nuestra muestra tiene una diferencia de altura entre la pasta y la varilla de 12cm libres. [4]

Ensayos de concreto endurecido - Resistencia a compresión

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial a una velocidad controlada a los testigos cilíndricos hasta su rotura y falla. La resistencia a la compresión de la probeta ensayada es calculada por división de la carga máxima en kN por el área de la muestra.

3. RESULTADOS

El proceso a la fibra de zanahoria ayudó a mejorar la propiedad de trabajabilidad y dentro de los mejores resultados se menciona que debe ser un material tratado mediante un proceso durante 24 horas sumergido en cal hidráulica, ya que ayuda a disminuir el porcentaje de porosidad de los cilindros, al ocupar estos espacios a nivel molecular.

Los ensayos destructivos de las probetas, han permitido observar la correcta adherencia de las fibras de zanahoria con los diferentes elementos de

los que está compuesto el hormigón, resaltando que se realizaron probetas anteriores a las definitivas en donde se saturaba totalmente de agua la mezcla y no podían desencofrarse del molde.

Una vez aplicada la dosificación para hormigones de 210 kg/cm², con diferentes porcentajes de fibra de zanahoria (0.5%, 1%, 1.5%) se determinó que con el 1% de fibra a los 28 días, la propiedad mecánica de la resistencia a compresión se incrementa en un 15%, versus al hormigón tradicional, es decir se obtuvo una resistencia de 241 kg/cm².

4. DISCUSIÓN

Se menciona que solo existe investigaciones con un grado de similitud a la investigación que utilizan las fibras de zanahoria en el hormigón que menciona lo siguiente:

Llontop Carolina (2019) en sus conclusiones menciona que, de acuerdo con los resultados de los ensayos realizados, la resistencia a la compresión llegó a los 389.50 kg/cm², con la adición del 0.5% de fibra de zanahoria. Para los otros 2 diseños de 1.0% y 1.725% de adición de fibra de zanahoria los valores obtenidos fueron: 355.67 kg/cm² y 346.47 kg/cm². En todos los diseños llegan a superar al diseño patrón que alcanza una resistencia de 346.4 kg/cm². (Esquerre et al., s. f.)

En otras investigaciones similares, pero con distintas fibras menciona Pajares Édison, (2015). Analizó el incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal (cabuya) en porcentajes de 0.50%, 1.00% y 2.00% del volumen del concreto, así como también la reducción de costos basados en las resistencias alcanzadas tomando como patrón de diseño a un concreto $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

5. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados, la resistencia a la compresión llegó a los 241.50 kg/cm², con la adición del 1% de fibra de zanahoria. Para los otros 2 diseños de 0.5% y 1.5%

de adición de fibra de zanahoria los valores obtenidos fueron: 185.17 kg/cm² y 206.47 kg/cm². En todos los diseños llegan a superar al diseño patrón que alcanza una resistencia de 216.4 kg/cm².

En cuanto a las dosificaciones al agregar la cantidad adecuada 1% de fibra de zanahoria, se consigue modificar favorablemente las propiedades mecánicas (resistencia) del hormigón, con un asentamiento del cono de abras de 10cm, obteniendo una resistencia superior a los 21MPa, a los 28 días, además este material actúa como ligante que disminuye el apareamiento de grietas producto de la contracción y dilatación del concreto por el cambio de temperatura, pudiendo observar la disminución de porosidad en las muestras por la ocupación de las fibra.

6. RECOMENDACIONES

El procedimiento que se aplicó a la fibra de zanahoria para emplearlo como agente (aditivo) fue beneficioso ya que favoreció a la adherencia correcta con los demás materiales que conforman el hormigón endurecido, al tratarse de un material básicamente orgánico este contiene azúcares y almidones los cuales al combinarse con un contenido bajo de cal permite el curado de la fibra para evitar su descomposición, este efecto de adherencia se logra debido a los enlaces covalentes a un nivel molecular.

7. AGRADECIMIENTOS

El reconocimiento y agradecimiento para la máxima autoridad la Ing. Tania Parra Proaño Rectora del Instituto Superior Tecnológico Riobamba, quién con su apoyo motivó al desarrollo de la investigación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Compuestos cementantes fibroreforzados de bajo impacto ambiental comportamiento mecánico. (s. f.). Recuperado 23 de marzo de 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352017000200135

España Espinoza, J. M. (2020). Las fibras vegetales: Materiales ancestrales para un futuro sostenible en el desarrollo de productos. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 87, 212-228. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi87.3767>

Esquerre, B. L., José, C. M., Chávez, B. R., & Carmen, M. D. (s. f.). *TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.*

Frohmann, A., & Olmos, X. (s. f.). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático.*

Impacto del Sector de la Construcción en el Ecuador. (2018, febrero 20). *Revista Perspectiva.* <https://perspectiva.ide.edu.ec/investiga/2018/02/20/impacto-del-sector-de-la-construccion-en-el-ecuador/>

LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE. (s. f.). Recuperado 23 de marzo de 2023, de https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html

Narvárez Guevara, J. A. (2017). *Determinación de la influencia del bagazo de caña de azúcar como agregado orgánico en la resistencia a la compresión de bloques para mampostería liviana* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/25746>

Seguridad, calidad y competitividad—Inicio ASTM. (s. f.). Recuperado 23 de marzo de 2023, de

https://la.astm.org/es/?gclid=Cj0KCQjw8e-gBhD0ARIsAJiDsaW2voouU5tDdGKY4kg30T2X6JI6dGE4UD-e-3LDgNH1yhprJk1fAbEaAiACEALw_wcB

Tomo_CNA.pdf. (s. f.). Recuperado 23 de marzo de 2023, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf

III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 2010.

[En línea]. Available:

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/w](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-)

[eb-](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-)

[inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.p](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-)

[df](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-). [Último acceso: septiembre 2021].



AULA INVERTIDA COMO ESTRATEGIA EDUCATIVA PARA MEJORAR EL USO DE INSTRUMENTOS DE METROLOGÍA

INVERTED CLASSROOM AS AN EDUCATIONAL STRATEGY
TO IMPROVE THE USE OF METROLOGY INSTRUMENTS



AULA INVERTIDA COMO ESTRATEGIA EDUCATIVA PARA MEJORAR EL USO DE INSTRUMENTOS DE METROLOGÍA

INVERTED CLASSROOM AS AN EDUCATIONAL STRATEGY TO IMPROVE THE USE OF METROLOGY INSTRUMENTS

Ortega Peralta Edgar Patricio¹,
Sánchez Salao Verónica Lorena²,
Cruz Delgado Edwin Geovanni³,
Yungan Guaña Edgar Patricio⁴

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador, edgar.ortega@istcarloscisneros.edu.ec.

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, veronicasanchezs1010@gmail.com.

³ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, edwin.cruz@istcarloscisneros.edu.ec.

⁴ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, edgar.yungan@istcarloscisneros.edu.ec.

RESUMEN

El aula invertida es importante porque aporta un aprendizaje fuera del aula con ayuda de recursos didácticos (videos, lecturas, herramientas web 2.0) y hace que los estudiantes participen activamente en clase. La presente investigación tiene como objetivo demostrar el nivel de eficiencia del aula invertida como estrategia educativa en el uso de los instrumentos de medición de metrología de estudiantes de segundo semestre del Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros". La investigación es de tipo cuantitativa, con diseño cuasiexperimental y el alcance descriptivo y correlacional. El tamaño de la muestra es de 26 estudiantes divididos en dos grupos paralelo C (grupo de control) y E (grupo experimental) de la asignatura de metrología. Para las pruebas estadísticas, se considera el Pvalor (sig) de la Prueba T para muestras relacionadas de 0,000, los puntajes obtenidos en la evaluación inicial o Pre test del grupo experimental son distintos a los obtenidos en la evaluación final o Pos test del mismo grupo. Existe una diferencia de 1.85 puntos de mejora en los resultados obtenidos luego de la aplicación del Aula Invertida ya que la mayoría de estudiantes obtuvieron una nota entre 9,0 – 10,0. De este modo, se demuestra que la aplicación del aula invertida con sus diferentes contenidos, estrategias y recursos, sirve perfectamente en la comprensión de información académica, se mantiene de igual manera la motivación por el estudio.

Palabras clave: Aula invertida, aprendizaje, didáctica, estrategia educativa, pedagogía.

ABSTRACT

The flipped classroom is important because it provides learning outside the classroom with the help of teaching resources (videos, readings, web 2.0 tools) and makes students participate actively in class. The objective of this research is to demonstrate the level of efficiency of the flipped classroom as an educational strategy in the use of metrology measurement instruments of second semester students of the "Carlos Cisneros" Higher Technological Institute. The research is of a quantitative type, with a quasi-experimental design and a descriptive and correlational scope. The sample size is 26 students divided into two parallel groups C (control group) and E (experimental group) of the metrology subject. For statistical tests, the Pvalue (sig) of the T Test is considered for related samples of 0.000, the scores obtained in the initial evaluation or Pretest of the

experimental group are different from those obtained in the final evaluation or Posttest of the same group. . There is a difference of 1.85 points of improvement in the results obtained after the application of the Flipped Classroom since the majority of students acquired a grade between 9.0 - 10.0. In this way, it is demonstrated that the application of the flipped classroom with its different contents, strategies and resources, serves perfectly in the understanding of academic information, the motivation for the study is maintained in the same way.

Keywords: *flipped-classroom, learning, didactics, educational strategy, pedagogy.*

Recibido: 06/01/2022 Aceptado: 05/04/2023
Received: 06/01/2022 Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, el desarrollo de las estrategias en la educación ha dado un impulso notable a nuevos métodos de enseñanza. Según King (1993), manifiesta que es tiempo, de innovar las formas de transmisión de información en las aulas de clase hacia el cimiento de significados. Cada día, se presentan nuevas tecnologías y nuevas formas de enseñar, el aula invertida es un método donde, se combina el trabajo presencial y el trabajo en línea. Este método se promueve en la Educación Superior de Estados Unidos y en todas partes del mundo para la obtención de un aprendizaje constructivo y no solo receptivo. En el ámbito internacional Coufal (2014), menciona que: El aula invertida fue popularizada por Bergmann y Sams, como Flipped Classroom, expresión reconocida en los niveles primarios.

El término aula invertida desde enfoques pedagógicos educativos, se proyecta desde el entorno general hasta espacios individuales, en donde se realiza un proceso de dinamismo e interacción, con la apropiada instrucción del profesor, mismo que luego de mostrar conceptualizaciones realiza actividades creativas y participativas (Bergmann y Sams, 2014).

Por consiguiente, el aula invertida, se define como el conjunto de estrategias didácticas con características metodológicas adecuadas que buscan transformar la enseñanza acostumbrada por factores prácticos como: Enriquecer la memoria, aplicar conocimientos nuevos, incentivar la creación de contenidos e influenciar el pensamiento crítico, se considera a su vez las evaluaciones continuas para mantener la dirección hacia el cumplimiento de objetivos (Vidal et al., 2016).

Este método de enseñanza permite a los alumnos aprender nuevos contenidos por medio de la observación de videos expuestos en aplicaciones web, en donde los usuarios acceden a estos espacios gratuitamente para elaborar sus tareas en sus domicilios o en el aula con el docente de turno. Estas actividades se efectúan siempre y cuando estas visualizaciones sean controladas y dirigidas por el docente (Berenguer, 2016).

La gamificación es un conjunto de técnicas de aprendizaje que traslada la mecánica de los juegos en el ámbito educativo, requiere que los estudiantes, se apropien de los temas impartidos por los docentes, se utiliza el juego. La relación entre los

estudiantes con la Gamificación junto con las tecnologías de la información y la comunicación TIC para un software libre a través del tiempo se han ido vinculando en el proceso enseñanza-aprendizaje (Coello y Gavilanes, 2019).

En tanto que, el aprendizaje basado en el pensamiento muestra su efectividad porque se usan en forma sucesiva y se establece un orden para su aplicación. En la Gamificación la característica principal es que se usa una variedad de juegos que son con respecto al tema y hace que la clase no sea aburrida sino altamente activa por medio de softwares interactivos.

Tanto en el método de casos como en el método basado en proyectos como en otros métodos el docente organiza y dirige las actividades de aprendizaje, la evaluación, el control para la valoración permanente de las mismas, puesto que se capacita y no permanece con la metodología tradicional sino busca nuevas formas para enseñar a sus alumnos.

El aula invertida es un método que permite vincular en el proceso de formación elementos propios de la educación presencial con la virtualidad, lo que conduce a que los estudiantes acceden a información en cualquier momento del día, no necesariamente por mandato del profesor, sino él adquiere características de auto instrucción y auto aprendizaje.

El aula invertida, se define como la forma en que, el aprendizaje deja de ser una labor monótona para convertirse en acciones dinámicas e interactivas entre el alumno y el profesor, con su debida orientación y seguimiento de la misma. El aula invertida altera los procesos tradicionalistas, se cambia el perfil del pensum académico para, que se atiendan dificultades teóricas en cualquier momento del día en base a recursos virtuales. Este método tiene un aprendizaje individual y obliga a acciones participativas dentro de las clases. Las actividades de práctica, se las realiza en clases, así como también, preguntas al profesor y donde no existe un estudiante que solo escucha, sino que participa.

El aula invertida tiene elementos centrales estos son: el tipo de meta a alcanzar y la clasificación de información, es decir, aquella que esta explicada por medio de videos o los que son necesarios en prácticas experimentales. Por medio de esta organización, se logra el alcance de objetivos y el

desarrollo de habilidades. El docente prepara actividades que impliquen trabajos hechos por los estudiantes donde el profesor se dispone solamente como guía de la actividad.

Para la aplicación del Aula invertida el docente los recursos educativos como: videos, artículos científicos, podcast, diapositivas creadas por él mismo, imágenes, mapas mentales, mapas conceptuales, cuestionarios, encuestas y objetos web 2.0, que se encuentran en la red. Además, realiza instrucciones al exterior del aula para aprovechar el tiempo en la clase entre el docente y el estudiante (Jiménez et al., 2021).

La primera etapa en el desarrollo de una clase invertida es el análisis, en esta fase se elige el tema, se analizan los objetivos de la clase y su contenido, así como las necesidades y características del alumnado. El siguiente paso es la preparación de los materiales y el diseño de la clase, que se quiere utilizar desarrollar y seleccionar actividades individuales y grupales de distintos niveles para atender la diversidad de la clase; y actividades colaborativas que exijan a los alumnos un aprendizaje activo. Hechas las actividades anteriores, se continúa con la ejecución del proyecto. Se distribuye el material y se dan las instrucciones necesarias a los alumnos, también, se utiliza alguna plataforma, al final, es necesario evaluar la eficacia del trabajo realizado por los alumnos y los resultados del proyecto. En cada actividad para conllevar a cabo la realización de la clase invertida, se tiene en cuenta estos aspectos: procurar planificar tareas a los alumnos antes, durante y después de las clases, tener contenidos como una video lección o alguna presentación para con esto hacer una retroalimentación fuera de la clase. Además, se da las instrucciones necesarias para que los estudiantes comprendan la actividad y elaborar un test para comprobar si han visualizado, leído y comprendido, despejar sus dudas, retar a realizar proyectos y animar a los alumnos a trabajar en grupos, reflexionar si tienen algún error y corregirlos en la clase. Este modelo hace que el profesor envíe los temas y actividades a realizar antes de la clase. También, exige al profesor enviar una semana antes los temas para la clase y convierte al alumno a ser responsable de su aprendizaje. En varias partes, se ha aplicado este modelo como en Estados Unidos y México. El modelo del aula invertida, se ha aceptado en Latinoamérica. Si bien, se encuentra en la actualidad este modelo implementado en varias

partes del Ecuador y universidades que han referido casos de éxito en el sistema educativo.

Sincrónico a través de proyectos y presentaciones creativas su aplicación y a través de juegos y experimentos. Asincrónico a través del uso de blogs, pruebas, sitios interactivos, video conferencia y audio conferencia.

Las herramientas de la web 2.0 y 3.0 son necesarias para la aplicación del aula invertida, debido a que, tienen recursos descargables en las sesiones presenciales o sesiones online con los estudiantes. En comparación con las herramientas web 3.0 ambas son herramientas para la interacción a través de plataformas de publicación. La diferencia radica en que la web 3.0 interactúa en tiempo real y la web 2.0 interactúa en redes sociales. El modelo del aula invertida fomenta el estudio previo de los alumnos con gran eficacia y permite al profesor verificar el estudio y premiar a aquellos que lo practican.

La metrología es aquella ciencia que permite comprender determinantes cualitativas y cuantitativas sobre mediciones efectuadas en diferentes momentos, objetos y circunstancias. Debido a que la metrología estudia los sistemas de pesas y medidas, la asignatura tiene un campo amplio de aplicación y clasificación como la metrología Legal, científica e industrial. Dentro de la metrología científica se tiene la metrología dimensional, que se encarga de todo lo que se mide en unidades de longitud (Mendoza y Garza, 2017).

Refiriéndose a la medición, también, interviene el Sistema Internacional de Unidades, que se encuentran las 7 magnitudes físicas fundamentales: Longitud, masa, tiempo, temperatura, intensidad de corriente, intensidad luminosa, cantidad de sustancia. En consecuencia, se basa el estudio en una de estas magnitudes fundamentales como la longitud, es decir, la medición de superficies tanto internas como externas y profundidades.

Si, se tiene un instrumento de medición y, se asegura que la lectura es adecuada, se lo lleva algún laboratorio que lo certifique. Además, se presentan a continuación, un gráfico, que se diferencian los conceptos como exactitud, precisión entre otros.

La presente investigación, se sustenta luego de una observación no sistematizada en los estudiantes del segundo semestre del Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros" de la ciudad de Riobamba en la

asignatura de Metrología quienes presentan las siguientes dificultades: Incorrecto uso del calibrador pie de rey, ausencia del instrumento para cada estudiante, falta de innovación en el aprendizaje de estos instrumentos.

Estos indicadores reflejan problemas de dominio de conocimiento de la metrología que nos permite manejar herramientas en las cuales, existen escalas preestablecidas para mejorar la precisión de las mediciones. La probable explicación de esta problemática sucede a que la asimilación de los contenidos no es la adecuada.

De esta forma, se pretende introducir una nueva forma de educar como es el aula invertida, mediante la cual se utilizarán recursos didácticos como: los simuladores online los cuales, ayudan a tener una lectura clara en los instrumentos de medición, videos y más. Se motiva a los alumnos en el aprendizaje debido a la obtención de los calibradores, goniómetros de forma gratuita a través del internet.

A lo largo de los planteamientos realizados, el aula invertida es un método que ha mostrado eficiencia en áreas de estudio diferentes. Es por ello, que se pretende demostrar esta estrategia educativa en el área de metrología. Los estudiantes tienen a disposición recursos y herramientas que les ayude a ser más responsables y ser autosuficientes en trabajos posteriores a sus grados en su carrera profesional.

Es importante aplicar el método del aula invertida porque fomenta el aprendizaje fuera del aula donde los estudiantes adquieren responsabilidad y responden activamente. Significa entonces que brinda recursos necesarios que mejoran el aprendizaje y 6 herramientas para el trabajo online. Los beneficiarios son los estudiantes del Instituto, Superior Tecnológico "Carlos Cisneros" de segundo semestre de la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica que tienen la necesidad de usar herramientas online para mejorar el uso del calibrador, goniómetro y micrómetro. El proyecto es autorizado por las autoridades del Instituto quienes apoyan la propuesta de aplicar el aula invertida y fomentar el uso de tecnología en los estudiantes para tener una medición correcta al utilizar estos instrumentos de medición.

A continuación, se evidencia la metodología utilizada en base a pruebas de hipótesis, posteriormente en el punto 3 los resultados obtenidos y discusión de los

mismos, y consecuentemente las conclusiones y referencias bibliográficas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Según Mendoza y Garza (2017) manifestó que validez del contenido "Se refiere al grado en que la medición representa el concepto medido."

Enfoque de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo porque sus resultados fueron medibles numéricamente y a través de la ejecución de la propuesta, se comprueba la hipótesis "el uso de estrategias de Aula invertida mejora el aprendizaje de instrumentos de medición de metrología en los estudiantes de nivel tecnológico".

Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo cuasi-experimental y su alcance descriptivo y correlacional, a través del cual se compara las variables relacionadas. Su propósito fue saber, cómo se comporta una variable, el Aula invertida como variable independiente y uso de instrumentos de metrología como variable dependiente.

La investigación es de este tipo porque está basada en características, conceptualizaciones, situaciones y contextos que resultan de la intervención de los autores.

Instrumentos de investigación

La recolección, se basó en instrumentos estandarizados, los datos fueron representados en forma numérica y estadística, se aplica el diseño cuasi experimental. La presente investigación, se realizó con dos grupos de estudiantes, uno de control y otro experimental. Se tuvo tres etapas: primero el Pre Test en ambos grupos control y experimental, después la aplicación de la estrategia educativa en el grupo experimental.

Por último, se aplica la prueba del post test a ambos grupos, obteniéndose los resultados para el correspondiente análisis e interpretación. Ante la situación planteada, se tiene la siguiente población: Se consideró a los estudiantes de segundo semestre de la materia de Metrología del Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros".

Sus características fueron: estudiantes de segundo semestre, matriculados el 28 de junio al 29 de noviembre del 2021. La muestra estuvo conformada por 26 estudiantes divididos en dos grupos correspondientes a los cursos de los paralelos C y E de la asignatura Metrología. Sus características fueron: estudiantes de la jornada nocturna en un horario de 4pm a 10pm, Hombres y mujeres. La tabla 3 muestra un resultado de la muestra tomada de la población de estudiantes del Instituto. El grupo de control o paralelo C fueron 12 estudiantes hombres y 1 mujer. El grupo experimental o paralelo E fueron 13 estudiantes hombres.

Tabla 1. Distribución de grupos por género

		Sexo		Total por grupo
		Hombre	Mujer	
Paralelo	C	12	1	13
	E	13	0	13
		25	1	26
TOTAL				

Para la recolección de datos se usó la técnica de la encuesta digital, conformada de la siguiente manera:

1. Datos informativos.
2. Datos Tecnológicos.
3. Identificación de conceptos básicos de metrología
4. Categorización de instrumentos de medición
5. Ejercicios de error de medida

El cuestionario se elaboró en base a revisión bibliográfica y planificación curricular, constó de 10 preguntas con opción múltiple para cuantificar el conocimiento de los estudiantes con respecto a la metrología dimensional y el uso de los instrumentos de medición. Las tres últimas secciones, se dividieron en 3 partes: 5 preguntas de Identificación de conceptos básicos de metrología, 3 preguntas de Clasificación de los instrumentos de medición y 2 preguntas de Ejercicios de medición.

Cada pregunta tiene diferentes opciones donde, se escoge una sola respuesta. La respuesta correcta tiene valor de 1 punto.

Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados, se consideró la escala numérica establecida en el artículo reformado mediante resolución adoptada por el Pleno del CAS, desarrollada el 30 de noviembre del 2018, la cual, se detalla en la tabla 2. Las notas de los estudiantes en el Pre test y Pos test, se analizaron a través del

software SPSS versión 23 con un análisis estadístico. Este cuestionario se realizó para evaluar a cada estudiante y mediante el cual se obtuvieron las calificaciones de acuerdo a la escala establecida.

Tabla 2. Escala de Calificaciones Sistema de Educación Superior (SES)

ESCALA CUANTITATIVA	EQUIVALENCIA
9,0 – 10,0	Excelente
7,0 – 8,9	Muy Bueno
5,0 – 6,9	Bueno
3,0 – 4,9	Regular
0,1 – 2,9	Deficiente

Fuente: (Senescyt, 2018)

A continuación, se presenta el proceso de análisis de contenido de una escala, antes de un cuestionario para medir los conocimientos en el uso de instrumentos de medición en el área de metrología. Para el proceso de evaluación de la validez de contenido abarcó la participación de 3 expertos.

La validación por expertos, se realizó mediante una reunión con los integrantes del colectivo académico de Adaptación e Innovación Tecnológica al que pertenece metrología, con el apoyo y supervisión del docente coordinador de carrera quien designó a 3 docentes que imparten la misma asignatura para revisar el cuestionario y calificar conforme al documento de validación presentada. Los 3 docentes que participaron en la validación fueron seleccionados con base en su experiencia de 4 años que imparten la asignatura.

Para verificar la consistencia de las preguntas como parte fundamental de este proceso de validez de contenido. Según Mendoza y Garza (2017), "El análisis inicia con la revisión exhaustiva de la literatura de los constructos del instrumento de investigación que pretende medir las diferentes escalas de los constructos, revisión de escalas existentes y la aplicación del instrumento de investigación" (p.24).

Se elaboró un formato de validación del cuestionario, ubicado en el anexo 3, según sus 5 criterios de

evaluación (excelente, muy bueno, bueno, regular y deficiente) para ser calificados con base a la escala de Likert. Según Maldonado (2012), la escala de Likert es una escala aditiva con un nivel ordinal constituida por una serie de ítems ante los cuales, se solicita la reacción del sujeto.

Además se realiza la validación de instrumentos por medio de la prueba t-student para muestras emparejadas pre test/pos test grupo control y grupo experimental.

Descripción de la implementación del aula invertida

Con la finalidad de organizar las actividades, se elaboraron planificaciones para la aplicación del aula invertida conforme al horario de metrología con una duración de clase de 3 horas los días jueves y 3 horas los días viernes. Unidad 1 Conceptos fundamentales. Unidad 2 Metrología Dimensional y sistema de unidades, Unidad 3 instrumentos de medición Unidad 4 Calibradores con vernier, unidad 5 Micrómetros unidad 6 otros instrumentos unidad 7 ajustes y tolerancias. Son unidades de la guía de metrología. Pero la aplicación del aula invertida, se dio en la unidad 2 con el tema: Metrología dimensional, en la unidad 3 con el tema Instrumentos de medición, en la unidad 4 con el tema Calibrador de Vernier, en la unidad 5 con el tema: Micrómetro y por último, en la unidad 6 con el tema: Goniómetro y Reloj Comparador. Los recursos digitales fueron Internet, YouTube, Moodle Cisneros, Educaplay, Canva y Google Form.

Según (Olivos, 2012): "La evaluación es un elemento clave del proceso formativo por las consecuencias e implicaciones que tiene para el alumno, el docente, el sistema educativo y la sociedad" p.10.

Rangos				
	Paralelo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Puntajes	C	13	13,81	179,50
	E	13	13,19	171,50
	Total	26		

Fig.1: Puntajes promedio

Estadísticos de prueba ^a	
	Puntajes
U de Mann-Whitney	80,500
W de Wilcoxon	171,500
Z	-,218
Sig. asintótica(bilateral)	,827
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,840 ^b
a. Variable de agrupación: Paralelo	
b. No corregido para empates.	

Fig.2: Significancia entre variables

En base al rango promedio obtenido en la prueba de Mann-Whitney, no existe una diferencia entre los resultados de la variable calificaciones en Pre test.

Informe			
Puntajes			
Paralelo	Media	N	Desv. Desviación
C	3,31	13	,855
E	3,31	13	1,109
Total	3,31	26	,970

Fig.3: Puntajes, media y desviación

De igual manera al comprobar el valor de la Media que consta en el Pre test de los dos grupos no presentan diferencias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 3. Puntajes Obtenidos después de la aplicación del Pre test

Número	Grupo 1 control	Grupo 2 experimental
1	6	7
2	5	5
3	7	4
4	5	7
5	4	5
6	3	5
7	5	5
8	2	1
9	6	5
10	8	6

11	4	7
12	5	2
13	3	0

Tabla 4. Resultados de la encuesta digital o Pre test Grupo 1 control

Nota	Grupo 1 control	Porcentaje %
9-10	0	0
7-8,9	2	15
5-6,9	6	46
3-4,9	4	31
0,1-2,9	1	8
Total	13	100

Tabla 5. Rango de Resultado del Pre test grupo experimental grupo 2 experimental
Fuente: Elaboración Propia.

La mayoría de estudiantes obtuvieron una calificación entre: 5,0 - 6,9. Lo que significa que los estudiantes según la escala de evaluación obtenida en la tabla 2 están en el criterio Bueno correspondiente a los dos grupos de estudio.

Luego de implementarse el aula invertida, se efectuó la evaluación de conocimientos final por medio del Pos test con los siguientes resultados:

Tabla 6. Puntajes control y grupo experimental Post test

Número	Grupo control	1 Grupo experimental	2
1	6	8	
2	3	10	
3	5	10	
4	6	10	
5	2	7	
6	6	8	
7	3	10	
8	4	10	
9	9	4	
10	3	9	

11	8	9
12	7	9
13	5	10

Tabla 6. Puntajes control y grupo experimental Post test escala de calificación

Nota	Grupo 1 control	Grupo 2 experimental
9-10	1	9
7-8,9	2	3
5-6,9	5	0
3-4,9	4	1
0,1-2,9	1	0
Total	13	13

La mayoría de estudiantes del grupo 1 de control se mantuvo entre 5,0 - 6,9. Lo que significa que los estudiantes según el criterio de evaluación están según la escala de calificación decimal en el criterio Bueno.

Pero en el grupo 2 experimental se evidenció que la mayoría de estudiantes obtuvieron una nota entre 9,0 – 10,0. Lo que significa que los estudiantes del grupo experimental según el criterio de evaluación están en el criterio Excelente.

Tabla 7. Puntaje Pre test/Pos test grupo experimental

Número	Pre test	Pos test	Diferencia
1	7	8	1
2	5	10	5
3	4	10	6
4	7	10	3
5	5	7	2
6	5	8	3
7	5	10	5
8	1	10	9

9	5	4	-1
10	6	9	3
11	7	9	2
12	2	9	7
13	0	10	10

Con referencia a la tabla 7, se evidencia que existe diferencia entre el Pre test y el Pos test del grupo experimental, se recalca un aumento en la relación de puntajes luego de implementarse las estrategias de aprendizaje del Aula Invertida. Esto es consecuente con los resultados obtenidos en las pruebas de hipótesis mismas que reflejan la eficacia del método.

Tabla 8. Prueba t-student para muestras emparejadas Pre test/Pos test grupo experimental

Prueba de muestras emparejadas				
	Media	Diferencias emparejadas		Sig. (bilateral)
		95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		Inferior	Superior	
Puntajes1 - Puntajes2	1,846	0,896	2,797	0

Se considera el Pvalor (sig) de la Prueba T para muestras relacionadas de 0,000, por cuánto, se rechaza la Hipótesis nula y, se acepta la Hipótesis alternativa, es decir, que los puntajes obtenidos en la evaluación inicial o pre-test del grupo experimental son distintos a los obtenidos en la evaluación final o Pos test del mismo grupo.

Informe			
Puntajes			
Paralelo	Media	N	Desv. Desviación
C	3,15	13	1,068
E	1,46	13	,877
Total	2,31	26	1,289

Fig.4: Prueba de medias

De igual manera al comprobar el valor de medias en el Pos test los dos grupos presentan diferencias.

DISCUSIÓN

El desarrollo de un análisis estadístico comparativo inter-sujetos sobre la eficiencia del aula invertida

versus la metodología tradicional de los instrumentos de medición, indicó que luego de elaborarse las pruebas estadísticas, se considera el Pvalor (sig) de la Prueba T para muestras relacionadas de 0,000, por cuanto los puntajes obtenidos en la evaluación inicial del grupo experimental son distintos a los obtenidos en la evaluación final del mismo grupo. Existe una diferencia de 1.85 puntos de mejora en los resultados obtenidos luego de la intervención a través de la aplicación del Aula Invertida. De este modo, se demuestra que la aplicación del aula invertida con sus diferentes contenidos, estrategias y recursos, es adecuada para la comprensión de contenidos académicos. En consecuencia, la aplicación del aula invertida en el grupo experimental fue efectiva.

El desempeño de los estudiantes, se considera bueno por encontrarse en su mayoría en puntajes mayores a 7, este esfuerzo académico, se refleja en el éxito de la investigación, se permite a los alumnos crear autopercepciones, así como reconocimientos de capacidades propias y por consiguiente, el triunfo escolar, se demostró impresiones de logro, motivación y confianza en sí mismos. En concordancia con los autores Bolívar y Rojas (2014), quienes mencionan que los contenidos más tediosos tienen que ser abordados mediante estrategias de aprendizaje asociadas a la autopercepción y favorece de esta manera su rendimiento escolar. Al Considerar esto, autores como: Martínez et al. (2015), afirman que “Los resultados alcanzados del aula invertida demostraron un mayor aprovechamiento escolar y de satisfacción del alumno en cuanto a la relación docente y experiencia en la clase en el grupo investigado” (p.143).

A sí mismo, se ejecutó el modelo con 20 estudiantes, comparando con un modelo tradicional de enseñanza en estudiantes de mecánica. Según Martínez et al. (2014) sus hallazgos refieren que los integrantes: Lograron cubrir dos temas más y resolvieron más rápido que el aula tradicional. Esto refiere, que se alcanza a cubrir más temas y no retrasa las planificaciones.

Estrada y Carrillo (2020), manifiesta que:

Se aplicó el aula invertida para el aprendizaje de biología vegetal con estudiantes de tercer semestre de la carrera de pedagogía de las ciencias experimentales química y biología en la Universidad

Nacional de Chimborazo y encontró resultados positivos al aplicarla (p.14).

Entonces, el aula invertida debidamente controlada por el docente, se considera un éxito en la ejecución del aprendizaje significativo, puede utilizarse también, en foros en sitios web para extender las posibilidades de crear pensamientos y construir ideas (Martínez et al., 2014).

A su vez, las calificaciones altas ayudan al alumnado a creer en sí mismos y no dejarse derrotar por bajos puntajes obtenidos anteriormente, se da como resultado un criterio autodidacta, en el cual se evidencia la auto eficiencia investigativa mediante búsquedas en YouTube o Google, sitios web que proporcionan a los usuarios toda la información requerida. Entonces, las estrategias implementadas son un firme indicador de soporte estudiantil, mismas que previenen el fracaso y el abandono escolar lo cual, implica que, aunque el estudiante, se esfuerce inconmensurablemente existen prácticas que favorezcan el entorno de aprendizaje (Hinojo et al., 2019).

La ventaja de utilizar el aula invertida es la personalización a conveniencia del docente, además, de tener un tiempo de utilización de recursos ilimitado, se promueve la auto eficiencia didáctica y se obtiene, también, un rol más activo de aprendizaje. Dicho esto, también, se considera la reducción de costos por movilizarse a una clase extra y costos de refuerzo académico (Araya et al., 2022).

4. CONCLUSIÓN

El diagnóstico del nivel de conocimientos del estado actual de los estudiantes sobre la materia de metrología y qué materiales han utilizado dentro de la materia, demostró que antes la mayoría de los estudiantes obtuvieron puntajes menores a 6,9 debido a las siguientes dificultades: Incorrecto uso del calibrador pie de rey, ausencia del instrumento para cada estudiante, falta de innovación en el aprendizaje para utilización de estos instrumentos. A los efectos de aplicación del aula invertida con los materiales proporcionados a los estudiantes, se obtuvo puntajes mayores que muestran un mejoramiento en el rendimiento académico sobre el tema de calibradores, micrómetros y goniómetros.

La implementación del aula invertida como estrategia educativa con recursos didácticos para el uso de instrumentos de metrología, produjo la planificación del bloque temático, la utilización de multimedia, texto, sonido, y el estudiante visualizó el manejo y realizó la simulación de los instrumentos de metrología.

El desarrollo de un análisis estadístico comparativo inter-sujetos sobre la eficiencia del aula invertida versus la metodología tradicional de los instrumentos de medición, indicó que luego de elaborarse las pruebas estadísticas, se considera el Pvalor (sig) de la Prueba T para muestras relacionadas de 0,000, por cuanto, los puntajes obtenidos en la evaluación inicial del grupo experimental son distintos a los obtenidos en la evaluación final del mismo grupo.

En consecuencia, la aplicación del aula invertida en grupo experimental fue efectiva. Existe una diferencia de 1.85 puntos de mejora en los resultados obtenidos luego de la intervención a través de la aplicación del Aula Invertida.

De este modo, se demuestra que la aplicación del aula invertida con sus diferentes contenidos, estrategias y recursos, sirve perfectamente en la comprensión de información académica y se mantiene de igual manera la motivación por el estudio.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros" por permitirme acceder a información concerniente al tema de estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araya, S., Rodríguez, A., Badilla, N., y Marchena, K. (2022). *El aula invertida como recurso didáctico en el contexto costarricense: estudio de caso sobre su implementación en una institución educativa de secundaria*. Revista Educación, 46(1), 1-28.
- Berenguer, C. (2016). *Acerca de la utilidad del aula invertida o flipped classroom*. Universidad de Alicante 1-15.
- Bergmann, J., y Sams, A. (2014). *Flipped Learning Gateway to student engagement*. Whashington DC: International Society for Technology in Education.

- Bolívar, J., y Rojas, F. (2014). *Estudio de la autopercepción y los estilos de aprendizaje como factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios*. RED - Revista de Educación a Distancia. Número 44.
- Coello, L., y Gavilanes, B. (2019). *La Gamificación del proceso de enseñanza aprendizaje significativo*. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40728>
- Coufal, K. (2014). *Flipped learning instructional model: perceptions of video delivery to support engagement in eighth grade math*. Tesis Doctoral. Beaumont: Pro Quest LLC.
- Estrada, J., y Carrillo, C. (2020). *El aula invertida para el aprendizaje de Biología Vegetal con estudiantes de tercer semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología*. PERÍODO octubre 2019 - marzo 2020. Riobamba.
- Hinojo, F., Aznar, I., Romero, J., y Marín, J. (2019). *Influencia del aula invertida en el rendimiento académico: Una revisión sistemática*. Campus virtuales: revista científica iberoamericana de tecnología educativa.
- Jiménez, J., Ochoa, M., y Guerra, O. (2021). *Aula invertida y su impacto en el rendimiento académico: una revisión sistematizada del período 2015-2020*. EDMETIC, 10(2), 1-25.
- King, A. (1993). *From Sage on the Stage to guide on the side*. College Teaching.
- Maldonado, S. (2012). *Manual Práctico Para El Diseño De La Escala Likert*. Xihmai 2(4):6-8. doi: 10.37646/xihmai.v2i4.101.
- Martínez, W., Esquivel, I., y Martínez, J. (2015). *Aula invertida o modelo invertido de aprendizaje: origen, sustento e implicaciones. Los Modelos Tecno-Educativos, Revolucionando el aprendizaje del siglo XXI (pp.143-160)*. Editors: Ismael, Esquivel-Gamez.
- Martínez, Waltraud, Ismael Esquivel, y Jaime Martínez. (2014). *Aula Invertida o Modelo Invertido de Aprendizaje: Origen, Sustento e Implicaciones*. Los modelos Tecno-Educativos, revolucionando el aprendizaje del siglo XXI (November 2016):143-60.
- Mendoza, J., y Garza, J. (2017). *La medición en el proceso de investigación científica: Evaluación de validez de contenido y confiabilidad UANL*. Innovaciones De Negocios, 6(11), Recuperado a partir de <https://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/215>.
- Mendoza, Y., y Elías M. (2012). *Nacional Del Altiplano – Puno 2012. Teaching Strategies - Learning of Teachers of the Faculty of Social Sciences At the National University of the Altiplano Puno [Estrategias de enseñanza-aprendizaje de los docentes de la facultad de ciencias sociales*. Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo 11.
- Vidal, L., Rivera, M., Nolla, C., Morales, R., y Vialart, M. (2016). *Aula invertida nueva estrategia didáctica*. Educación Médica Superior, 2.



ESTUDIO COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE RUTEO EN REDES MALLADAS USANDO GNS3

ROUTING PROTOCOLS COMPARATIVE STUDY
IN MESH NETWORKS USING GNS3



ESTUDIO COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE RUTEO EN REDES MALLADAS USANDO GNS3

ROUTING PROTOCOLS COMPARATIVE STUDY IN MESH NETWORKS USING GNS3

**Paúl Fernando Cando Evas¹,
Roberto Alejandro Larrea-Luzuriaga²**

¹ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, paul.cando@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, roberto.larrea@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La implementación de redes malladas es una solución de altas prestaciones a nivel de enlaces redundantes. El enrutamiento dinámico es el responsable del cálculo de la ruta óptima en topologías de red de paquetes con numerosos enlaces. El proceso para encontrar la mejor ruta factible constituye el procesamiento de diferentes métricas del algoritmo de enrutamiento, en el cual los tiempos de convergencia pueden diferir dependiendo de la topología de la red. De esta manera se puede evaluar el funcionamiento y rendimiento del protocolo de enrutamiento. Este trabajo presenta un estudio comparativo de tres protocolos de enrutamiento siendo estos RIPv2, OSPF y EIGRP, configurados en topología de red en malla. Por medio del estudio se analiza el rendimiento de los tres protocolos de enrutamiento, utilizando un simulador de red GNS3. El software permite simular diferentes escenarios de red, incorporando en las simulaciones los sistemas operativos reales de los enrutadores (IOS). Se ha simulado una topología mallada con estos tres protocolos para observar y analizar el comportamiento de la red, el flujo de tráfico, el tiempo de actualización de las rutas y la convergencia de la red. El escenario de simulación está compuesto por 4 enrutadores conectados por interfaces FastEthernet. Los dispositivos equipos de red utilizados corresponden a enrutadores Cisco con sistema operativo versión 12.4(13b) para una plataforma de servicio de enrutador 2691 con Base IP. Para realizar las simulaciones, se utiliza una máquina virtual por medio de la utilización e integración de GNS3 con VirtualBox. La máquina virtual corresponde a un computador con un sistema operativo Windows 10, que se encuentra conectada a una interfaz de un enrutador de la red en topología en malla. Desde el computador se envía paquetes de datos en forma de ping, cuya data se registra y se monitorea por medio de la utilización de un software de gestión de redes. Cada enrutador tiene 3 interfaces de red que se conectan con los otros enrutadores creando una red mallada de enlaces redundantes para llegar a cada enrutador. Cada enrutador se configura con los protocolos de ruteo a analizar y evaluar ante posibles fallos. El análisis del funcionamiento de cada protocolo de ruteo analizado en el estudio y su accionar frente a fallos en la red, han permitido estimar el tiempo de convergencia de cada uno. Como se muestra en los resultados, RIP presenta el tiempo más bajo para inicializar la red, mientras que OSPF es el protocolo que presenta el mejor tiempo de convergencia tras el primer y segundo fallo de red. Por último, EIGRP presenta el menor número de interfaces afectadas durante el primer y segundo fallo de red.

Palabras claves: enrutamiento, protocolos de ruteo, redes malladas, tiempos de convergencia, gestión de redes, gns3.

ABSTRACT

The implementation of meshed networks is a high-performance solution at the level of redundant links. Dynamic routing is responsible for calculating the optimal route in packet network topologies with numerous links. The process of finding the best feasible route constitutes the processing of different metrics of the routing algorithm, in which convergence times may differ depending on the network topology. In this way, the operation and performance of the routing protocol can be evaluated. This paper presents a comparative study of three routing protocols, RIPv2, OSPF and EIGRP, configured in a mesh network topology. The study analyzes the performance of the three routing protocols using a GNS3 network simulator. The software allows simulating different network scenarios, incorporating in the simulations the real operating systems of the routers (IOS). A meshed topology has been simulated with these three protocols to observe and analyze network behavior, traffic flow, routing update time and network convergence. The simulation scenario is composed of 4 routers connected by Fast-Ethernet interfaces. The network equipment devices used correspond to Cisco routers with operating system version 12.4(13b) for a 2691 router service platform with IP Base. To perform the simulations, a virtual machine is used through the use and integration of GNS3 with VirtualBox. The virtual machine corresponds to a computer with a Windows 10 operating system, which is connected to a router interface of the network in a mesh topology. From the computer, data packets are sent in the form of a ping, whose data is recorded and monitored using network management software. Each router has 3 network interfaces that connect to the other routers creating a mesh network of redundant links to reach each router. Each router is configured with routing protocols to be analyzed and evaluated for possible failures. The analysis of the operation of each routing protocol analyzed in the study and its performance in the event of network failures has allowed us to estimate the convergence time of each one. As shown in the results, RIP presents the lowest time to initialize the network, while OSPF is the protocol that presents the best convergence time after the first and second network failure. Finally, EIGRP shows the lowest number of interfaces affecting during the first and second network failure.

Keywords: routing, routing protocols, mesh networks, convergence time, network management, gns3.

Recibido: 12/02/2023
Received: 12/02/2023

Aceptado: 05/04/2023
Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia las redes de datos constituyen un aspecto fundamental en el área de las telecomunicaciones, siendo de gran importancia el estudio de protocolos de enrutamiento. Software de administración de redes permite monitorear el funcionamiento de una red. En este estudio la topología a analizar corresponde a una red mallada frente al accionar de diferentes protocolos de ruteo dinámico configurados ante posibles fallos de red. De esta manera, el objetivo principal del estudio es analizar de qué manera funciona cada protocolo en este tipo de topología y evaluar que protocolo posee las mejores prestaciones.

El enrutamiento es el proceso a través del cual un enrutador determina la mejor ruta de un paquete de datos para llegar a un destino. Este paquete pasa por varios equipos de red por lo que la red de destino es diferente a la red de origen. Un enrutador con enrutamiento dinámico puede procesar múltiples redes y pasar las rutas entre enrutadores vecinos. El enrutamiento dinámico es el encargado de especificar el acceso a nuevos nodos en la red o adaptar y modificar el acceso a ciertas partes de una red datos interconectada debido a diferentes causas entre ellas a la caída de algún enlace o nodo buscando una ruta óptima alternativa [1].

Los protocolos de enrutamiento son algoritmos que permiten determinar y seleccionar la mejor ruta sobre la cual se enviará el tráfico de red de una red a otra. Para ello, estos algoritmos utilizan diferentes métricas asociada a los enlaces, como el ancho de banda, el retraso, la carga, la fiabilidad, el número de saltos o el coste, entre otros [2]. De esta manera, por medio del intercambio de información entre enrutadores y la topología de red existente, es posible determinar los mejores enlaces a utilizar para llegar a un destino específico.

Los protocolos de enrutamiento se subdividen en dos tipos, vector de distancia y estado de enlace. Por un lado, los algoritmos de vector distancia utilizan el algoritmo de Bellman-Ford. Busca la ruta de menor costo por el método indirecto de búsqueda. El vector distancia asociado a un nodo de red es un paquete de control que contiene la distancia a los nodos de la red conocida hasta el momento. Cada nodo envía a sus vecinos las distancias que conoce a través de este paquete. Los nodos vecinos examinan esta información y la comparan con la información que ya tienen actualizando su tabla de enrutamiento, si es necesario. Algunos ejemplos de protocolos de

vector de distancia son el Protocolo de información de enrutamiento RIPV2, el Protocolo de enrutamiento de puerta de enlace interior (IGRP) y el Protocolo de enrutamiento de puerta de enlace interior mejorado (EIGRP) [3]. Por otra parte, los algoritmos de estado de enlace se basan en que cada nodo conozca la topología de la red y los costos asociados con los enlaces. A partir de estos datos se puede generar un árbol de enlaces y tabla de enrutamiento, posterior a la aplicación del algoritmo de costo mínimo (algoritmo de Dijkstra) Open Shortest Path First (OSPF).

Además de los protocolos de encaminamiento, es importante establecer la topología de red más adecuada acorde a las aplicaciones o finalidad de la transmisión de datos. Las topologías de red pueden variar en función de la conexión física de los dispositivos en topologías simples como la de bus, estrella o anillo y estructuras más complejas como redes de malla. Además de estas topologías, se pueden combinar para agrupar nodos en clústeres [4] o en grupos [5]. Las redes con topologías en malla ofrecen un grado de redundancia ante una posible falla, de modo que, si falla un enlace, es posible mantener la comunicación entre todos los nodos de la red. Este hecho es fundamental en las redes troncales [6]. En una red principal (backbone) con topología en malla donde se configura un enrutamiento dinámico con valores por defecto, cada nodo de la malla, después de que la red ha convergido, tiene una base de datos con la información de las rutas de la red hacia cada nodo, donde habrá información de cómo llegar al destino por varias rutas de igual costo. Se conoce como redundancia.

El tiempo que tarda un protocolo de enrutamiento en calcular la ruta para llegar al destino, así como el tiempo de convergencia para iniciar la transmisión de datos después de una falla y el tiempo de recuperación son diferentes según el protocolo y el modo en que intercambia información sobre la topología de la red. Por esta razón, algunos protocolos tendrán mejor desempeño que otros.

En este artículo vamos a realizar un análisis comparativo con tres protocolos de enrutamiento, RIPV2, OSPF y EIGRP, para analizar y evaluar cuál ofrece el mejor rendimiento cuando se utiliza una topología en malla. Estos protocolos se utilizan en una topología de malla compuesta por 4 enrutadores y una computadora que monitorea todos los eventos. Las pruebas se realizan en términos de tiempo de convergencia cuando la red comienza a funcionar, tiempo de recuperación

después de una falla y respuesta de la red cuando uno o dos enlaces registran una falla.

El ambiente de pruebas corresponde a una red mallada, cuya configuración y habilitación se lo realizará sobre una herramienta de simulación de redes avanzadas llamada GNS3 [7]. El software de simulación, permite crear y diseñar topologías de red a ser evaluadas por medio de simulaciones que incorporen elementos reales como los diferentes modelos de equipos de enrutamiento y sistemas operativos de red, que permita obtener resultados semejantes a los que se obtuviera en una red implementada. GNS3 es ampliamente utilizado por más de 13 años en la construcción y diseño de redes inicialmente emulaba dispositivos Cisco que usaban software llamado Dynamips, ahora ha crecido y admite muchos dispositivos de diversos proveedores de red como, por ejemplo; conmutadores virtuales Cisco, Cisco ASA, conmutadores Cumulus Linux, Brocade vRouters, varios dispositivos Linux, HPE VSR entre otros.

Existen varios estudios comparativos donde se han estudiado topologías más complejas, pero no se ha encontrado estudios de protocolos de enrutamiento dinámico en topologías de malla. Sin embargo, existen propuestas interesantes basadas en topologías de malla como [8] donde los autores presentaron un conjunto de bancos de prueba para estudiar la interacción TCP/IP basado en el costo de congestión para evaluar la estabilidad y la optimización de topologías malladas y [9] donde describe un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO) que utiliza una topología de vecindad de malla, que no requiere ningún parámetro de nicho. Por este motivo, se ha realizado la presente investigación.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La red mallada del estudio está compuesta por cuatro enrutadores interconectados cada uno de ellos a los otros tres. En cada enrutador se encuentra configurados protocolos de ruteo dinámico, soportados por el IOS utilizado en la simulación.

En cada enrutador se ha configurado el direccionamiento IP de cada interfaz que interconecta a los otros enrutadores. Los protocolos de ruteo configurados son RIPV2, OSPF, EIGRP, además se utilizó una máquina virtual conectada a uno de los enrutadores con la cual se monitorea

todos los enlaces demostrando la conectividad a todos los puntos de la red y el correcto funcionamiento de la red con topología en malla.

Para realizar el estudio, se evalúa el rendimiento de cada protocolo configurado sobre una topología de red en malla compuesta por 4 enrutadores conectados por interfaces FastEthernet. Cada enrutador tiene 3 interfaces de red. Los dispositivos utilizados son enrutadores Cisco 2691 con sistemas operativos (IOS) versión 12.4(13b) IP Base. Para realizar las simulaciones, se conecta una computadora virtual (Windows_10) a la topología en malla, sobre la cual se ha instalado un software de gestión de red que permita registrar y monitorear eventos en la red. Se ha utilizado dos softwares de gestión llamados Wireshark y Solarwinds. El computador es el encargado de enviar paquetes ICMP de datos en forma de ping hacia todas las interfaces de los enrutadores tal como se muestra en la figura 1.

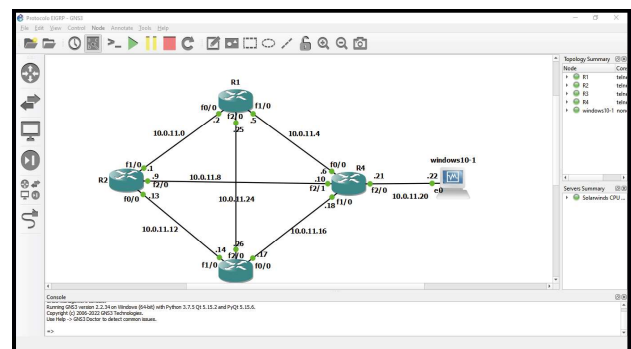


Figura 1. Red mallada

Para el direccionamiento de la red, se ha utilizado VLSM. Se ha definido 7 subredes con máscara de subred /30 a partir de la dirección de clase A 10.0.11.0/24 con mascara 255.255.255.0 y broadcast 10.0.11.255. La tabla 1 contiene los datos de cada una de las subredes configuradas.

Tabla 1. Direccionamiento de Red

Subred	Subred	Máscara	Red	Red	Red
1	10.0.11.0/30	255.255.255.0	10.0.11.0	10.0.11.3	10.0.11.6
2	10.0.11.4/30	255.255.255.0	10.0.11.4	10.0.11.7	10.0.11.10
3	10.0.11.8/30	255.255.255.0	10.0.11.8	10.0.11.11	10.0.11.14
4	10.0.11.12/30	255.255.255.0	10.0.11.12	10.0.11.15	10.0.11.18
5	10.0.11.16/30	255.255.255.0	10.0.11.16	10.0.11.19	10.0.11.22
6	10.0.11.20/30	255.255.255.0	10.0.11.20	10.0.11.23	10.0.11.26
7	10.0.11.24/30	255.255.255.0	10.0.11.24	10.0.11.27	10.0.11.30

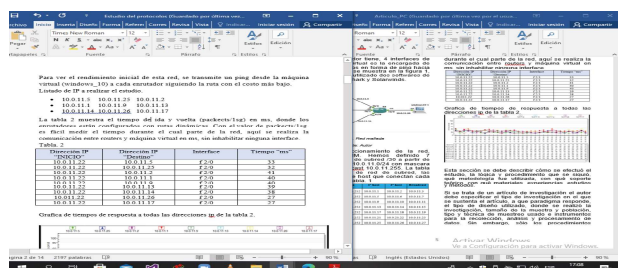
De manera inicial se evalúa el rendimiento de la red ejecutando un ping desde la máquina virtual a cada enrutador acorde a la mejor ruta calculada por cada protocolo de enrutamiento, o de menor coste.

Listado de direcciones IP configuradas en cada interfaz de los enrutadores del estudio.

10.0.11.5	10.0.11.25	10.0.11.2	R1
10.0.11.1	10.0.11.9	10.0.11.13	R2
10.0.11.14	10.0.11.26	10.0.11.17	R3

La tabla 2 muestra el tiempo de ida y vuelta (paquetes por segundo) en milisegundos (ms), donde los enrutadores están configurados con protocolos de enrutamiento dinámico. Con los valores obtenidos es fácil medir el tiempo, aquí se realiza la comunicación entre routers y máquina virtual en ms, sin inhabilitar ninguna interface.

Tabla 2. Tiempos de ida y vuelta medidos a cada interfaz de red



Grafica de tiempos de respuesta monitoreados por medio del software de gestión a todas las interfaces mostradas en la tabla 2.

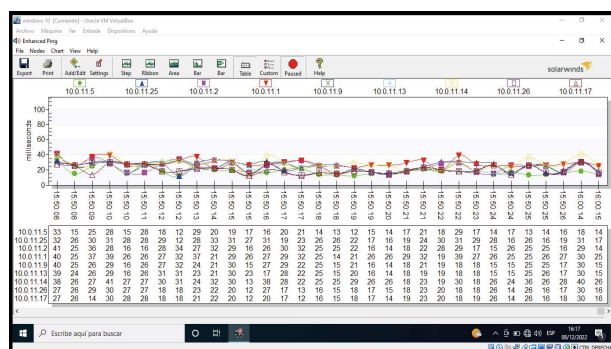


Figura 2. Grafica de pings continuos a todas las interfaces desde la máquina virtual sin el establecimiento de una falla en la red

Si se analizan los resultados, se observa que el mayor tiempo de respuesta lo registra la red más lejana a R1, es decir, la ruta hasta la red 10.0.11.0/30 por medio de la interfaz f2/0 del enrutador R4. Se observa también, que el tiempo mínimo de respuesta se establece para llegar al

enrutador R3 en 27ms, de las redes 10.0.11.16/30 y 10.0.11.24/30

2.1. ESTUDIO DE PROTOCOLOS

En esta sección se evalúan RIP V2, OSPF y EIGRP. Los protocolos se evalúan en términos de tiempo de recuperación después de una falla. Se analiza los diferentes estados que se establecen en una red que ejecuta un protocolo de enrutamiento tras sufrir un fallo, es decir los diferentes eventos como: actualización de mensajes, inicialización, falla, recuperación [10].

Al configurar los protocolos de enrutamiento con sus parámetros predeterminados, los enrutadores calculan 3 rutas óptimas para llegar a las redes no adyacentes de cada enrutador. Debido al establecimiento de una topología en malla, cada enrutador tiene tres rutas óptimas para llegar al punto más lejano a cada nodo. Para evaluar el desempeño de cada protocolo de enrutamiento, se requiere determinar el tiempo de aprendizaje y la convergencia de la red con topología en malla, en tres etapas diferentes: (1) al comienzo de la operación, (2) cuando se registra un enlace caído y (3) cuando se restablezca este enlace. Se ha establecido un punto de falla en el enlace entre el enrutador R1 y R4 para RIPV2, mientras que para OSPF y EIGRP se ha establecido dos puntos de falla de igual manera entre los mismos enrutadores. Cuando se inicia la el funcionamiento de la red en malla, los enrutadores deben calcular y aprender las tres rutas óptimas para llegar a las redes no adyacentes en ambas direcciones por medio de las interfaces de cada enrutador con el mismo costo. Para determinar los tiempos de recálculo de las rutas y la convergencia de la red en malla como resultado de un enlace caído, el punto de monitoreo se establece en el nodo más alejado del enrutador R2, es decir, en la máquina virtual que se utiliza para monitorear la actividad de la red. El punto de falla se establece en la interfaz FastEthernet F0/0 y FastEthernet F1/0 del enrutador R4. Después de generar el primer y segundo fallo, los enlaces se vuelven a conectar y restaurar. El tiempo transcurrido entre la generación del fallo y el restablecimiento de la comunicación nos dará el tiempo de inactividad de la malla considerado como el tiempo de convergencia que necesitarán los dispositivos para enrutar nuevamente los paquetes [10].

2.1.1. ESTUDIO DEL PROTOCOLO RIP V2

Para poder evaluar el desempeño de la red cuando se está ejecutando RIPV2, se ha generado una falla en la conexión entre el R1 y el R4. Para evaluar el tiempo de restauración se ha enviado un ping continuo entre la máquina virtual y cada enrutador. La Figura 3 muestra los tiempos de respuesta de cada ping establecido. Los enrutadores R4 y R1 se alcanzan a través del camino más corto, la desconexión del enlace se genera a las 70ms (fallo). A partir de este momento la red necesita alrededor de 13.ms para recuperar la comunicación con los enrutadores R4 y R1. Además, se observa que los enrutadores R2 y R3 no han perdido la conectividad con la máquina virtual, aunque se observa una afectación en los tiempos de respuesta al momento del fallo.

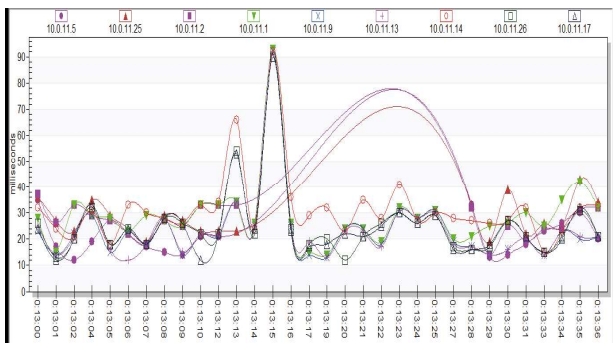


Figura 3. Gráficas de pings con fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R4

La gráfica 4 muestra el registro de los pings donde se puede visualizar la falla en el enrutador R4 interfaz f0/0.

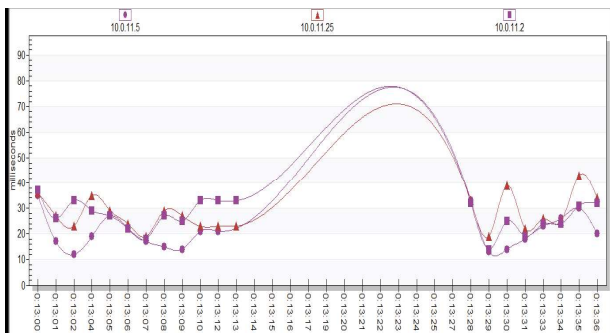


Figura 4. Gráfica de pings con fallos y restablecimiento

2.1.2. ESTUDIO DEL PROTOCOLO OSPF

Para evaluar el tiempo de restauración de OSPF, se ha ejecutado de igual manera un ping continuo entre la máquina virtual y cada enrutador. En este

caso se ha generado 1 fallo entre el enrutador R4 y R1 y de manera posterior un segundo fallo entre el enrutador R3 y R4. La graficas muestran el comportamiento de la conectividad, entre la máquina virtual y cada enrutador después de la primera y segunda falla. Se observa que la desconexión se genera al transcurso de 56.917ms la primera falla y a su vez la segunda falla se genera al transcurso de 82.111ms. A partir de este momento, la red necesita alrededor de 10ms para recuperar la comunicación con el enrutador R1 y alrededor de 9ms para recuperar la comunicación con el enrutador R3. Además, se observa que el enrutador R2 no han perdido conectividad con la máquina virtual. Sin embargo, en el primer fallo y el segundo fallo se evidencia que el ping a las interfaces 10.0.11.25 y 10.0.11.2 son afectadas y restauradas nuevamente.

En la figura 5 se muestran los pings afectados por el primer fallo.

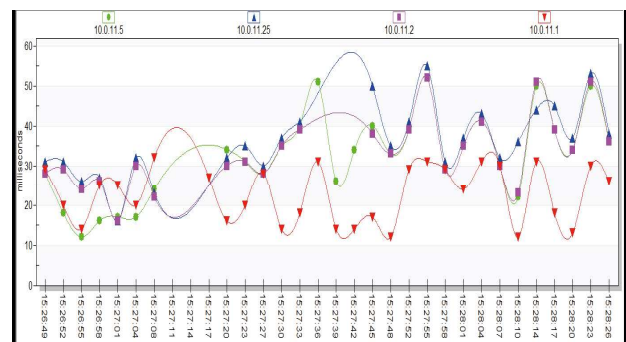


Figura 5. Gráfica de pings afectados en el primer fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R4

En la figura 6 se muestra los pings afectados por el segundo fallo.

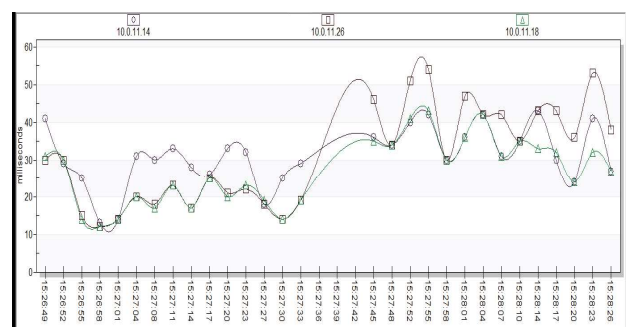


Figura 6. Gráfica de pings afectados en el segundo fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R3

En la figura 7 se muestra los pings afectados tanto por el primer y segundo fallo.

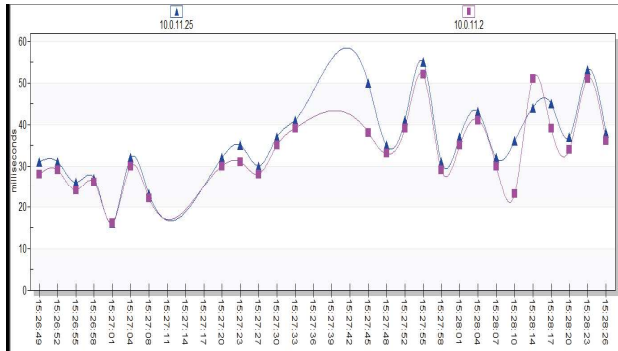


Figura 7. Gráfica de pings afectados tanto en el primer y segundo fallo

2.1.3. ESTUDIO DEL PROTOCOLO EIGRP

Para evaluar el desempeño del protocolo de ruteo EIGRP en la red mallada se ha generado una falla en la conexión entre el enrutador R4 y el R1 y además una segunda falla entre el enlace del enrutador R4 y R3.

Las gráficas registran el comportamiento de cada uno de los pings ejecutados. La primera falla se genera a los 45.909ms y la segunda falla a los 67.522ms. A partir de este momento, la red necesita alrededor de 22.000ms para recuperar la comunicación de la máquina virtual al enrutador R1, mientras que con enrutador R2 no se ha perdido la conectividad. El valor de tiempo de recuperación de conectividad con el enrutador R3 es de aproximadamente 19.000 ms.

El comportamiento de cada ping realizado desde la máquina virtual y los diferentes enrutadores ante el primer y segundo fallo se muestran en la figura 8.

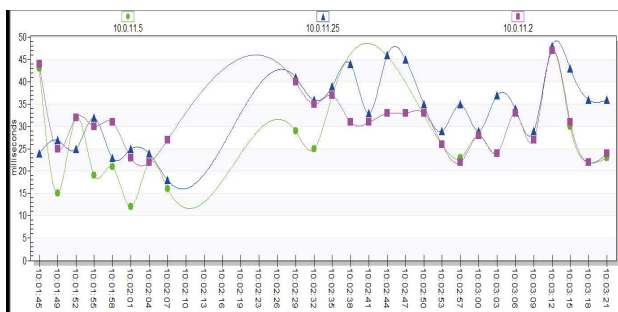


Figura 8. Gráfica de pings afectados tanto en el primer y segundo fallo

En la figura 9 se registran los pings afectados por el primer fallo.

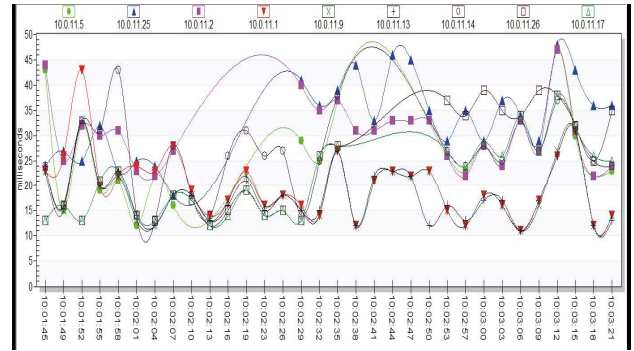


Figura 9. Gráfica de pings afectados en el primer fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R4

En la figura 10 se registran los pings afectados por el segundo fallo.

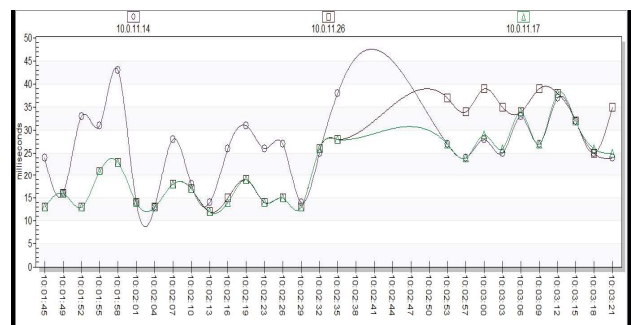


Figura 10. Gráfica de pings afectados en el segundo fallo en la interfaz F1/0 del enrutador R4

En la figura 11 se registran los pings afectados tanto en el primer y segundo fallo.

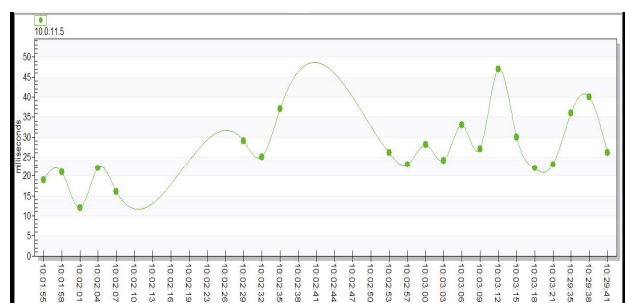


Figura 11. Gráfica de pings afectados tanto en el primer y segundo fallo

3. RESULTADOS

RIPV2

La Tabla 3 muestra los tiempos de respuesta para este protocolo, en las diferentes fases de su funcionamiento.

Tabla 3. Resultados RIPV2

Evento	Resultados RIP	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	30.950
Inicio de red	Inicio de rutas	35.692
	Convergencia de red	68.807
Falla	Fallo	70.006
	Convergencia de red posterior al fallo	83.931
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	85.151
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	93.276

OSPF

La

Tabla 4, muestra los tiempos de respuesta registrados para el protocolo OSPF, con el 1º fallo en las diferentes etapas.

Tabla 4. Resultados OSPF primer fallo

Evento	Resultados OSPF 1º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	11.422
Inicio de red	Inicio de rutas	31.806
	Convergencia de red	56.917
Falla	Fallo	60.003
	Convergencia de red posterior al fallo	66.193
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	69.513
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	82.111

La Tabla 5, muestra los tiempos de respuesta registrados para el protocolo OSPF, con el 2º fallo en las diferentes etapas.

Tabla 5. Resultados OSPF segundo fallo

Evento	Resultados OSPF 2º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	14.000
Inicio de red	Inicio de rutas	69.514
	Convergencia de red	82.071
Falla	Fallo	82.111
	Convergencia de red posterior al fallo	91.499
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	94.638
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	135.557

EIGRP

La Tabla 6, muestra los diferentes tiempos de respuesta del protocolo EIGRP en sus diferentes etapas ante el primer fallo.

Tabla 6. Resultados EIGRP primer fallo

Evento	Resultados EIGRP 1º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	13.36
Inicio de red	Inicio de rutas	24.221
	Convergencia de red	45.909
Falla	Fallo	48.948
	Convergencia de red posterior al fallo	64.408
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	67.493
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	73.709

La Tabla 7, presenta los distintos tiempos de respuesta del protocolo EIGRP en sus diferentes etapas ante el segundo fallo.

Tabla 7. Resultados EIGRP segundo fallo

Evento	Resultados EIGRP 2º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	13.00
Inicio de red	Inicio de rutas	67.493
	Convergencia de red	73.709
Falla	Fallo	76.762

	Convergencia de red posterior al fallo	89.158
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	92.251
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	123.163

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

RIPV2

Al momento de realizar una falla entre el enrutador R1 y R4 se busca el camino más corto es decir consumir el menor costo, el tiempo que necesita para recuperar la comunicación es de 13ms.

OSPF

Para el estudio de OSPF, se realizó dos fallos, ante el primer fallo que se verifica el transcurso de tiempo para la restauración de dicho fallo a los 6ms y después la red recupera su convergencia, luego al segundo fallo determinamos el transcurso de tiempo en restablecerse, con un tiempo de alrededor de 9ms en restaurar su convergencia. Se observa que la conectividad a las interfaces 10.0.11.25 y 10.0.11.2 son las que son afectadas tanto por el primer y segundo fallo. Sin embargo, OSPF se encarga de restablecer la conectividad a las interfaces afectadas, restableciendo la convergencia de red de manera eficiente sin importar los fallos dados.

EIGRP

Este protocolo se dice posee buenas características para recuperarse ante fallos, al igual que al anterior protocolo se realizan dos fallos.

En el primer fallo el tiempo de convergencia de la red es de alrededor de 15ms, mientras que ante el segundo fallo el tiempo de convergencia fue de alrededor de 12ms. Sin embargo, con este protocolo de enrutamiento la afectación es menor tanto con el primer fallo como con el segundo fallo, siendo la interfaz 10.0.11.5.

5. CONCLUSIÓN

En el presente análisis comparativo, se ha evaluado el rendimiento de varios protocolos de enrutamiento dinámico (RIPV2, OSPF y EIGRP) en una red con topología en malla. Posterior a su evaluación, se debe resaltar varios aspectos de la topología en malla en función del protocolo de enrutamiento que se ejecuta. Por un lado, RIP presenta un buen tiempo de respuesta al inicio de la actividad de la red, sin embargo, consume un mayor tiempo en el restablecimiento de la red cuando la red se recupera de la falla, habiendo un mayor número de interfaces afectada ante un fallo.

Por un lado, OSPF tiene un mayor tiempo en la red arrancando, pero a diferencia de RIP, su desempeño mejora luego de la primera falla. También mejora su tiempo de convergencia. Las simulaciones muestran que luego de una falla los enrutadores en una topología de malla convergen en forma asíncrona, es decir, la conectividad con los otros enrutadores se va restableciendo de acuerdo al tiempo que cada enrutador necesita para calcular la nueva ruta óptima. A diferencia de RIPV2 que no cuenta con este eficiente restablecimiento de rutas. OSPF registró los mejores tiempos de convergencia de la red luego de una falla y una segunda falla. EIGRP tuvo la mejor recuperación de enlaces caídos frente el primer y segundo fallo afectándose tan solo una interfaz, a diferencia de OSPF en la cual se afectaron dos interfaces.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Sendra, P. Fernández, M. Quilez, and J. Lloret, "Study and Performance of Interior Gateway IP Routing Protocols", Integrated Management Coastal Research Institute, Polytechnic University of Valencia, Network Protocols and Algorithms, 2010, Vol. 2, No. 4, pp. 88-117.
- [2] J. Deng, S. Wu, and K. Sun, "Comparison of RIP, OSPF and EIGRP Routing Protocols based on OPNET," Simon Fraser University School of Engineering Science. ENSC 427: Communication Networks, 2014.

- [3] M. Nguyen, K. Mirzahosseini, and S. Elmasry, "Analysis of RIP, OSPF, and EIGRP Routing Protocols using OPNET," Simon Fraser University School of Engineering Science ENSC 427: Communication Networks, 2013.
- [4] M. Atto and C. Guy, "Routing Protocols for Structural Health Monitoring of Bridges Using Wireless Sensor Networks," Network protocols and Algorithms, 2015, Vol 7, No 1, pp.1-23.
- [5] J. Lloret, S. Sendra, M. Garcia, and G. Lloret, "Group-based underwater wireless sensor network for marine fish farms," 2011 IEEE GLOBECOM Workshops, Houston, Texas, USA, December 5-9, 2011. pp.115,119.
- [6] B. Meador. "A Survey of Computer Network Topology and Analysis Examples," Academic Report. In Washington University website. Available at http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-08/ftp/topology/#ring_network_topology
- [7] C. Welsh, "GNS3 Network Simulation Guide," Packt Publishing, ISBN 13 9781782160809, October 2013
- [8] J. He, M. Chiang and J. Rexford, "TCP/IP interaction based on congestion price: Stability and optimality." In proceedings of the IEEE 2006 International Conference on Communications (ICC 2006). June 11-15, 2006, Istanbul, Turkey. pp. 1032-1039
- [9] X. Li, "Niching without niching parameters: particle swarm optimization using a ring topology," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2010, Vol. 14, No. 1, pp. 150-169.
- [10] R. A. Larrea-luzuriaga, J. M. Jimenez, S. Sendra, and J. Lloret, "Comparative Study of Routing Protocols in Ring Topologies using GNS3," Elev. Int. Conf. Internet Monit. Prot., pp. 38-44, 2016.

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
ISUCC
Carlos Cisneros
RIOBAMBA

TECH

• CARLOS CISNEROS •

ISSN 2737-6036