

Simposio

De investigación en ingeniería y desarrollo sostenible



26 y 27
mayo

2016

Auditorio EUSTORGIO
COLMENARES

Cúcuta - Colombia N°1

Invitan



Universidad
Francisco de Paula
Santander

San José de Cúcuta, Junio de 2016 No.1 ISSN 2539-4975

I SIMPOSIO DE INVESTIGACION EN INGENIERIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

UFPS 5776655 Ext 178

El I Simposio de Investigación en ingeniería y desarrollo sostenible, es el órgano de difusión del Plan de estudios de Ingeniería Electromecánica, el Grupo de investigación en Automatización y Control, el Semillero de investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética y el Semillero de investigación en Mecatrónica Aplicada. simposioids@ufps.edu.co

Periodicidad

Anual

Directivos Universidad Francisco de Paula Santander

Claudia Elizabeth Tolosa Martínez	Rector
Olga Marina Vega Angarita	Vicerrector Académico
Jorge Sánchez Molina	Vicerrector Administrativo
Víctor Manuel Ardila Soto	Vicerrector de Bienestar universitario
Jorge Sánchez Molina	Vicerrector Asistente de Investigación y Extensión
Luz Marina Bautista	Vicerrector Asistente de Estudio

Coordinación y dirección general

Yesenia Restrepo Chaustre, M.Sc.

Comité editorial

IE. Julián Ferreira M.Sc.
IE. Sergio A. Castro Casadiego, Esp.
IE. José Alejo Rangel Rolon

Comité Científico

IE. Johnny Omar Medina Duran, M.Sc.
IEM. Gloria Esmeralda Sandoval Martínez, Esp.
IE. José Armando Becerra Vargas, M.Sc.

Editor

IE. Norbey Chinchilla Herrera, Esp.

Contenido

Editorial	4
Mantenimiento en Transformadores.....	6
Sistema, Control y Accionamiento de un Banco de Pruebas de Transformadores de Potencia.....	13
Prueba de Tensión en Guantes y Pértigas Para Trabajos con Tensión	19
Caracterización de Componentes de una Mini Central Solar Fotovoltaica Conectada a Red.	23
Método de Estimación del Estado de Carga para Baterías en un Sistema Fotovoltaico Autónomo.....	31
Diseño de una Red Neuronal para la Estimación de Datos Faltantes de Radiación Global en Registros de Series Históricas	38
Diseño y Construcción de un Sistema de Refrigeración por Adsorción Asistido Atraves de un Colector Solar Experimental.	45
La Sistematización de la Gestión de Mantenimiento en Procesos Productivos y la Confiabilidad Operativa Punto 8- Aplicaciones.	54
Diseño E Implementación De Un Módulo Didáctico De Proceso Industrial Para La Supervisión, Control Y Tratamiento De Datos De Las Variables De Caudal Y Nivel, Para Los Laboratorios Del Departamento De Electricidad & Electrónica De La UFPS	63
Comparación De Controladores Pi Determinísticos Y Controladores Pi Heurísticos Desarrollados Por Medio De Lógica Difusa Usados En Modelos De Máquinas Eléctricas	71
Gestión de I+D en las Empresas Metalmecánicas del Corredor Industrial de Boyacá, Colombia.....	77

Editorial

Nos encontramos en un nuevo mundo, inmersos cada día en constantes avances tecnológicos, estos afectan la forma en que vivimos y como realizamos las actividades del día a día. Las nuevas tecnologías plantean nuevos retos y crean la necesidad de estar en una evolución permanente, pero representan también un nuevo abanico de posibilidades de desarrollo profesional, brindando nuevas herramientas y nuevos conocimientos que permiten desarrollar de una forma más eficiente nuestro quehacer profesional, nuestra región se encuentra inmersa en una situación complicada en el ámbito económico y social y es esta una oportunidad para que los profesionales adapten y generen nuevas tecnologías adecuadas a las realidades de nuestra región y sean ellos el motor de desarrollo que dinamice la economía regional.

Es por tal motivo que este tipo de espacios buscan establecer ante todo un acercamiento de los profesionales de la región a las nuevas herramientas y a los nuevos procesos que les permitan a los ingenieros electromecánicos plantear soluciones innovadoras y eficientes a las problemáticas de la industria regional mejorando de esta manera la competitividad y brindando nuevas posibilidades de desarrollo.

Se busca de igual manera incentivar en los futuros ingenieros una cultura investigativa que busque como aportar a la región desde su quehacer profesional soluciones en los campos de las energías renovables, el control y el mantenimiento industrial.

Norbey Chinchilla Herrera
Ingeniero Electrónico, Esp.
UFPS

Agradecimientos

A los estudiantes del programa académico de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander miembros de los semilleros de Investigación SIREE y SIMAP, por su compromiso en fomentar y fortalecer las bases de la investigación de manera responsable y activa, creando conciencia investigativa a la juventud de hoy.

Daniela Vargas
Daniel Sanguino
David Villán
Ricardo Bueno
Luswind Rueda
German Becerra
Mario Acevedo
Jhan Bastos
Jesús Balta
Ramiro Villalba
Samuel Zapata
Felipe Pinzón

Mantenimiento en Transformadores

JUAN CARLOS CASTRO GALEANO¹
FIDEL ALFONSO ROMERO TOLEDO²

Resumen

Este artículo presenta una síntesis del transformador de potencia, sus principales componentes, accesorios y protecciones propias, a su vez se indican las principales actividades de mantenimiento así como las pruebas de diagnóstico y sus criterios de aceptación de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales vigentes, esto con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y tratar de extender la vida útil de estos equipos.

Palabras claves:

Criterios de aceptación, mantenimiento, pruebas de diagnóstico, transformador.

1 Ingeniería Electromecánica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Sistemas Electromecánicos GridsE.
juan.castrogaleano@uptc.edu.co.

2 Ingeniería Electromecánica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Sistemas Electromecánicos GridsE.
fidel.romero@uptc.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Debido al gran número de transformadores instalados en el sistema eléctrico colombiano, muchas empresas se interesan en conocer su condición integral evaluando el estado de su aislamiento, bobinas y aceite dieléctrico, para definir en qué momento se debe realizar algún tipo de mantenimiento y tratar así de extender su tiempo de vida útil y contar con la disponibilidad de los mismos.

En general, existen diferentes formas en las cuales los transformadores se deterioran y dependen en gran medida de las condiciones de operación a las que se exponen durante su explotación tales como sobrecargas, elevaciones de temperatura, sobreesfuerzos eléctricos y mecánicos asociados a la circulación de corrientes de falla, y sobretensiones provocadas por maniobras o descargas atmosféricas. Por todo lo anterior, es necesario realizar una evaluación integral de la condición del transformador, mediante la ejecución periódica tanto de pruebas eléctricas como de análisis físico-químicos del aislamiento líquido para conocer el avance real de los procesos de deterioro al interior de estos equipos.

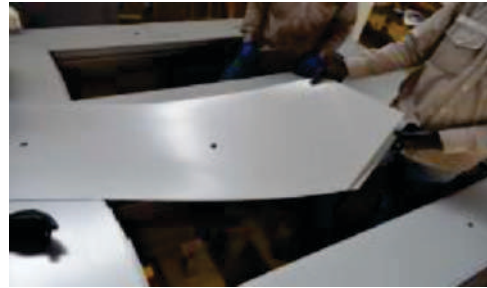
EL TRANSFORMADOR

La parte activa del transformador de potencia está conformada por el circuito magnético y el circuito eléctrico, el primero consiste en el núcleo, y el segundo a las bobinas de cada uno de los devanados, [1].

El núcleo: Se encarga de conducir el flujo magnético que enlaza el devanado primario y secundario, está construido en láminas de acero al silicio en espesores entre 0.28 y 0.35 m.m, El grano es orientado en el sentido de la magnetización para evitar las pérdidas por corrientes de magnetización, con este material las pérdidas se estiman entre 0.4 a 0.6 W/kg.

En la Figura 1, presenta el proceso de ensamble de un núcleo.

Figura 1. Laminación del núcleo ferromagnético.



Fuente: Industrias Explorer Ingeniería.

Las bobinas: Constituyen el circuito eléctrico del transformador, y permiten la circulación de la corriente que genera el flujo magnético en el primario, y la corriente secundaria que circula hacia la carga. Las bobinas se construyen con alambre o fleje de cobre o aluminio. En transformadores de distribución y baja potencia se emplean conductores aislados en esmaltes y barnices dieléctricos y en transformadores de potencia platinas de cobre aisladas en papel Kraft termoestabilizado, en la Figura 2, se presenta el proceso de construcción de una bobina con conductor aislado en papel.

Figura 2. Construcción de bobinas.



Fuente: Industrias Explorer Ingeniería.

El ensamblaje de la parte activa, núcleo y bobinas, se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Parte activa del transformador.



Fuente: Industrias Explorer Ingeniería.

La parte activa es inmersa en aceite dieléctrico en un tanque denominado cuba, y se complementa con accesorios y protecciones propias para protegerlo contra sobrepresiones, altas temperaturas, flujos turbulentos o burbujas en el aceite, entre otras.

Los accesorios del transformador son:

- Tanque de expansión: Permite los cambios de volumen debido a los cambios de temperatura.
- Cambiador de tomas On Load Tap Changer (OLTC): Permite la regulación de tensión del sistema Usualmente están instalados en el devanado de alta tensión y operan bajo carga.
- Bujes: Permiten la conexión de las bobinas al exterior.
- Radiadores o intercambiadores de calor: Permiten la refrigeración de forma natural.
- Ventiladores: Aumentan la refrigeración forzando el paso aire a través de los radiadores.

Entre las protecciones propias se tienen

- Válvula de sobrepresión (71)
- Relé Buchholz, (63)
- Termómetro de aceite (49)
- Imagen térmica (26)

Un transformador de potencia típico en Colombia se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Transformador de potencia 230/115 kV.



Fuente: Autor.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Con el equipo en servicio, se realizan de forma predictiva las siguientes actividades:

Inspección visual

Consiste en una inspección minuciosa para comprobar si el equipo no tiene defectos como fugas de aceite, desajuste de piezas, pintura dañada, corrosión o defectos en las estructuras de soporte, así como el estado de las campanas de los aisladores y el nivel de aceite en bujes capacitivos. También se verifica el adecuado funcionamiento del sistema de refrigeración (ventiladores y bombas) y el sistema de respiración (desecador de sílica gel).

Adicionalmente se registran algunas lecturas como testigos de temperatura del termómetro de imagen térmica y aceite para verificar que el transformador no ha sufrido algún aumento significativo de temperatura.

Inspección termográfica

Permite detectar puntos calientes, conexiones flojas, corrientes circulantes a través de la cuba, defectos en el sistema de refrigeración (bombas girando en contraflujo, ventiladores girando al revés, etc.) y cortocircuitos en blindajes magnéticos colocados en las paredes de algunos transformadores. También es posible detectar el

bajo nivel de aceite en bujes aislados en aceite cuando estos pierden su estanqueidad y su aceite fluye hacia la cuba.

Análisis de aceite

El aceite dieléctrico cumple las funciones de aislar eléctricamente los devanados, disipar el calor y evitar corrosión de las partes metálicas.

En general los aceites tienen las siguientes características:

Rigidez dieléctrica alta para resistir esfuerzos eléctricos, y extinguir arcos y descargas en su interior.

Viscosidad baja para circular y disipar calor.

Resistencia al envejecimiento para asegurar una larga vida útil (20 años o más).

Las causas de la degradación del aceite se deben a las condiciones de servicio como operación a altas temperaturas, contacto con aire, agua, partes metálicas en hierro como las prensas del núcleo, tornillos y contacto con el cobre presente en terminales y conductores. Los principales síntomas de la degradación del aceite son el oscurecimiento, la generación de sustancias polares, la formación de ácidos, precipitación de lodos y deterioro de las propiedades dieléctricas.

Análisis fisicoquímico

Para determinar el estado del aceite, se realizan análisis fisicoquímicos al menos una vez al año. Estos análisis permiten evaluar algunas variables asociadas a la condición del aceite como contenido de humedad, grado de acidez, tensión superficial, concentración de compuestos furánicos (subproductos de la degradación del papel), rigidez dieléctrica y factor de potencia del aceite.

La Tabla 1 presenta los criterios de aceptación básicos y la normatividad para los análisis fisicoquímicos en aceites dieléctricos.

TABLA 1. NORMATIVA ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS

PRUEBA	NORMAS	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Rigidez dieléctrica	ASTMD 1816-04 NTC 3218 - 1991 ASTM-D 877 - 00	> 40 kV
Factor de potencia	ASTMD 924-99e1	< 0,05 Nuevo < 0,08 Usado
Índice Colorimétrico	ASTMD 1500-98	> 0,5 y <3
Tensión interfacial	ASTMD 971-99a ASTMD-2285-99	> 22
Número de neutralización (acidez)	ASTMD 974-01	< 0,11
Contenido de humedad	ASTMD 1533-00	< 25
PCB's	ASTM D- 4059	< 50 ppm
Azufre corrosivo	ASTMD 1275	Por debajo de 2b

Análisis de gases disueltos (DGA)

Se realiza en un laboratorio acreditado empleando la metodología de análisis de gases disueltos por cromatografía, la cual permite detectar si se han presentado arcos internos, mal contacto eléctrico, puntos calientes, descargas parciales y sobrecalentamientos de conductores, aceite y aislamientos que hayan ocasionado degradación térmica del aceite que rodea la zona de ocurrencia de la avería o defecto. Estos gases deben analizarse en el tiempo ya que mayor edad del transformador, los gases se encuentran en mayor cantidad, siendo ésta su condición normal, pero si su aumento es considerable en un periodo de tiempo, indica una falla incipiente en el transformador, [2], [3] y [4].

La Tabla 2 presenta las normativas para el análisis de gases disueltos por cromatografía de gases y los valores aceptables para transformadores de potencia.

TABLA 2. CRITERIO DE ACEPTACIÓN CROMATOGRAFÍA DE GASES

GASES		Criterio de aceptación, Concentración, [ppm]			
		BBC	DORN	CEGB	DOBLE
Hidrógeno	H ₂	200	200	100	100
Metano	CH ₄	100	50	120	100
Monóxido de Carbono	CO	500	500	350	250
Etileno	C ₂ H ₄	150	80	30	100
Etano	C ₂ H ₆	100	35	65	60
Acetileno	C ₂ H ₂	15	5	35	5
Bióxido de Carbono	CO ₂	5000	6000	-	-

Los gases claves para ayudar a diagnosticar la condición del transformador son presentados en la tabla en la Tabla 3.

TABLA 3. GASES CLAVES CROMATOGRAFÍA DE GASES

Gas Clave	Condición
Acetileno	Arqueo – falla
Hidrógeno	Efecto corona – Descargas
Etileno	Aceite sobrecalentado
Monóxido y dióxido de carbono	Celulosa sobrecalentada

Debido a que los gases pueden aumentar en diferentes proporciones, el estándar internacional [2], clasifica el transformador en cuatro condiciones como indica la tabla 4.

TABLA 4. CONDICIONES

Cond	H2	CH4	C2H4	C2H2	C2H6	CO	CO2	TDCG
1	0-100	0-120	0-35	0-50	0-65	0-350	0-2500	720
2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2500-4000	791-1920
3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

Cada condición se define como indica la tabla 5.

TABLA 5. CONDICIONES Y CONSIDERACIONES

CONDICIÓN	MUESTREO	CONSIDERACIÓN
1	Anual	Continuar en operación normal
2	Trimestral	Analizar por gases individuales Determinar la tendencia de carga
3	Mensual	Analizar por gases individuales. Determinar la tendencia de carga. Plan de parada
4	Semanal-diario	Plan de parada y poner fuera de servicio

PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO

Las pruebas de diagnóstico son una herramienta fundamental para la determinación de fallas incipientes presentadas en los transformadores de potencia, permiten la acertada intervención en el mismo para evitar daños mayores o salidas inesperadas, generando mala confiabilidad del servicio afectando los índices de calidad del servicio y produciendo pérdidas económicas para las empresas del sector.

Las pruebas en campo, realizadas en los transformadores son [4], [5]:

- Relación de transformación
- Análisis de respuesta en frecuencia SFRA.
- Medición del factor de potencia.
- Factor de potencia de bujes capacitivos.
- Corriente de excitación.
- Reactancia de dispersión.
- Resistencia óhmica de los devanados.
- Resistencia de aislamiento.

La ejecución de estas pruebas debe ser realizada bajo los lineamientos de los estándares nacionales e internacionales, garantizando la repetitividad de las mismas y la obtención de resultados fiables y exactos.

Para diagnosticar una falla no es suficiente con la ejecución de una prueba, debe realizarse el mayor número de pruebas posibles, de esta

forma se pueden correlacionar sus resultados, así como verificar su comportamiento histórico. Las fallas típicas detectadas por cada prueba y los criterios de aceptación de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales se presentan en la tabla 6.

TABLA 6. Pruebas a transformadores de potencia sumergidos en aceite, [5]-[15]

Prueba	Criterio de aceptación	Identifica
Relación de transformación	+/- 0,5 %	Espiras en corto, abiertas o malas conexiones del cambiador
Análisis de respuesta en frecuencia SFRA	Trazas de referencia y medidas deben ser iguales	Deformaciones mecánicas y geométricas en núcleo y bobinas
Termografía	Diferencias de temperatura	Puntos calientes, conexiones flojas
Medición del factor de potencia	< 1,0 en 115 kV < 0,5 en 230 kV	Contaminación, envejecimiento, humedad y degradación del aislamiento
Corriente de excitación	5 %	Corto entre espiras, y deformaciones en el núcleo
Reactancia de dispersión	5% Equivalente trifásico 2 % Equivalente monofásico	Deformaciones mecánicas y geométricas en núcleo y bobinas
Factor de potencia a los bujes	< 1,0	Contaminación, envejecimiento, humedad y degradación del aislamiento
Medición de la resistencia de los devanados	+/- 5%	Espiras en corto o parcialmente abiertas, contactos del cambiador de tomas
Medición de la resistencia de aislamiento	Valores en GΩ, IP > 1,5	Contaminación, envejecimiento, humedad y degradación del aislamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este artículo se han identificado y descrito las principales técnicas usadas por el personal de mantenimiento para el diagnóstico de condición de transformadores. Dicho diagnóstico requiere tener en cuenta una gran cantidad de variables y

es complejo en la medida en que muchas de dichas variables se evalúan no solamente en forma puntual sino también como una tendencia en el tiempo.

La dinámica de los diferentes mecanismos de falla de probable ocurrencia al interior de los transformadores debe ser tenida en cuenta en la definición de la periodicidad de ejecución de estas pruebas y análisis. Algunas técnicas como MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) puede ayudar a definir de forma objetiva esta periodicidad teniendo en cuenta aspectos particulares de la población de equipos objeto de evaluación como carga, nivel de tensión, historial de fallas, etc.

Por último cabe anotar que el manejo del riesgo de falla de una población de transformadores debe contemplar, además de una adecuada estrategia de mantenimiento, la posibilidad de contar con unidades de repuesto que permitan reducir el impacto ante la ocurrencia de fallas en estos equipos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las contribuciones de Industrias Explorer y de la compañía Doble Engineering Company por facilitar el apoyo y la experiencia para escribir este artículo.

REFERENCIA

- [1] HEATHCOTE, Martin J. J&P Transformer Book Newness Editorial, Twelfth Edition 1998. 41-53 pp. ISBN07506 11588.
- [2] Testing of Power Transformer. Routine, Type test and Special test. First edition published by PRO PRINT. for ABB. 2003 Zürich, Schweiz.
- [3] IEEE Std C57.104-1991, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers.
- [4] IEEE Std C57.106 : Guide for acceptance and maintenance of insulating oil in equipment.
- [5] IEEE Std 62-1995 IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors.
- [6] ANSI/IEEE C57.12.90-1999. Test

Code for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers and Guide for Short-Circuit Testing of Distribution and Power Transformer.

- [7] ANSI/IEEE C57.12.00-2000. General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers
- [8] NTC 471 - Transformadores. Relación de transformación. Verificación de la polaridad y relación de fase.
- [9] IEEE Std C57.19.100-1995, IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings.
- [10] PC 57.149 Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil Immersed Transformer.
- [11] NTC 375 - Transformadores. Medida de la resistencia de los devanados. 2/24/1970.
- [12] ANSI/IEEE C57.12.91-1999. IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers
- [13] ASTM D1816-04 Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Oils of Petroleum Origin Using VDE Electrodes.
- [14] ASTM D877-00. Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids Using Disk Electrodes.
- [15] ASTM D1275-06 Standard Test Method for Corrosive Sulfur in Electrical Insulating Oils.

Sistema, Control y Accionamiento de un Banco de Pruebas de Transformadores de Potencia

JUAN DAVID RIVERA NIQUEPA¹

Resumen

Este artículo presenta la metodología llevada a cabo en el diseño, cálculo y montaje de un banco de pruebas, con la capacidad de aplicar pruebas de rutina y pruebas especiales, a máquinas eléctricas, especialmente transformadores de potencia; dentro de estas se incluye algunas de las pruebas de rutina como la prueba de vacío y cortocircuito y las pruebas de rutina aplicadas en la evaluación del estado del aislamiento, como la prueba de tensión inducida y la prueba de elevación de temperatura, entre otras. Se presenta cada uno de los equipos de transmisión y conversión de potencia junto con los respectivos sistemas de control de cada uno de ellos, haciendo énfasis en las características del grupo motor-generador y de las variables controladas de cada equipo, se describe los principios de operación de los sistemas de control correspondientes al Drive y al Regulador automático de voltaje AVR (Automatic Voltage Regulator) para el motor y el generador respectivamente. Finalmente se presenta cada una de las pruebas que está en capacidad de realizar el banco de pruebas, definiendo el objetivo de cada una de ellas junto con una breve descripción del protocolo de prueba, cuyo objetivo final es garantizar la adecuada operación de los transformadores y ofrecerle confiabilidad a los sistemas energéticos basados en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Palabras claves:

Control PID, Generador síncrono, Motor DC, Pruebas eléctricas, Transformador de potencia.

¹ Ingeniería Electromecánica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Joven Investigador. Grupo de Investigación en Sistemas Electromecánicos GridsE
juandavid.rivera@uptc.edu.co

INTRODUCCIÓN

Cuando una maquina eléctricas ya sea estática o rotativa es construida o intervenida, requiere de diferentes procedimientos técnicos que van desde la instalación de los bobinados, núcleos y aislamiento hasta la evaluación de la capacidad de respuesta de la misma [2].

Con el fin de verificar las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas del equipo intervenido se realizan una serie de pruebas, dentro de las que se tiene pruebas de rutina y pruebas especiales [3], algunas de ellas se realizan con equipos específico, como la prueba de impulso tipo rayo y la prueba de impulso tipo conmutación, gran parte de las demás se aplican con un banco de pruebas que debe tener la capacidad se suministrar tensiones variables a frecuencias variables y con la capacidad de alcanzar los niveles de corriente requeridos en máquinas de alta potencia.

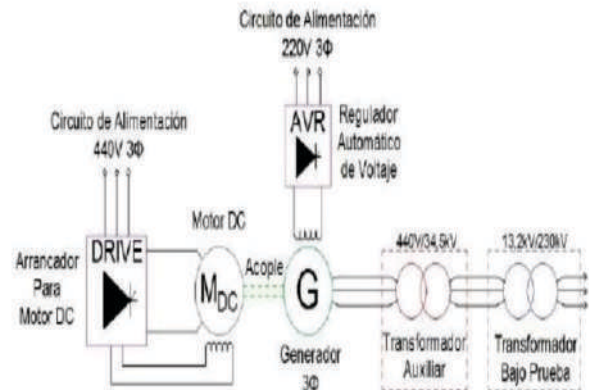
Además de los requerimientos en potencia se incluyen robustos sistemas de control que tengan la capacidad de mantener la estabilidad del sistema global además de asegurar la protección tanto del equipo intervenido como de los dispositivos que hacen parte del banco de pruebas [9]. Los subsistemas que controlan cada uno de los equipos que hacen parte del banco son fundamentan en estructuras de control en lazo cerrado, lo cual garantiza el registro permanente del estado de operación de la salida de las maquinas en comparación con la variables de entrada suministradas por el usuario.

ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS

El banco se compone a grandes rasgos de un generador de 2.5 MVA que recibe potencia de un motor DC de 700 kW, y un transformador elevador que acondiciona el voltaje para ser aplicado al transformador de potencia según los requerimientos que establecen las normas para cada una de las pruebas [3], los equipos principales motor y generador cuentan con su

respectivo sistema de control y protección, para el motor se tiene un Drive y para el generador un AVR, los cuales operan como controles PID [11], en la figura 1 se muestra la disposición global del banco de pruebas.

Figura 1. Disposición de banco de pruebas.



Fuente: Autor.

El Drive opera a 440 V y realiza la rectificación de las señales de campo y armadura, necesarias para accionar al motor DC y controlar su velocidad [6].

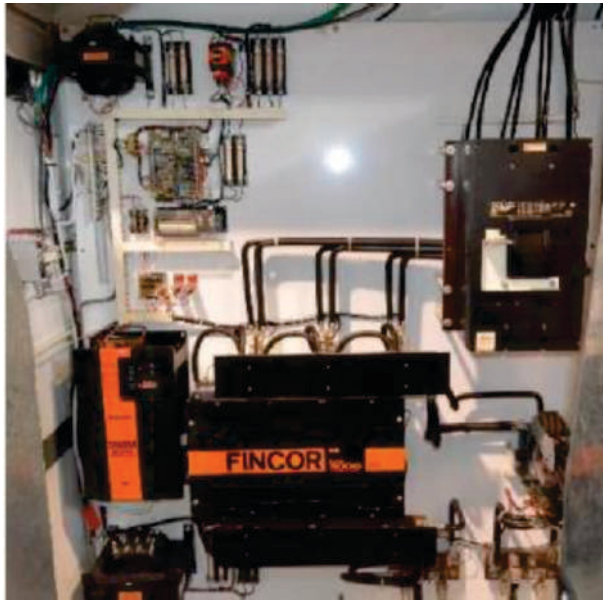
El generador es excitado mediante el campo DC suministrado por el regulador automático de voltaje AVR a los polos de la excitatriz y permite controlar la salida de voltaje del mismo [4].

ELEMENTOS DEL BANCO

Drive de potencia

El primer elemento que encontramos en el banco corresponde al Drive, el cual se encarga de realizar la rectificación de la señales DC que alimentan los devanados del rotor y el estator de la máquina, además cumple la funciones de protección y control del motor tanto en régimen transitorio como permanente, permitiendo la disminución de la corriente de arranque y la variación de velocidad según se requiera [11], en la figura 2 se presenta la disposición del Drive.

Figura 2. Drive Fincor 3167S8003A



Fuente: Autor.

El Drive cuenta con elementos internos como el totalizador, que protege al sistema globalmente, el puente rectificador controlado que suministra el voltaje de armadura, la tarjeta e campo que suministra la tensión de campo, la HMI (human man interface) para la configuración del usuario, y demás elementos internos que hacen parte del control lazo cerrado de control.

Motor DC

La máquina que es controlada por el Drive es el motor DC, el cual se encarga de transmitir potencia mecánica al generador.

Ya que en el generador la frecuencia de salida es proporcional a la velocidad de rotación del eje [6], esta será controlada mediante el Drive, esto con el fin de llevar a cabo pruebas en los transformadores que no corresponde a la frecuencia industrial (60 Hz). En la figura 3 se presenta el motor DC que hace parte del banco de pruebas implementado.

Figura 3. Motor DC Reliance Electric



Fuente: Autor.

Las características nominales del motor se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Características motor DC.

Característica	Magnitud
Potencia	700/700/550 kW
Tensión armadura	500/500/500 V
Corriente armadura	1495/1174 A
Tensión campo	310 V
Corriente de campo	12,7/8,4/5,8 A
Velocidad	900/1300/1800 rpm

Fuente: Autor.

Generador síncrono trifásico

El generador síncrono se encarga de convertir la potencia mecánica recibida del motor en potencia eléctrica capaz de alimentar el transformador de potencia, este cuenta con el devanado de armadura ubicado en el estator de la máquina el cual es inducido por medio del campo DC del rotor de la máquina, el cual es comunicado mediante la excitatriz [9], a cuyos terminales puede acceder fácilmente el usuario. En la figura 4 se presentan la disposición del generador que hace parte del banco de pruebas.

Figura 4. Generador AVK



Fuente: Autor.

El generador tiene las características nominales presentadas en la tabla 2.

Tabla 2. Características de placa del generador AVK

Característica	Descripción
Tipo	DSG 99K1-8FL
Potencia	1600-2560 kVA
Tensión Armadura	450-720 VAC
Corriente Armadura	2053 A AC
Frecuencia	60-120 Hz
Velocidad	900-1800 rpm
Tensión excitación	55 V DC
Corriente de excitación	4.3 A DC

Fuente: Autor.

AVR (Automatic Voltage Regulator)

El control del campo del generador es ejecutado por el regulador automático de Voltaje o AVR, el cual es controlado por el usuario y permite aumentar o disminuir la tensión de salida del generador, además de proteger al generador de fallas causadas por sub o sobrecitaciones [9], o por caídas de velocidad excesivas en la máquina motriz. Este elemento se presenta en la figura 5.

Figura 5. AVR Cosimat N+.



Fuente: Autor.

Luego de consolidar el cableado del circuito de potencia y de la aplicación de pruebas para encontrar el punto de operación de los respectivos sistemas de control, se cuenta con un banco de pruebas eléctricas con la capacidad de aplicar protocolos técnicos de evaluación del estado eléctrico de transformadores de potencia.

En la figura 6 se presenta la disposición del grupo motor generador con sus respectivos sistemas de accionamiento y control.

Figura 6. Grupo Motor-Generador.



Fuente: Autor.

Para favorecer la compatibilidad electromagnética CEM del sistema, el grupo se ubica a 100 m del laboratorio de alta tensión, la señal de salida del generador es transportada al laboratorio de alta tensión donde se eleva y se aplica al transformador de potencia bajo prueba [8], tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Laboratorio de alta tensión.



Fuente: Autor

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con las características de las máquinas eléctricas que componen el grupo destacándose la capacidad, la variación de velocidad, las tensiones y corrientes de salida, el sistema de protección y control se concluye que este cumple con los requerimientos para aplicar las pruebas definidas a continuación [1].

Prueba de vacío

Esta se enfoca principalmente a verificar las propiedades de magnetización del núcleo del transformador junto con la medición de las

pérdidas causadas por las presencias de las corrientes de Foucault y el fenómeno de histéresis, las cuales conforman las pérdidas de vacío, además se mide la corriente de excitación para evaluar si se encuentra dentro de los límites adecuados [5]. La prueba se realiza a 60 Hz, alimentando el transformador de potencia por el lado de baja tensión manteniendo el lado de alta tensión en abierto y se miden los parámetros eléctricos de voltaje, corriente y potencia con un paulatino aumento hasta alcanzar la saturación cerca del 110% de la tensión nominal del transformador [3].

Prueba de cortocircuito

La prueba de cortocircuito se enfoca a evaluar los bobinados del transformador junto con la medición de pérdidas causada por el componente resistivo de las bobinas, es decir las pérdidas por efecto Joule, además permite verificar el estado de las conexiones de las bobinas y la presencia de cortocircuitos internos [10]. Esta prueba se realiza a 60 Hz alimentando uno de los devanados y manteniendo el otro en sólido cortocircuito, la prueba se realiza hasta hacer fluir el 25 % de la corriente nominal en el cortocircuito [2], la cual se calcula con la impedancia de cortocircuito que generalmente es un dato que se obtiene de la placa característica del transformador y suministra el porcentaje de tensión a la cual se alcanza el flujo nominal de corriente en el cortocircuito.

Prueba de tensión inducida

Esta es una prueba especial de aislamiento enfocada a evaluar el estado del aislamiento entre espiras del transformador [12], correspondiente al papel Kraft impregnado de aceite. En la realización de la prueba se somete al transformador a una tensión aproximadamente del doble de la tensión nominal durante un minuto, y con el fin de evitar la saturación del núcleo ferromagnético es necesario duplicar la frecuencia de la prueba (120Hz) [7], por esta razón es necesario que el generador tenga la capacidad de suministrar tensiones a frecuencias variables, el montaje de la prueba es similar al descrito para la prueba de vacío.

CONCLUSIONES

Los sistemas de control PID, mantiene un monitoreo permanente en las variables de entrada y salida del sistema, lo cual permite una continua corrección de los errores presentados en la operación, lo cual a su vez garantiza la estabilidad del sistema, sin embargo es necesario ser cuidadosos en la instalación de la señales de control y potencia, ya que la interferencia en las señales de referencia y realimentación de cada uno de los controles PID pueden verse seriamente afectadas al someterse a los campos magnéticos generados por las señales de alta tensión.

Cuando es necesario transportar las señales de referencia desde lugares remotos es necesario evitar el paso por muchos bornes, ya que esto puede generar caídas de tensión significativas que afectan la entrada de referencia al Drive, es recomendado llevar las señales directamente al Drive y al AVR con el fin de mantener la compatibilidad entre la orden del usuario y la respuesta del equipo.

El banco implementado junto con su sistema de control cumple todos los requerimientos técnicos para la aplicación de las pruebas de transformadores mencionadas de manera segura, brindando protección tanto al banco en sí mismo como a los equipos a probar y a las personas que intervienen los equipos siempre y cuando se cumplan los protocolos de seguridad necesarios en el trabajo en con alta tensión.

REFERENCIAS

- [1] J. F. G. S. F. W. Ake Carlson, Testing of Power Transformers, Zürich: Pro Print, 2003.
- [2] ANSI-IEEE, ANSI-IEEE C57.12.00 Standard for general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers, New York: IEEE, 2010.
- [3] ANSI-IEEE, ANSI-IEEE C57.12.90 Standard test code for liquid-immersed distribution, power and regulation transformers, New York: IEEE, 2010.

- [4] S. Chapman, Electric machines, Australia: McGraw-Hill, 2002.
- [5] ETSI, Ensayos de transformadores de potencia, Bogota: Departamento de ingeniería., 2009.
- [6] K. U. Fitzgerald, Electric Machinery, New York: McGraw-Hill, 2003.
- [7] A. S. A. J. J. E. A. A. N. A. G. K. N. H. Mohseni, «Induced Voltage Test of Distribution Transformers Using Static Frequency Inverters,» *IEEE*.
- [8] A. S. A. J. J. E. A. A. N. A. G. K. N. H. Mohseni, «Induced Voltage Test of Distribution Transformers Using Static Frequency Inverters,» *IEEE*.
- [9] P. Kundur, Power System Stability and Control, Toronto: McGraw -Hill, 1994.
- [10] M. J. R. T. P.C. Mahajan, Testing of Transformers and Reactors, McGraw Hill, 2003.
- [11] K. Sunderaswaran y M. Vasu., «Genetic Tuning of PI controller for Speed Control of DC Motor Drive,» *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology* , vol. 2, pp. 521-525, 2000.
- [12] K. Sunderaswaran y M. Vasu., «Genetic Tuning of PI controller for Speed Control of DC Motor Drive,» *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology* , vol. 2, pp. 521-525, 2000.

Prueba de Tensión en Guantes y Pértigas Para Trabajos con Tensión

CARLOS EDUARDO PINTO SALAMANCA¹

Resumen

Los sistemas eléctricos de potencia SEP, y su constante ampliación depende de un trabajo de mantenimiento que sea intervenido de manera confiable y segura sin des-energizar ni afectar a los usuarios, por ellos los trabajadores además de tener una capacitación y conocimiento, deben tener unos elementos que los asegure y proteja de descargas eléctricas. La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia pretende la construcción de un laboratorio de pruebas dieléctricas a elementos de protección, donde de forma inicial se desarrollen pruebas de tensión a los dos principales elementos de seguridad en TCT guantes y pértigas.

Palabras claves:

Trabajos con tensión, aislamiento, ensayos dieléctricos.

¹ Ingeniería Electromecánica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Joven Investigador. Grupo de Investigación en Sistemas Electromecánicos GridsE
carlos.pinto@uptc.edu.co

INTRODUCCIÓN

El trabajo en redes energizadas o de “línea viva” es un proceso inalienable a las tareas de Administración Operación y Mantenimiento (AOM) del operador de red para con su zona influencia. Consiste en trabajar sobre líneas de media y baja tensión, de las redes de distribución sin des-energizarlas (Fig. 1), debido a que la continuidad, eficiencia y confiabilidad del servicio son prioridad del operador de red OR. [1]

Con este proyecto se busca verificar el estado de los guantes y pértigas de los operarios, para determinar su estado, garantizando el funcionamiento de los elementos de seguridad a los linieros y evitando ponerlos en riesgo de accidentes que pueden lesionarlos u ocasionar la muerte.

Figura 1. Ejemplos de trabajos en línea viva.



Fuente: Tomado de <http://www.wordy.photos>

Los trabajos en redes energizadas, requieren que los operarios se capaciten con cursos de alturas, y tengan entrenamiento previo, por ende también deben contar con implementos de protección y seguridad personal en condiciones de alta confiabilidad y uso adecuado para el trabajo en líneas vivas; esa confiabilidad se garantiza con la certificación de dichos elementos por laboratorios de pruebas dieléctricas competentes.

NORMATIVIDAD

Las empresas de energía deben evaluar los elementos como guantes dos veces al año, y las pértigas una vez al año para determinar si son aptos o no para el trabajo, aunque no cuenten con un sistema de información donde lleven el historial ni el tipo de guante ni la vida útil que tienen.

Los riesgos a los que se somete un operador de línea viva son considerables (figura 2), debido a que están expuestos a descargas de tensión muy altas y elevados niveles de corriente, que pueden generar daños tan graves como lesiones o incluso ocasionar la muerte. Para la empresa de energía, es un costo que se puede evitar si los elementos y equipos que usa el operario son certificados por laboratorios acreditados en este tipo de pruebas. Y para los operarios es importante tener mayor confianza en sus elementos de protección, debido al impacto que las líneas pueden generar en sus cuerpos, teniendo en cuenta pueden morir y dejar así un vacío en sus núcleos familiares.

Figura 2. Riesgos de accidentes de trabajos en línea viva



Fuente: tomado de normas18001.blogspot.com.co/2012/04/riesgo-electrico.html

Para contrarrestar evitar riesgos, las normas internacionales que protegen la salubridad del trabajador están expuestas por el convenio 155 de la Organización Internacional del Trabajo OIT y normas que establecen la calidad de los elementos al fabricarlos y probarlos, ASTM D-120 para guantes y ASTM D 149, y pruebas de chequeo definidas por los estándares ASTM F-496 para guantes y ASTM F-711 para pértigas, elementos empleados en línea viva, [2], [3], [4], [5].

CLASIFICACIÓN GUANTES Y PÉRTIGAS

Los guantes deben tener ciertas características para el diferente uso que se les dé en las líneas de tensión pues sus propiedades varían según el nivel de tensión que se vaya a manejar como se muestra en la tabla 1. Las pértigas son un tipo de

varas aisladas construidas en fibra de vidrio con revestimiento en resina epóxica y terminales en aluminio, deben aislar la corriente eléctrica, una elevada resistencia mecánica, peso mínimo, versátiles y fáciles transportar. En la figura 4 se indican ejemplos de estos elementos que pueden ser telescópicas, rígidas o tipo escopeta. Que de acuerdo a la normatividad colombiana, deben cumplir con los estándares universales en su construcción y uso.

Figura 4. Tipo de pértigas



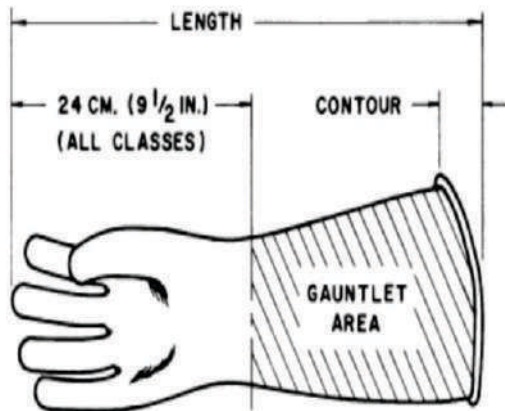
Fuente: tomado de www.promelsa.com

Tabla 1. Clase de guantes para operaciones en línea viva

REQUISITOS DE VOLTAJE			
Designación Clase de guante o manga	Uso máximo de Tensión . [V]	Prueba de Tensión en AC. [V]	Prueba de Tensión en DC. [V]
00	500	2500	10000
0	1000	5000	20000
1	7500	10000	40000
2	17000	20000	50000
3	26500	30000	60000
4	36000	40000	70000

Fuente: ASTM D-120

Figura 3. Guante de goma – Área guantelete (Todas las clases)



Fuente: Tomado de norma ASTM D120

CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS GUANTES Y PÉRTIGAS

Los TCT “trabajos con tensión” tienen 4 técnicas para el desarrollo de sus actividades de mantenimiento (a contacto, a distancia, a potencia y robótica), las cuales tienen como objetos de protección principales los guantes en la técnica a contacto es decir maniobrar directamente las líneas de tensión con las manos y las pértigas en la técnica de distancia que requiere de herramientas para realizar maniobrar desde un punto determinado sin estar directamente en contacto con las líneas.

Para el mantenimiento de redes de distribución en línea viva, existe un encargado de cuadrilla, el cual se encuentra en comunicación continua con la subestación que alimenta el circuito en el cual se está realizando el mantenimiento, con el fin de dar autorización de re cierre en el circuito en caso de alguna falla.

Los operarios que realizan el trabajo en línea viva necesitan un equipo especial de protección personal como los guantes, mangas, casco, entre otros y para protección colectiva mantas,

cubridores y el carro canasta, los cuales le quitan libertad de movimiento a los operarios, pero que son necesarios para su seguridad, manejan un color específico.”

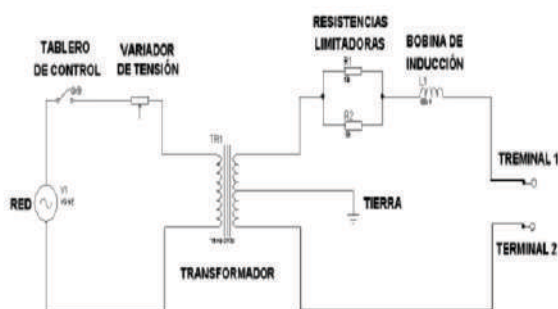
Los trabajos de línea viva corresponden a la exposición de los operarios a las redes energizadas para arreglar fallas, ampliar la red, cambiar postes, entre otros. Por tanto, son necesarios y pertinentes debido al alto impacto y crecimiento de las líneas de distribución a nivel internacional, nacional y de la región.

Los guantes son fabricados en caucho natural para brindarle flexibilidad y caucho sintético con alta resistencia al efecto corona, se les debe realizar una revisión como mínimo dos veces al año para evitar porosidades que puedan afectar el aislamiento. Los guantes son fabricados con la forma natural de la mano, sin costuras y con alta rigidez dieléctrica. Las pértigas son fabricadas en fibra de vidrio y con relleno de poliuretano con una alta rigidez dieléctrica y mecánica.

ENSAYOS DIELECTRICOS

Los ensayos consisten en tomar la energía de la red, pasar por medio de un tablero que controla la potencia, siguiendo a un variador AC que regula el paso de tensión que va a recibir el transformador elevador que sube el nivel de energía a los niveles de tensión que se requieran según la clasificación de los elementos a probar. Por seguridad de los elementos que componen el sistema, es necesario tener unas resistencias que limiten el paso de corriente y una bobina que no permita efectos transitorios a la red. (Ver figura 5)

Figura 5. Circuito



Fuente: tomado de autor artículo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Adelantar estudios para la creación de un laboratorio de certificación en pruebas dieléctricas para elementos y equipos usados en líneas de tensión.

Fomentar el desarrollo de proyectos de investigación aplicada al área eléctrica, lo que impactara positivamente en el programa de Ingeniería Electromecánica de la UPTC y universidades con programas similares.

REFERENCIAS

- [1] ANDRADE. A., Hugo. Memorias charla mantenimiento en línea viva, Empresas públicas de Medellín.
- [2] ASTM D120 - 14a Standard Specification for Rubber Insulating Gloves
- [3] ASTM D149 – 09 (2013) Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies
- [4] ASTM F496 - 14a. Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves
- [5] ASTM F711 - 02(2013) Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic

Caracterización de Componentes de una Mini Central Solar Fotovoltaica Conectada a Red.

DANIEL BALLESTEROS ORTIZ¹
KEVIN JHOEL GONZALEZ PEREZ²

Resumen

Este trabajo consiste en realizar la caracterización de paneles solares fotovoltaicos a partir del modelo matemático y circuital establecido, para el cual se tomaron datos de radiación, temperatura, voltaje y corriente durante las horas pico solar para determinar el ángulo óptimo de inclinación del panel solar, se determinaron parámetros internos del panel R_s , R_{sh} , factor de idealidad, punto de máxima potencia mediante caracterización a oscuridad y a radiación controlada de $1000W/m^2$ con la ayuda de lámparas de halógeno, además se realizó una prueba a condiciones ambientales reales para determinar la curva característica de corriente vs voltaje, para realizar este análisis se desarrolló una simulación dinámica utilizando la herramienta Simulink® del software Matlab®, los resultados nos permiten construir una nueva hoja característica identificando los factores que afectan la eficiencia del panel solar fotovoltaico a condiciones ambientales de la ciudad de Cúcuta.

Palabras claves:

Panel solar fotovoltaico, curvas características, eficiencia, modelamiento.

1 Estudiante de Ingeniería Electromecánica. Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta.
danielbo@ufps.edu.co

2 Estudiante de Ingeniería Electromecánica. Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta.
kevinjhoelgp@ufps.edu.co

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el sector energético ha tenido un mayor auge debido a la implementación de combustibles fósiles (energías no renovables), los cuales han permitido mejorar las actividades cotidianas del ser humano, pero como consecuencia han generado daños al medio ambiente, las cuales están afectando el clima, los diferentes ecosistemas, la calidad de vida de las personas, zonas cultivables y emitiendo gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global; por estas razones se hace necesario la implementación de fuentes de energías renovables no convencionales, aportando al desarrollo energético disminuyendo las contaminaciones causadas al medio ambiente, dentro de este grupo podemos destacar la energía solar fotovoltaica, que es una de las más desarrolladas en la actualidad. Existen dos tipos de conexiones de sistemas solares fotovoltaicos, el sistema autónomo o aislado y el conectado a red.

El panel solar es el principal componente de una instalación fotovoltaica, el panel solar tiene materiales semiconductores que al ser expuestos a la luz producen corriente eléctrica, estos materiales se comportan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se les proporcionan energía o calor [1]. En la presente investigación se realizó la caracterización de un panel solar de 245 W, para ello se basó en el modelo circuital del panel solar para calcular las características internas del panel, para lo cual se empleó la prueba de oscuridad para determinar estos parámetros.

Después la prueba con radiación para determinar la corriente foto generada del panel solar. Por último se dio a conocer las pérdidas que presenta el panel al instalarse en un sistema fotovoltaico como lo son las pérdidas por sombra, temperatura del panel, suciedad y por cableado, con lo cual se calculó la eficiencia del panel a condiciones de implementación, a pesar de que el datasheet nos da una eficiencia,

este no tiene en cuenta las pérdidas debido a que se realiza a condiciones ambientales controladas y a niveles de radiación óptimos (1000 W/m^2).

MATERIALES Y METODOS

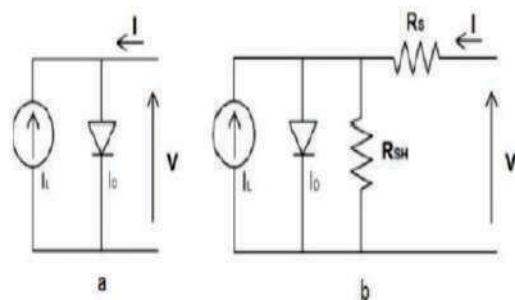
Materiales

- **Panel solar:** El panel solar empleado fue el YL245P-29b de la serie YGE 60 cell 40 mm SERIES de la marca YINGLI SOLAR, el voltaje de circuito abierto es de 37.5 Voltios, corriente de cortocircuito es de 8.63 Amperios. [2].
- **Piranometro:** La referencia es el SP-110, de la marca apogee, la sensibilidad es de 0.2 mV por cada W/m^2 , el factor de calibración es de 5 W/m^2 por cada mV. [3]
- **Módulo de resistencias:** Resistencia de vidrio esmaltado con tubo de cerámica de potencia, con valores de 100Ω a 300 W. [4].
- **Multímetros:** FLUKE 27-II. [5].
- **Fuente DC:** Se empleó la fuente DC GW Instek GPS-3303. [6].
- **Conectores:** Los conectores implementados fueron los conectores bananas hembra y machos.

Métodos.

Con la finalidad de poder calcular los parámetros internos del panel solar, se realizó la prueba a oscuridad con el panel solar para ello se empleó el modelo circuital (ver figura 1).

Figura 1. Modelo circuital de una célula fotovoltaica: a. Ideal. b. Real. [1]



Fuente: tomado de autor artículo.

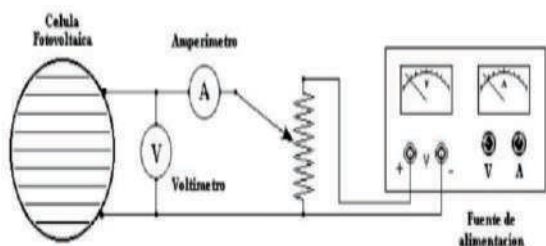
La ecuación del modelo circuital real es la siguiente (Ver ecuación 1) [7]:

$$I = I_L - I_s \left(e^{\frac{V+I \cdot R_s}{nKT}} - 1 \right) - \frac{V+I \cdot R_s}{R_{SH}} \quad (1)$$

El panel debía mantener una temperatura a 25°C, por lo que se controlaron las condiciones ambientales del lugar de trabajo.

La prueba se desarrolló siguiendo el siguiente esquema (Ver figura 2):

Figura 2. Esquema de la implementación del circuito para la prueba a oscuridad. [8]



Fuente: tomado de autor artículo.

Para ello se aseguró que el panel no genere voltaje, lo cual se cubre en su totalidad para despreciar en la ecuación el parámetro de I_L . Después se procedió a colocar un valor fijo en la fuente DC, este debe ser cercano al valor de voltaje de circuito abierto y se varía la carga para obtener diferentes datos de voltaje y corriente, con lo cual se realizó la curva de corriente vs Voltaje en oscuridad.

Después, se seleccionó la parte más lineal de la curva, esto con la finalidad de descartar la parte exponencial de la ecuación (1) y realizarlo como una línea recta, la ecuación queda de la siguiente forma [8]:

$$I = -I_0(-1) - \frac{V}{R_{SH}} \quad (2)$$

$$I = -\frac{V}{R_{SH}} + I_0 \quad (3)$$

$$Y = -mx + b \quad (4)$$

Con la ecuación (3) se calculó el valor de R_{SH} y un valor aproximado de la corriente I_0 , que es la corriente de saturación del diodo, para ello se empleó el software Matlab utilizando el comando **curve fitting tool**, el cual nos permito linealizar la ecuación y obtener la ecuación de una línea recta.

Obtenido el valor de R_{SH} , se calculó las otras variables del panel, para ello se empleó la siguiente ecuación (5):

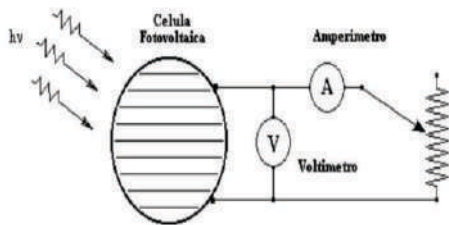
$$I = -I_s \left(e^{\frac{V+I \cdot R_s}{nKT}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{SH}} \quad (5)$$

Para el cálculo de las otras variables se realizó la gráfica y se utilizó el software Matlab, con el cual calculamos estas variables, el comando empleado fue el **curve fitting tool**, en el cual se requiere los vectores y se insertaron en el comando, luego se seleccionó la opción *Custom equation* y se insertó la ecuación de la parte superior, dejando a V como la variable x y el programa nos arrojó los resultados de cada una de las variables de la ecuación.

Cabe aclarar que el valor de la I al ser muy pequeño se puede despreciar debido a que es el orden de los miliamperios, además que la R_s es la resistencia en serie entre el material semiconductor y los contactos metálicos, como el panel no va a generar energía, esta resistencia no se tiene en cuenta, por lo que solo se procede a calcular el valor de n que debe estar entre 1 y 2.

Una vez calculado estos parámetros se pasó a la prueba de iluminación, esta prueba se realizó para determinar el valor de I_L , y el valor de R_s , además se realizó la curva de corriente vs voltaje a condiciones ambientales reales, los datos se recolectaron a una radiación aproximada de 800 W/m², esto se debe a las constantes variaciones de la radiación. Para ello se empleó el siguiente esquema (ver figura 3).

Figura 3. Esquema de implementación para la prueba a radiación solar. [8]



Fuente: tomado de autor artículo.

Una vez implementado este circuito se tomaron los datos de corriente y voltaje, para ellos el panel se deja en el sol descubierto para que pueda generar energía y se varía la carga con la finalidad de obtener la mayor cantidad de datos posibles para poder realizar la curva de corriente vs voltaje.

La curva de corriente vs voltaje se adaptó de tal forma que diera similar a la de prueba en oscuridad para obtener las variables requeridas, se empleó el software Matlab, con el cual se calculó las diferentes variables presentes en la ecuación (1), para ello se utilizó el comando **curve fitting tool**, con esto obtuvimos las variables necesarias para calcular I_L y R_S .

Una vez obtenido los componentes del panel, se realizó el modelo circuital; después procedemos a analizar la eficiencia del panel, para ello se procedió con la irradiación emitida por el sol, luego se miró la radiación que llega a la tierra [9] para determinar el primer margen de pérdidas, luego se miró la radiación que le llegó directamente al panel, esta se multiplica por el área del panel para solo tener la energía que recibe el panel, después se procede esta energía con el porcentaje de pérdidas que presenta el panel a condiciones de operación como lo son la temperatura del panel, el cual según un estudio por cada 10°C de incremento en el panel este pierde 4% de su potencia (el panel estaba a una temperatura de 65°C) [10]; pérdidas por sombras, en las cuales se colocaron objetos para interferir con la luz y medir la pérdida de este; pérdidas por suciedad, estas no fueron precisas debido a que se limpió constantemente el panel; por último las pérdidas por cableado, aunque fue un porcentaje muy bajo debido a la poca longitud

de estos. Con estos resultados se les resta con la energía recibida por el panel para saber cuánta es la energía transmitida por el panel solar.

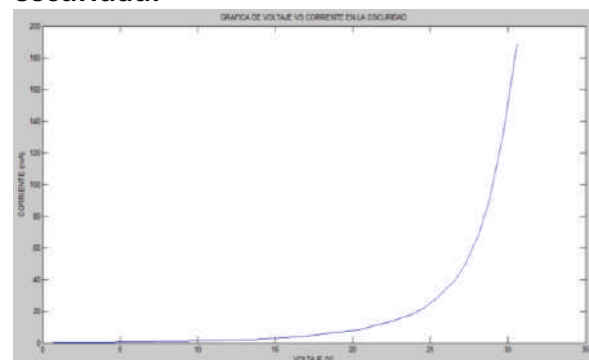
RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Prueba a oscuridad.

La curva obtenida en oscuridad es la siguiente (Ver figura 4):

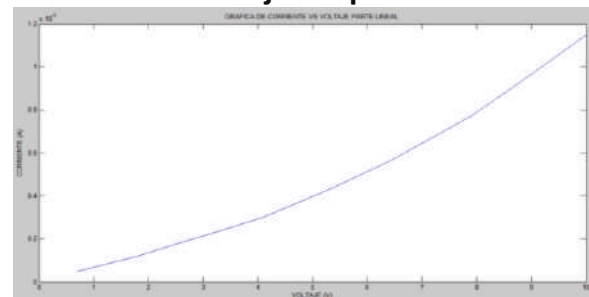
Figura 4. Curva de Corriente vs Voltaje en oscuridad.



Fuente: Autor

La parte recta de la gráfica para poder calcular R_{SH} y un valor aproximado de I_0 , se muestra en el figura 5:

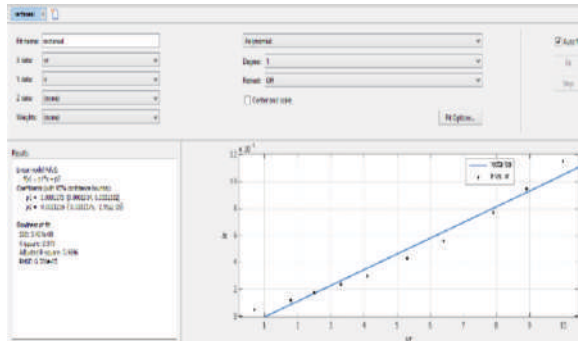
Figura 5. Parte recta de la curva de Corriente vs Voltaje del panel solar.



Fuente: Autor

Empleando el comando **curve fitting tool** se obtiene lo siguiente (Ver figura 6):

Figura 6. Obtención de parámetros de la línea recta con el comando *curve fitting tool*.



Fuente: Autor

La ecuación de la recta obtenida es:

$$I = 0.00011731V - 0.00012353 \quad (6)$$

Tomando como referencia la ecuación (3) y (4) las variables obtenidas son:

$$b = I_0$$

$$m = \frac{-1}{R_{SH}}$$

Al reemplazar se obtiene:

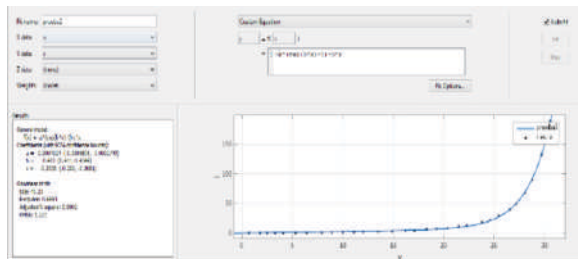
$$I_0 = -0.00012353 \text{ A}$$

$$0.00011731 \text{ V} = \frac{-1}{R_{SH}}$$

$$R_{SH} = \frac{-1}{0.00011731} = -8524.42 \Omega$$

Los datos obtenidos con Matlab respecto a la ecuación general en oscuridad es la siguiente:

Figura 7. Utilización del comando *curve fitting tool* para calcular las variables a oscuridad.



Fuente: Autor

Los parámetros obtenidos son los siguientes:

$$a = -0.0004324$$

$$b = 0.423$$

$$c = -0.2536$$

El valor de a nos representa el valor de I_0 , se emplea este debido a que el otro no ofrece un porcentaje aceptable de aceptación.

$$I_0 = 0.0004324 \text{ mA}$$

Con el valor de b se calculó n, el valor dado es:

$$b = \frac{q(V + IR_S)}{n \times n_s \times k \times T} \quad (7)$$

$$0.423 = \frac{q(V + IR_S)}{n \times n_s \times k \times T}$$

$$0.423 = \frac{q(V + IR_S)}{n \times n_s \times k \times T}$$

$$n = \frac{q(V + IR_S)}{0.423 \times n_s \times k \times T}$$

$$n = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}}{0.423 \times 60 \times 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/eV} \times (25 + 273)^\circ \text{K}} = 1.5348$$

Este valor da entre 1 y 2, por lo tanto cumple con los requerimientos establecidos.

Figura 8. Prueba realizada en oscuridad.

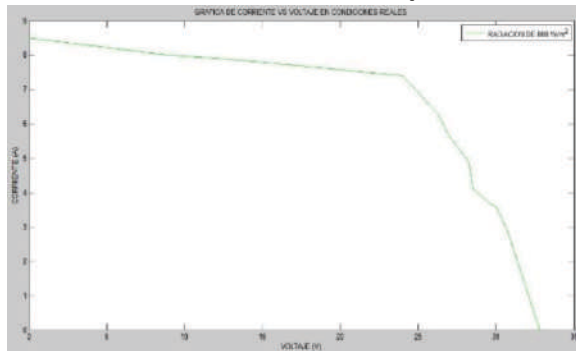


Fuente: Autor

- Prueba a sol.

La curva obtenida experimentalmente es:

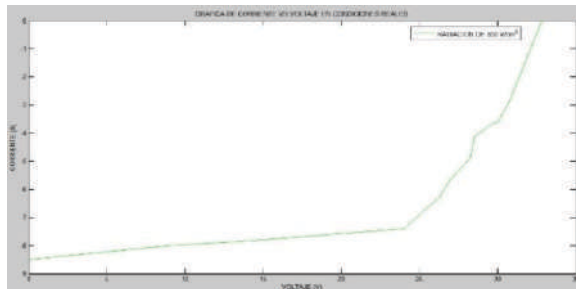
Figura 9. Curva de Corriente vs Voltaje a una radiación solar de 800 w/m².



Fuente: Autor

Adaptando la curva a la dada en oscuridad se obtiene:

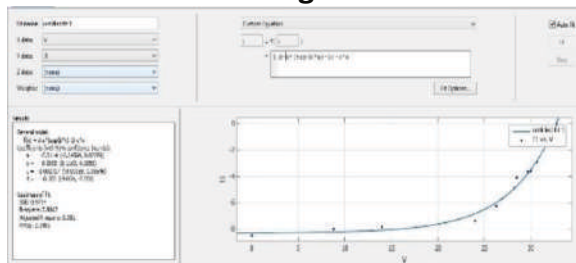
Figura 10. Curva obtenida adaptada a la dada en oscuridad.



Fuente: Autor

Al emplear el comando curve fitting tool obtenemos los siguientes resultados:

Figura 11. Obtención de parámetros con el comando curve fitting tool.



Fuente: Autor

- a= -0.0114
- b= 0.2009
- c= -0.002727
- d= -8.305

Cálculos de I_L y R_S :

$$I_L = 8.305 \text{ A (8)}$$

$$c = - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \text{ (9)}$$

Para poder calcular R_S calculamos los valores medios de corriente y voltaje, los cuales dan:
 $V=23.3325$

$I= -5.2333$

Al despejar y reemplazar los valores, la ecuación queda:

$$R_S = \frac{(0.002727 \times 8524.42\Omega) - 23.3325}{-5.2333} = 16.51 \text{ m}\Omega$$

$R_S= 16.51 \text{ m}\Omega$.

Figura 12. Prueba realizada en radiación solar.



Fuente: Autor

Radiación emitida del sol:

$$R_{\text{Solar}} = 63'450.720 \text{ W/m}^2.$$

Esa es la radiación emitida por el sol, pero la radiación que le llega a la tierra es de 1353 W/m² según la NASA [9], de esta radiación el panel solo recibió 800 W/m², lo cual se realizó los siguientes cálculos:

$$Pe1 = 63450720 \text{ W/m}^2 - 1353 \text{ W/m}^2$$

$$Pe1 = 63449367 \text{ W/m}^2$$

$$P_{at} = \frac{63449367 \times 100\%}{63450720} = 99.997\%$$

El anterior valor es la radiación que se pierde en la atmosfera, es decir 1353 W/m² equivalen al 0.003 % de la radiación que llega a la tierra.

Ahora se determinó el porcentaje que recibe el panel.

$$P_{e2} = 63450720 \text{ W/m}^2 - 800 \text{ W/m}^2$$
$$P_{e1} = 63449920 \text{ W/m}^2$$

$$P_{p\alpha} = \frac{63449920 \times 100\%}{63450720} = 99.9987\%$$

Es decir, de toda la radiación emitida por el sol, solo el 0.0013 % se recibió en el panel.

Se calculó el área del panel [2]:

$$A_p = 1.650 \text{ m} \times 0.990 \text{ m} = 1.6335 \text{ m}^2.$$

Se determinó la energía que recibió el panel, para ello se multiplicó la radiación por el área.

$$E_p = 800 \text{ W/m}^2 \times 1.6335 \text{ m}^2 = 1306.8 \text{ W}$$

Como el panel estaba a una temperatura de 65°C, eso indica que perdió un porcentaje de 26% de energía, por lo tanto la energía que perdió el panel fue:

$$P_{T1} = \frac{26\% \times 1306.8 \text{ W}}{100\%} = 339.768 \text{ W}$$

Las pérdidas por sombras fueron del 3%, las cuales nos dieron:

$$P_T = \frac{3\% \times 1306.8 \text{ W}}{100\%} = 39.204 \text{ W}$$

Las pérdidas por suciedad fueron del 0.3 %.

$$P_T = \frac{0.3\% \times 1306.8 \text{ W}}{100\%} = 3.9204 \text{ W}$$

Las pérdidas por conexiones, debido a que el cableado era de 0.5 metros, dieron bajas, del 0.1 %, el cual nos dio:

$$P_{T2} = \frac{0.1\% \times 1306.8 \text{ W}}{100\%} = 1.3068 \text{ W}$$

La energía disponible para el panel fue:

$$E_d = 1306.8 \text{ W} - 339.768 \text{ W} - 39.204 \text{ W} - 3.9204 \text{ W} - 1.3068 \text{ W} = 922.6008 \text{ W}$$

DISCUSIONES.

En la parte de caracterización del panel los resultados dieron de forma similar a los obtenidos en un estudio anteriormente realizado [11]. La curva a radiación solar no da de manera uniforme debido a las variaciones

climáticas, por lo que se sugiere realizar aproximaciones. Por último cabe resaltar que en los factores de pérdidas, la temperatura del panel es el más influyente de todos, según esta investigación.

CONCLUSIONES

La prueba a oscuridad es muy importante debido a que nos permitió determinar el comportamiento interno del panel, como lo son los diodos que tiene de protección cada celda, saber su valor para comprobar si son ideales o tienen un valor diferente, además las resistencias características del panel, una es debida a las fugas de corriente R_{SH} y la otra debido a los contactos del panel R_S .

El valor de R_{SH} es mucho mayor que el valor R_S , por lo que este último se puede despreciar.

Se obtuvo la curva característica de corriente vs voltaje del panel a una radiación de 800 W/m^2 , no dio tan uniforme debido a la dificultad de tomar datos en estas condiciones

La variable que más genera pérdidas en el panel solar es la temperatura que adquiere este, debido a que disminuye la capacidad de los semiconductores en transportar energía.

A pesar que en esta investigación la pérdida por cableado dio un valor pequeño, en las instalaciones reales este valor debe tomarse muy en cuenta, debido a que la distancia del cableado es mucho mayor con la finalidad de evitar dañar los componentes debido al calor generado por el panel.

Es importante seleccionar muy bien la ubicación de los paneles con la finalidad de que le dé la menor cantidad de sombra posible, debido a que estos generan puntos calientes en el panel y pueden ocasionar el daño de una parte o totalidad del panel.

REFERENCIAS

- [1] Herrera Prat, G. (s.f.). Caracterización de minipaneles fotovoltaicos para aplicaciones inalámbricas. Cataluña, España.
- [2]<http://www.yinglisolar.com/al/products/multicrystalline/yge-60-cell-series/>
- [3]<http://www.apogeeinstruments.co.uk/pyranometer-sp-110/>
- [4]<http://www.resistorinchina.es/1-7-vitreous-enameled-resistor.html>
- [5]<http://www.fluke.com/fluke/mxes/Mult%C3%ADmetros-Digitales/Fluke-27-II-28-II.htm?PID=56056>
- [6]<http://www.cedesa.com.mx/gw-instek/fuentes-poder/dc-triples/GPS-3303/>
- [7] Wenham, S. R., Green, M. A., & Watt, M. E. (2007). *Applied Photovoltaics*. Londres: Earthscan.
- [8] Charles E. Bacus, "Solar Cells", IEEE Press, 1976.
- [9]https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar
- [10] Julio Fernández Ferichola. Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil (Trabajo de grado). Universidad Carlos III de Madrid, España. P: 23-24
- [11] Daniel Guasch Murillo. Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. España. P: 62.

Método de Estimación del Estado de Carga para Baterías en un Sistema Fotovoltaico Autónomo

LUIS FERNANDO BUSTOS MÁRQUEZ₁
SERGIO B. SEPÚLVEDA MORA₂
JHON JAIRO RAMIREZ MATEUS₃

Resumen

Los sistemas fotovoltaicos autónomos requieren la utilización de controladores de carga, que permitan extraer la máxima energía disponible del arreglo de paneles solares y cargar de forma óptima las baterías. La determinación del estado de carga (SOC) de la batería, es un reto enorme debido a que los factores ambientales y eléctricos, del sistema de carga, afectan la capacidad y el tiempo de vida útil de éstas. Por lo tanto, es necesario controlar la carga y descarga de las baterías, respetando los límites establecidos por los fabricantes, utilizando para ello la estimación del SOC.

En el desarrollo de esta investigación se diseñó el algoritmo de estimación de carga basada en intensidad, también llamada conteo de amperios-hora, integrada con el método de voltaje a circuito abierto, para baterías de ácido plomo. Utilizando para ello, un microcontrolador PIC16F887 de Microchip, un sensor de corriente ACS714ELC-20A de Allegro MicroSystems Inc, un sensor de voltaje basado en el amplificador operacional LM324N y una batería MA18-12, de la marca Magna.

Palabras claves:

Batería, Estado de carga, Microcontrolador, Sistema fotovoltaico autónomo.

1 Autor principal, adscrito al Grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada (GIDMA). Universidad Francisco de Paula Santander. Email: luis.f.b@ieee.org

2 MSc. Ingeniero adscrito al Departamento de Electricidad y Electrónica, director del proyecto y miembro del GIDMA. Universidad Francisco de Paula Santander. Email: sergio.sepulveda@ufps.edu.co.

3 Ingeniero adscrito al Departamento de Electricidad y Electrónica, director del GIDMA, colaborador del proyecto. Universidad Francisco de Paula Santander. Email: jhonjairorm@ufps.edu.co

INTRODUCCIÓN

La utilización de la energía solar fotovoltaica ha tomado un gran auge en las últimas décadas. Convirtiéndose en una de las fuentes de energía alternativa con mayor demanda en el mercado [1], [2].

Un sistema de energía solar fotovoltaica tiene la capacidad de convertir directamente la energía de radiación solar en energía eléctrica. Utilizando para ellos paneles y módulos solares cuya unidad fundamental son las celdas solares. Estas celdas utilizan el efecto fotovoltaico para generar potencia eléctrica [1], [2].

Los sistemas fotovoltaicos (FV) pueden clasificarse en: sistemas autónomos, sistemas conectados a la red y sistemas híbridos. Los sistemas autónomos, atienden los consumos durante el día y almacenan energía en baterías (o en otro sistema de almacenamiento) para atender la demanda energética durante la noche.

Dentro de los dispositivos que utiliza un sistema autónomo, el controlador de carga es el encargado de regular la carga y descarga óptima de la batería. Sin embargo, las condiciones de operación, como: temperatura y radiación, varían de forma drástica en relación a las recomendadas por los fabricantes. Por esta razón, se hace necesario que el controlador sea capaz de cargar y descargar la batería de forma óptima, respetando los límites establecidos por los fabricantes, utilizando para ello el estado de carga (SOC) [3].

En el desarrollo de esta investigación se diseñó el algoritmo de estimación de carga basado en intensidad, denominado conteo de amperios-hora integrado con el método de voltaje a circuito abierto, para baterías de ácido plomo.

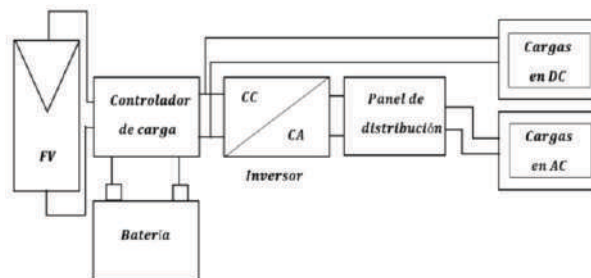
SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Los sistemas autónomos surgen, principalmente, como una respuesta a las necesidades de energización eléctrica para

lugares aislados, por ejemplo, zonas rurales; en los cuales es más costoso llevar la red eléctrica hacia la vivienda. Estos sistemas presentan diversos parámetros bajo los cuales se puede evaluar su comportamiento, entre los que se encuentran: la autonomía, el rendimiento global del sistema y la potencia máxima de salida (tensión nominal y corriente nominal) [4].

En la figura 1, se observa el esquema de un sistema fotovoltaico autónomo. En este caso el controlador se encarga de regular la carga y descarga de la batería, estando conectado a su salida el inversor y dando paso a la distribución de energía para las cargas conectadas

Figura 1. Sistema fotovoltaico autónomo



Fuente: Autor

El rendimiento global del sistema dependerá de la profundidad de descarga y el coeficiente de auto-descarga de las baterías. Uno de los principales retos es el dimensionamiento y la selección de los equipos a utilizar [5].

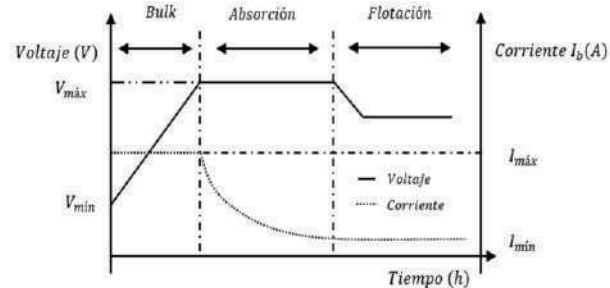
Controlador de carga.

El controlador de carga es un dispositivo electrónico de potencia, que permite controlar la transmisión de energía y monitorizar el almacenamiento de ésta, así como su distribución; para ello debe supervisar la producción de energía y la demanda de la carga. Su finalidad es controlar la carga y descarga de la batería, respetando los límites establecidos por el fabricante.

En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de controladores de carga. Entre estos, dos tipos sobresalen: los controladores de modulación de ancho de pulso (PWM) y los controladores de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT) [6]–[8].

Con base en la tecnología de las baterías, cada una de ellas presenta diferentes procedimientos y fases de carga, una de las más estudiadas y conocidas es el proceso de carga de las baterías de plomo ácido que se realiza en tres fases. En la figura 2, se observa el algoritmo de carga de tres fases. Ésta está comprendida por la fase bulk en la cual se inyecta una corriente constante y el voltaje en la batería aumenta de forma constante hasta llegar a la tensión de absorción [9].

Figura 2. Algoritmo de carga en 3 fases.



Fuente: Autor

En la fase de absorción, la tensión de la batería se mantiene constante mientras que la corriente decae exponencialmente hasta que sea aproximadamente el 5% de la corriente inicial de carga. Cuando esto ocurre, inicia la fase de flotación, en la cual la tensión de la batería disminuye y se mantiene constante en este valor. La tensión de flotación está determinada por el fabricante. En esta fase se envían pulsos de corriente cortos para lograr que la batería termine de cargar.

Baterías.

Las baterías de plomo ácido son las más antiguas y la tecnología más madura disponible, entre las baterías recargables. Además de ser las más extensamente utilizadas para sistemas fotovoltaicos. Aunque presentan un valor bajo de densidad de energía, densidad de potencia y de ciclos de vida, terminan siendo las más confiables debido al gran tiempo que llevan siendo investigadas, lo que reduce su costo [2].

- **Capacidad:** La capacidad de una batería se define como la cantidad de carga que la batería puede suministrar operando a tensión nominal. Ésta es directamente proporcional a

la cantidad de material activo en los electrodos de la batería, lo cual implica que está ligado a las dimensiones de la misma. Lo que significa que a menor tamaño, será menor la capacidad de la batería [2].

- **Estado de carga y Profundidad de descarga:** El estado de carga (*State of charge, SOC*) de la batería se define como el porcentaje de la capacidad de la batería disponible para ser descargada. Es decir, la energía disponible en la batería que puede utilizarse [2].

La profundidad de descarga (*Deep of Discharge, DOD*) es la capacidad de la batería que ha sido descargada. Por lo tanto, la profundidad de descarga y el estado de carga son complementarios, y el valor de su suma debe ser igual al 100%.

- **Ciclo de vida:** El ciclo de vida de una batería se define como el número de ciclos de carga y descarga después del cual la capacidad de la batería cae por debajo del 80% del valor nominal. Definir el ciclo de vida como un solo valor es una generalización poco ajustada a la realidad.

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL ESTADO DE CARGA.

La estimación del estado de carga es uno de los principales retos para cualquier sistema de carga para baterías y es de suma importancia para los controladores de carga debido a que permiten aumentar la expectativa de vida de las baterías.

A continuación, se mencionan los principales métodos de estimación del estado de carga para baterías.

Medición de la gravedad específica.

Éste método se basa en la medición de la densidad relativa del electrolito, lo que hace necesario tener acceso al interior de la batería. La relación entre la densidad del agua y la de una sustancia electrolítica desciende linealmente con la descarga de la celda de batería. Aunque se trata de un método bastante preciso, no es capaz de determinar la capacidad total de la batería. Además, solo puede utilizarse con baterías de

plomo ácido con válvula regulada (*Valve Regulated Lead Acid, VRLA*). Por ejemplo, para baterías selladas o de gel, este método no se puede aplicar.

Medición de impedancia interna.

La composición de los reactivos químicos al interior de la batería cambia con los ciclos de carga y descarga haciendo que la impedancia interna varíe. Este parámetro es un indicativo del SOC pero su medida es bastante difícil durante el funcionamiento real de una batería, además tiene una gran dependencia de la temperatura.

Estimación basada en voltaje.

Este método utiliza la relación directa entre el voltaje actual de la batería y la capacidad disponible de la misma. Termina siendo un método poco preciso debido al comportamiento no lineal de muchos tipos de baterías con respecto al voltaje. Por ejemplo, las baterías de ion Litio. Estas características hacen que de la medida basada en voltaje un buen método para estimar fases de carga y de descarga inminente pero no para valores intermedios.

Estimación basada en corriente.

Este método también llamado: *Conteo de Coulombs* o *Conteo de amperios-hora*, consiste en realizar un balance entre el número de amperios-hora que se suministra a la batería y compararlos contra el número de amperios-hora que son extraídos de la misma. Con la finalidad de ajustar con más precisión se debe medir el voltaje y la temperatura.

Lo anteriormente descrito, es lo mismo que la integración del área bajo la curva de la intensidad para calcular el SOC. Para ello se toman muestras de corriente cada cierto tiempo Δt , multiplicando el valor obtenido por el intervalo de muestreo. La corriente será positiva si se dirige hacia la batería y negativa si es extraída de ésta.

$$Q_i = I_i \cdot \Delta t$$

Eq. (1)

Donde:

- I_i : corriente de la muestra i-ésima (A).

- Δt : intervalo de tiempo para muestreo (s).

- Q_i : carga suministrada o extraída de la batería (C) para la muestra i-ésima.

Por lo cual, la carga de la batería amperios-hora (Ah) en el tiempo, puede expresarse como:

$$Q_n = \frac{1h}{3600 s} \sum_{i=0}^n I_i \cdot \Delta t$$

Eq. (2)

Donde:

- Q_n : es la carga en amperios-hora (Ah) después de n muestras.

De esta manera cuando la suma de las muestras equivale al 1% de la capacidad total de la batería, se incrementa o decrementa el SOC en un grado porcentual. Esto depende de si la suma ha sido positiva o negativa.

$$Q(\%) = \frac{Q_n}{Q} \cdot 100$$

Eq. (3)

Donde:

- $Q(\%)$: porcentaje de carga suministrada o extraída de la batería (%).

- Q : es la capacidad de la batería (Ah).

Así, el SOC de la batería estará determinado como la suma de la carga inicial de la batería y la carga suministrada o extraída de la misma

$$SOC = Q_o(\%) + Q(\%)$$

Eq. (4)

Donde:

- SOC : estado de carga de la batería.

- $Q_o(\%)$: estado de carga inicial.

Uno de los principales inconvenientes de éste método es que el algoritmo no es capaz de determinar, por sí mismo, el SOC inicial de la batería. Por lo cual, debe integrar el método de tensión de circuito abierto, para poder estimar el porcentaje de carga inicial.

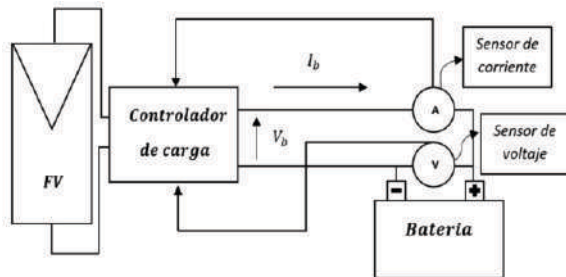
La integración de estos dos métodos ayuda a evitar la sobrecarga y sobre-descarga debido a que permite establecer las tensiones límite dictadas por los fabricantes.

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En el marco de esta investigación, se desarrolló el algoritmo de estimación de carga basado en

intensidad integrado con el método de tensión a circuito abierto. Para ello se utilizó, un microcontrolador PIC16F887 de Microchip, un sensor de corriente ACS714ELC-20A de Allegro MicroSystems Inc, un sensor de voltaje basado en el amplificador operacional LM324N y una batería MA18-12, de la marca Magna. El esquema de la figura 3, muestra la integración del algoritmo dentro del sistema fotovoltaico autónomo.

Figura 3. Esquema de conexión para el método de estimación del estado de carga



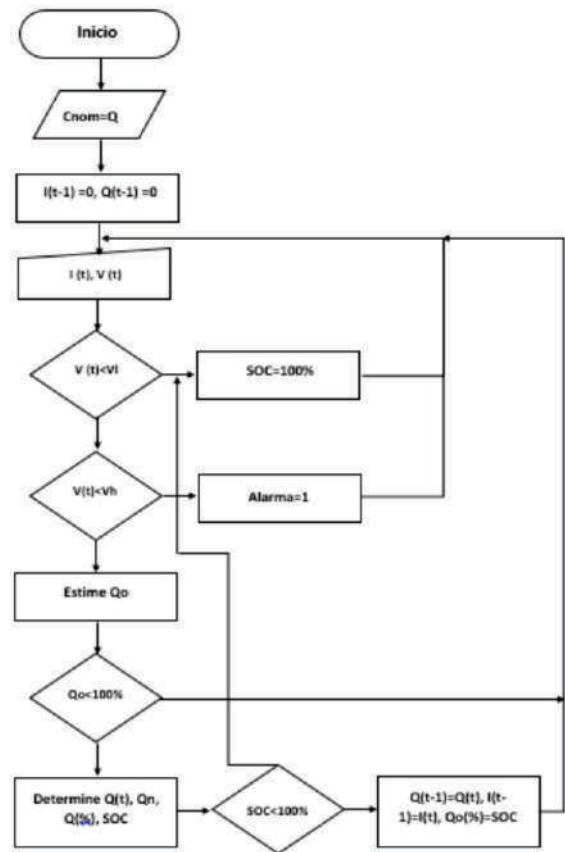
Fuente: Autor

En este esquema la corriente de entrada al controlador es la generada por el panel solar. Mientras que la corriente de salida del mismo, dependerá de la fase de carga en la que se encuentra la batería.

Algoritmo de estimación de carga

El algoritmo del método de estimación propuesto, se muestra en la figura 4. En primer lugar, el algoritmo es capaz de determinar el estado de carga de la batería con base en la tensión a circuito abierto de la batería, estableciendo así el valor de Q_0 . Luego, procede a medir la corriente que fluye hacia la batería o desde ésta y la tensión a circuito abierto.

Figura 4. Diagrama de Flujo del método de estimación de carga.



Fuente: Autor

Comparando el valor de tensión de entrada con los valores de subcarga y sobrecarga, se decide si se enciende una alarma, que puede ser un led o si se estima que la tensión es del 100%. Acto seguido, el algoritmo compara el valor de Q_0 para saber si inicialmente la batería está cargada por completo, de lo contrario determinará el valor de $Q(t)$, Q_n y $Q(\%)$ para proceder a calcular el valor del SOC de la batería. Finalmente, pregunta si el estado de carga llegó al 100%; si es verdadero se reinicia el algoritmo hasta la lectura de tensión y corriente, sino, carga los valores calculados como muestras anteriores y el algoritmo empieza de nuevo.

Sensores

- Sensor de corriente

Para calcular la corriente que envía el sensor de corriente basado en efecto Hall ACS714ELC-20A, el cual da una salida proporcional de voltaje de 0 a 5 V con respecto a la corriente medida, la cual puede ser positiva o negativa,

según la ecuación descrita por Allegro Microsystems:

$$V_O = \left(100 \frac{mV}{A}\right) \cdot I_p + 2,5 V \quad \text{Eq. (5)}$$

Donde:

- I_p : corriente de la batería (A)

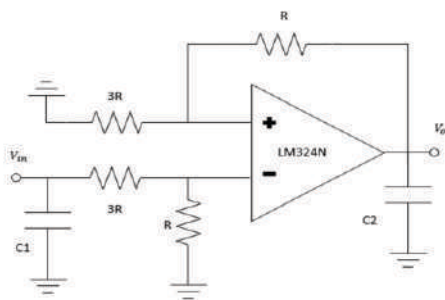
- V_O : tensión de salida del sensor (V).

Internamente el algoritmo traduce la lectura del puerto analógico del PIC16F887, despejando de la ecuación 5 el valor de I_p .

- Sensor de voltaje.

El sensor de tensión está basado en el amplificador operacional LM324N el cual consta de 4 amplificadores operacionales. Además, éste puede ser polarizado con una sola fuente. La figura 5, muestra el diagrama de conexiones del amplificador operacional, utilizado como sensor de tensión. La configuración mostrada tiene ganancia de 1/3, esto se realiza basado en que la tensión máxima de entrada será 15V, la cual es mayor que la tensión de sobre carga.

Figura 5. Sensor de voltaje.



Fuente: Autor

El capacitor C1 sirve para muestrear la señal de entrada de la batería. Mientras que el capacitor C2 sirve para adecuar la señal de salida hacia el microcontrolador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los sistemas fotovoltaicos autónomos cargar la batería de forma adecuada es un gran reto. El método propuesto se adapta a

las necesidades del sistema. Sin embargo, para mejorar su funcionamiento se debe medir la temperatura de la batería.

La velocidad de respuesta del controlador dependerá del tiempo de muestreo, aunque en este documento no se describió, algunos autores sugieren este tiempo en aproximadamente 5 segundos.

Debido a que el sensor utilizado es de efecto Hall, éste invade parte del circuito, por lo que se recomienda utilizar sensores no invasivos ferromagnéticos, los que además son menos costosos.

Este documento hace parte de la investigación correspondiente a un sistema fotovoltaico con controlador de carga, por lo cual los operacionales dentro del LM324N, se usan para otras funciones.

REFERENCIAS

- [1] V. Salas, E. Olías, A. Barrado, and A. Lázaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 90, no. 11, pp. 1555–1578, 2006.
- [2] P. Alotto, M. Guarnieri, and F. Moro, "Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, no. JANUARY, pp. 325–335, 2014.
- [3] M. N. I. Khan, M. Z. Khan, D. F. Noor, A. Nahiyan, M. E. Haque, S. S. Saha, M. R. K. Rachi, and M. Z. R. Khan, "Modelling and simulation of an efficient Charge Controller for Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking," *2014 3rd Int. Conf. Dev. Renew. Energy Technol.*, pp. 1–5, 2014.
- [4] M. Dakkak and A. Hasan, "A Charge Controller Based on Microcontroller in Stand-Alone Photovoltaic Systems," *Energy Procedia*, vol. 19, no. February, pp. 87–90, 2012.
- [5] F. Locment, M. Sechilariu, and I. Houssamo, "DC load and batteries control limitations for photovoltaic

- systems. Experimental validation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 9, pp. 4030–4038, 2012.
- [6] D. Sera, L. Mathe, T. Kerekes, S. V. Spataru, and R. Teodorescu, "On the perturb-and-observe and incremental conductance mppt methods for PV systems," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 3, no. 3, pp. 1070–1078, 2013.
- [7] B. R. S. Reddy, P. B. Narayana, P. Jambholkar, and K. S. Reddy, "MPPT algorithm implementation for solar photovoltaic module using microcontroller," *2011 Annu. IEEE India Conf.*, no. 1, pp. 1–3, 2011.
- [8] J. Edwin, J. Fredy, and S. Ricardo, "Visión Electrónica Más que un estado sólido Seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) en paneles solares Maximum power point tracking (MPPT) in solar panels," vol. 8, no. 2, pp. 49–53, 2014.
- [9] R. Dufo-López, J. S. Artal-Sevil, J. A. Domínguez-Navarro, and J. L. Bernal-Agustín, "Effect of the MPPT and SOC Control of the Charge Controller in PV System," *18th Eur. Conf. Power Electron. Appl.*, 2015.

Diseño de una Red Neuronal para la Estimación de Datos Faltantes de Radiación Global en Registros de Series Históricas

FRANKLIN MEER GARCÍA ACEVEDO ¹

Resumen

En el presente trabajo se muestra la aplicación de un algoritmo inteligente artificial como lo son las redes neuronales artificiales (ANN) para la estimación de datos faltantes de radiación global en un registro histórico. Los datos para la investigación se obtuvieron de la estación meteorológica Groweatherlink de Davis Instrument, adscrita al departamento de fluidos y térmicas de la universidad francisco de Paula Santander. Como objeto de entrenamiento, se analizaron 66.248 datos en las dos variables para el proceso de diseño de las 12 redes neuronales. En primera instancia se realizó solo el proceso de entrenamiento y determinación de cada red neuronal artificial, luego, usando la mejor estructura de red entrenada se simularon para validar cada red con los datos previamente conocidos. Se trabajó con una topología de red backpropagation y entrenamiento trainbr usando el software MATLAB.

Palabras claves:

Estimación, radiación global, red neuronal, registros históricos.

¹ Ingeniería Electromecánica. Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta. Email: franklinmeerga@ufps.edu.co

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años se ha venido demostrando los efectos negativos y destructivos que producen la utilización de fuentes de energía convencionales (petróleo, gas natural y carbón) que degradan cada vez más con paso del tiempo la capa de ozono y las fuentes hídricas presentes. En la actualidad la demanda mundial energética se abastece de un 94% de este tipo de fuentes de hidrocarburos [1]. Las energías renovables surgen como sustitutos opcionales de las fuentes energéticas contaminantes. Dentro de las EERR se encuentra la energía solar, la cual ha cobrado fuerza en la última década. Alemania se ha proyectado y alcanzado el liderazgo en cuanto a la utilización de esta gran fuente energética [2].

El aprovechamiento de la energía solar está directamente relacionado a la cantidad de intensidad de radiación solar incidente sobre un área determinada, por lo que se hace necesario contar con registros históricos de radiación solar que permitan realizar diseños de equipos que necesiten la radiación solar presente en el área de trabajo [3].

Comúnmente cuando se desea trabajar con registros históricos de radiación global solar, se presenta el problema que normalmente están parcialmente incompletos. Existen varios métodos que permiten estimar la radiación global faltante. Dentro de los métodos tradicionales se encuentra el modelo matemático angstrom que relaciona la radiación extraterrestre, series de Fourier basándose en datos de precipitación diaria [4] y modelos computacionales como el auto regresivo de media móvil (ARIMA).

Las redes neuronales desde su descubrimiento se han convertido en una herramienta de alto poder en cuanto a estimación de datos se trata. La gran ventaja que las redes neuronales tienen frente a los otros métodos es que trabajan como un aproximador universal de funciones.

El objetivo del presente trabajo fue realizar un proceso de estimación de radiación global a través de un modelo de red neuronal multicapa backpropagation tomando como base la radiación solar diaria medida en la estación meteorológica

ubicada en la universidad francisco de paula Santander de la ciudad san José de Cúcuta.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó utilizando el software matlab y el ToolBox de redes neuronales para el entrenamiento y simulación.

Se realizó un modelo de red neuronal para cada mes del año que satisficiera el menor índice de error obtenido en cada proceso de entrenamiento.

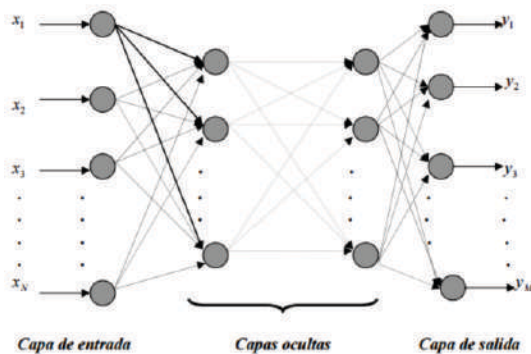
Base de datos climáticos y lugar de estudio

La base de datos de la serie histórica de radiación global en la cual se centró la investigación presente, fue siniestrada por la estación meteorológica Groweatherlink de Davis Instrument, adscrita al departamento de fluidos y térmicas ubicada en la UFPS (latitud 7°53'545"N longitud 72°29'166"W) de la ciudad de san José de Cúcuta. La estación meteorológica suministro datos de radiación diaria, con una naturaleza de muestra en el uso horario de 6AM a 6PM. De igual forma se presentaron los datos de energía y temperatura. Es necesario recordar que solo se trabajaron con estas 3 variables de la gran población de variables meteorológicas medidas por la estación [5].

SELECCIÓN DE LA RED NEURONAL

Desde que se descubrieron, las aplicaciones y usos que se han dado a las redes neuronales han ido avanzando y cada vez más se demuestra que son interdisciplinarias. Desde el sencillo perceptron de 1958 pasando por el reconocimiento de caracteres (hopfield), hasta aplicaciones más complicadas en la toma de decisiones y modelos de predicción [6]. La Figura 1, muestra estructura de una red neuronal.

Figura 1. Estructura de una red



Fuente: tomado de [10]

En la actualidad no existe un método definido y sistemático que pueda determinar con gran certeza qué tipo de red implementar con sus niveles de capas y cuantas neuronas deberán ir en cada capa. Por tal motivo la selección y determinación de las capas y número de neuronas se ha realizado de manera empírica y secuencialmente el proceso de entrenamiento hasta obtener los resultados más favorables en la estimación de la radiación.

El algoritmo backpropagation surge como un método alternativo para resolver las generalidades no alcanzadas por las redes multicapas. Este algoritmo propaga el error hacia atrás de la red, es decir, modifica los pesos de esa forma y por ende se clasifica dentro de una tipología de red supervisada [7].

La principal ventaja de la backpropagation es su capacidad genérica de mapeo de patrones. Es capaz de aprender gran variedad de relaciones de mapeo. Como resultado de estas características, la red backpropagation es capaz de participar con gran éxito en una gran gama de aplicaciones, entre ellas la estimación [8].

Por tal motivo se ha seleccionado el algoritmo backpropagation para el proceso de estimación de la radiación global faltante de la serie histórica de la estación meteorológica de la UFPS (Universidad Francisco de Paula Santander).

Función de entrenamiento

Tomando en cuenta los referentes [9] donde se recomienda usar el entrenamiento de regulación

bayesiana de la backpropagation, ya que este tipo de entrenamiento actualiza los pesos y los bias acorde con la optimización de levenberg-marquardt, lo que hace que la red generalice lo más correctamente posible.

Para que este método de entrenamiento sea operable las funciones de núcleo de cada neurona deben ser continuas y derivables, es decir funciones sigmoideas en sus niveles de capas ocultas.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Se tomaron como variables de entrada a la red neuronal la energía y la temperatura. Como variable a estimar con la red neuronal; La radiación.

Las variables de energía y la temperatura estaban parcialmente incompletas en todos los años de muestreo, que van desde el 2001 al 2009. Como el objetivo principal es estimar la radiación global en base a las dos variables anteriormente mencionadas; fue necesario completar las variables de temperatura y energía promediando lo años completos y ocupar estas celdas con el valor promedio calculado. Para así de esta forma poder obtener un conjunto de variables de entrada completas. Como se seleccionó una tipología de red supervisada se requiere de una salida externa, en este caso, la misma radiación. Con el fin de poder compararla con la salida obtenida de la red neuronal y de esta forma modificar los pesos de la red basándose en el error producto de esta resta.

Fue necesario completar los datos de radiación faltante con el promedio de los años que estuviesen completos, con el fin de obtener con este método la salida externa que trabajara como agente supervisor.

En la figura 2, se observa una pequeña muestra de datos de radiación. Los datos de color azul son los promedios obtenidos con los datos (años) completos y los de color negro son los datos reales de radiación tomada para ese momento (día-año-mes).

Figura 2. Muestra de radiación completa y promediada

388
437,7143
468
403,2857
309,7143
185
113
0
0
0
0
54
94
382
500,8571
449
404,2857
374,2857
242,8571
93,85714
8
0

Fuente: autor

Para la fácil manipulación de los datos se realizó un script en el software matlab donde se importaron las hojas de cálculos de Excel de cada año.

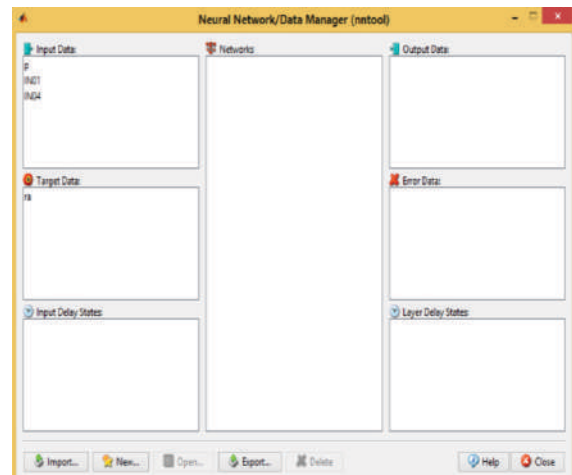
IMPLEMENTACION DE LA RED NEURONAL

Para la fase de experimentación y comprensión de como trabajaba una red neuronal se realizó un script en matlab de red con sus respectivas capas ocultas y neuronas, pero luego se determinó que era más cómodo y practico trabajar con el toolbox de matlab en redes neuronales, debido a que de lo contrario habría que realizar un script diferente para cada mes del año.

Fase de entrenamiento

El script realizado para la manipulación de datos de entrada y salida supervisada, generaba cada vector de variable para la fácil importación de cada una al toolbox de redes neuronales de matlab.se realizo un script para cada mes del año. La Figura 3, muestra las variables importadas y listas para su utilización en el toolbox.

Figura 3. Variables para entrenamiento de red.



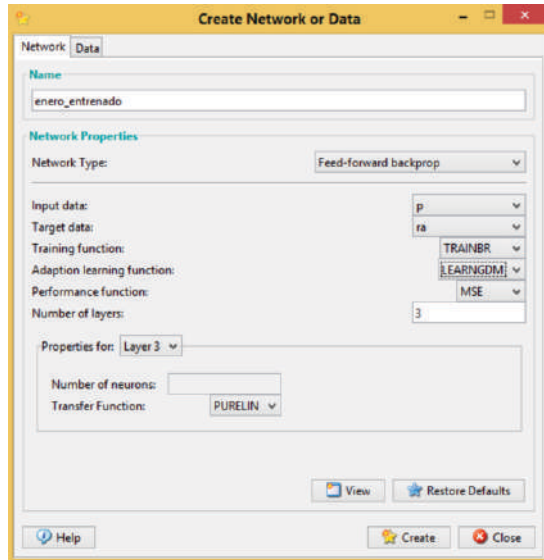
Fuente: autor

Diseño de red y parámetros de entrenamiento

Se seleccionó una tipología de red feed-forward-backpropagation, con función de entrenamiento trainbr, función de adaptación de aprendizaje learngdm (Gradient descent with momentum) y función de desempeño mse (mean squared error).

La cantidad de capas y neuronas por capa se consideraron de forma experimental y sistemática asta converger en la cantidad correcta tomando como base el error obtenido por simulación [11]. La Figura 4, muestra la selección descrita anteriormente. Cave precisar que los diseños de red para cada mes presentan las mismas características.

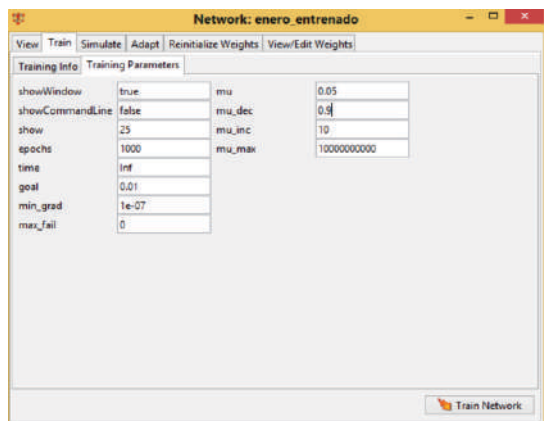
Figura 4. Diseño de la red neuronal



Fuente: autor

Para el diseño y selección de los parámetros de entrenamiento de red se tomó en cuenta las consideraciones hechas por el referente [11]. la tasa de aprendizaje que se selecciono fue de 0.1 para no presentarse el problema de quedar encerrado en un mínimo local y una tasa de momento cercana a 1. el objetivo alcanzar es de 0.01 por mes. La figura 5, muestra lo anteriormente mencionado.

Figura 5. Parámetros de entrenamiento

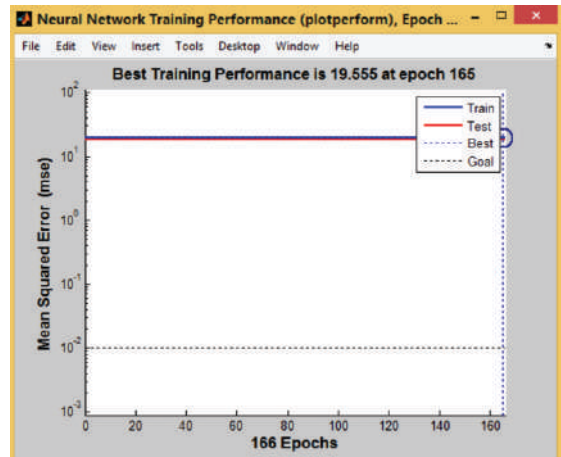


Fuente: autor

Como el proceso de entrenamiento por el método trainbr es muy lento y por limitaciones de equipo computacional solo se realizaron 4 entrenamientos máximos por mes. En ocasiones

las simulaciones se detenían cuando se observaba que se avía alcanzado un mejor desempeño que la anterior. La figura 6, muestra el mejor desempeño para el mes de enero.

Figura 6. Mejor desempeño. Mes de enero



Fuente: autor

Fase de simulación.

Con las redes neuronales de cada mes previamente entrenadas se procedió a simularlas para los meses en los cuales la radiación hacía falta y de esta forma poder estimar los datos faltantes. Cada mes contiene su propia simulación.

RESULTADOS

Al concluir el proceso de simulación se procedió a ingresar los datos estimados de radiación para cada mes. La figura 7, muestra los datos estimados y los datos reales de radiación la cual procede de los datos de la estación meteorológica.

Figura 7. Radiación estimada. Mes enero

ESTIMADO _ENERO_ 01	REALES Y HUECOS ENERO_01	ESTIMADO _ENERO_ 04	REALES Y HUECOS ENERO_0
0,40133	0	0,636463	0
26,05822	26,14286	56,83131	57
152,0548	151,4286	97,80571	97
275,2499	275,5714	254,198	254
441,8054	440	605,7945	610
497,6069	498,4286	647,0953	643
436,3621	431,1429	744,5935	814
470,0172	466,5714	741,9881	822
492,9567	493,1429	519,3015	534
364,91	366,1429	497,5578	497
211,1027	211,1429	238,6147	228
95,64523	95,57143	131,8842	129
9,463168	9,285714	71,41131	72
0,318931	0	0,526689	0

Fuente: autor

Se observa que la radiación estimada del mes de enero del año 2001 tiende al valor promedio (valores en azul). Los datos en azul que son cero son la radiación a las 6AM. Se puede determinar que cada valor de radiación estimado que tiende a cero (cada 12 datos en la tabla) realmente es cero. La radiación estimada del mes de enero del 2004 tiende a los valores reales de radiación medidos ese día de muestra (valor conocido). De esta forma se puede demostrar que la red está estimando con gran confianza la radiación global que ya se conocía. Con estas comparaciones se valida el modelo de red neuronal diseñado para cada mes.

CONCLUSIONES Y RECOMETADIONES

El uso de redes neuronales para procesos de estimación de datos faltantes de radiación global se convierte en una estrategia de alto poder y de muy fácil uso gracias a los diversos programas computacionales que brindan esta herramienta, además el fácil uso del toolbox de redes neuronales de MatLab hace más sencillo el proceso de aprendizaje y de destreza a la hora de querer trabajar con tan novedosa herramienta para predicción, por tal motivo se pudo determinar que a la hora de tener que trabajar

con alguna estructura de red neuronal se debe tener en cuenta las ventajas que presenta el trabajar con programas computacionales que tengan esta herramienta ya que reducen tiempo y muchos procesos de escritura de códigos.

Se determinó que no se debe exagerar en el número de capas ocultas y de neuronas pensando que de esta forma se reducirá el error en la salida de la red. Se debe llevar un proceso sistemático de incremento del número de capas y de neuronas empezando desde un número pequeño hasta obtener el resultado más favorable.

Se determinó que el mes que más alto obtuvo el error de predicción fue el mes de septiembre y esto se debió a la gran cantidad de años incompletos. Por tal motivo se llega a la conclusión que entre más porcentaje de años incompletos más alto será el error producido en la estimación y esto se debe a la poca información para el proceso de entrenamiento.

REFERENCIAS

- [1]. Foro sobre energía nuclear. Tomado de: <http://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear/faqas-sobre-energia/capitulo-1>
- [2]. energía solar. País que más usa energía Solar. Tomado de: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2012/07/11/los-10-paises-mas-usan-energia-solar/>
- [3]. Estimación de la radiacion. Tomado de: <http://www.bvsde.paho.org/tecpro/documentos/miscela/iestimacionradiacion.pdf>
- [4]. Radiación global diaria estimada con métodos convencionales y redes neuronales artificiales en el distrito de riego 075.
- [5]. Estación meteorológica. Anuario. Universidad Francisco de Paula Santander.
- [6]. Sistema para la predicción de posición y seguimiento de un conjunto de náufragos basado en redes neuronales

- [7]. Análisis multivariable y sus aplicaciones. Parte 5 inteligencia artificial backpropagation.gerardo colmenares.
- [8]. Redes neuronales y sus aplicaciones. Tomado de:
http://www.ciberesquina.una.edu.ve:8080/2014_2/350_E.pdf
- [9]. Perceptron multicapa. Capítulo 3. Tomado de:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mejia_s_ja/capitulo3.pdf
- [10]. Tema 5. Modelos computacionales. Tomado de:
http://www.lcc.uma.es/~munozp/documentos/modelos_computacionales/temas/Tema5MC-05.pdf
- [11]. Predicción de comportamientos a través de redes neuronales en matlab

Diseño y Construcción de un Sistema de Refrigeración por Adsorción Asistido Atraves de un Colector Solar Experimental.

JAIRO JOSÉ SILVA VILLAMIZAR¹
FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCIA²

Resumen

Este trabajo presenta la primera fase del diseño y construcción de un sistema de refrigeración asistido por adsorción física empleando un colector solar experimental. Con este desarrollo se nos permitirá a futuro la complementación de estudios experimentales en relación a la caracterización y comportamiento de este tipo de sistema de refrigeración. Este sistema estará completamente desconectado de la red de distribución eléctrica; la fuente de energía a emplearse para su funcionamiento es la radiación del sol; también se contemplará el proceso de cálculo y elaboración de los intercambiadores condensador y del evaporador del sistema según los conceptos teóricos que permiten una comprensión clara del fenómeno y como es la tendencia de estudio de este mismo. Se exponen los diferentes tipos de colector y el colector seleccionado para este proyecto, el cual es un colector plano de tubos de cobre que trabajará con carbón activado como su adsorbato y se emplea metanol como adsorbente. En los cálculos se especifica la cantidad de radiación disponible en la ciudad de Cúcuta bien sea por modelado matemático y por fuentes de datos disponibles en la NASA y en el Atlas de Radiación Solar de Colombia, resultando los datos del Atlas y el modelo matemático cercanos. Se determinó la cantidad de metanol y de carbón activado a utilizar para el objetivo final de prueba que es congelar 3 kg de agua, a partir del aprovechamiento de la energía solar necesaria para la transformación en este proceso.

Palabras claves:

Adsorción, Carbón Activado, Colector Solar, Metanol, Refrigeración.

1 Ingeniería Electromecánica. Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta. Email: ingjairojsilvav@gmail.com

2 Ingeniería Electrónico. Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta. Email: femgarcia@ufps.edu.co

INTRODUCCIÓN

En nuestras comunidades las voces que piden cuidar nuestro ambiente ya se han escuchado y sumados a estas voces los cambios radicales en nuestros ecosistemas, a ver lo alteradas que se encuentran las condiciones climáticas, los hábitos de consumo están cambiando. Y las empresas han comenzado a interesarse en la investigación y desarrollo de tecnologías que aprovechen los recursos renovables y que no generen emisiones contaminantes de carbono u otros agentes contaminantes, un reflejo de estos cambios son los refrigeradores, ya no usan gases clorurofluocarbonados, otro gran problema en nuestra región, es que muchos caseríos no disponen de una buena conexión a la red de distribución eléctrica como acontece en África [2], [10], [7], [11]. Lo que también se convierte en un problema de salud pública pues no tienen capacidad de refrigerar ciertos alimentos y medicinas. En continentes como África se han realizado estudios de este proceso aprovechando la luz solar. Con diferentes pares de adsorbente y adsorbato [5] [11]. El objetivo principal de este proyecto es estudiar este proceso de refrigeración que aprovecha las propiedades adsorptivas de ciertas sustancias y también aprovecha un recurso renovable y presente en nuestro territorio nacional como lo es el sol.

TIPOS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

En los estudios de energías renovables aplicados a procesos de refrigeración se encuentran varios procesos que se aplican a diferentes consumos y con diferentes tipos de fuentes de energía; en la figura 1, observamos cómo se clasifican los diferentes sistemas de refrigeración basados en energía solar ya sea fotovoltaica o de transferencia de calor.

Cabe recalcar la diferencia que existe entre absorción y adsorción. La absorción es el proceso

en el cual una sustancia es introducida en la estructura de otra como lo hacen las esponjas al absorber líquidos mientras que el proceso de adsorción es el que las partículas por fuerzas de atracción se adhieren a la superficie de otra sustancia sin introducirse en la estructura de esta última.

CICLO REFRIGERACIÓN POR ADSORCIÓN

La refrigeración por adsorción es un proceso que aprovecha las propiedades de ciertas sustancias de adsorber y retener dentro de su estructura morfológica a moléculas de otras sustancias.

La generación de frío por adsorción es el segundo gran sistema de refrigeración, en importancia industrial. Se basa en la generación de frío a partir de un consumo de calor, aportando por un fluido a una temperatura dada (para rendimientos aceptables en industria la temperatura mínima es de 90°C). [11]

El proceso de refrigeración por adsorción sigue los principios de los ciclos cerrados de transferencia de calor y masa. Existen dos tipos de procesos de adsorción, dependiendo de la naturaleza de las fuerzas de adsorción presentes en el proceso, la fisisorción (adsorción física) y la quimisorción (adsorción química).

En la figura 2 se muestra los componentes de un sistema de refrigeración por adsorción solar que consiste en el colector solar, un condensador el evaporador y tanque de refrigeración, que pueden estar en la misma cámara. Y las válvulas para controlar el proceso.

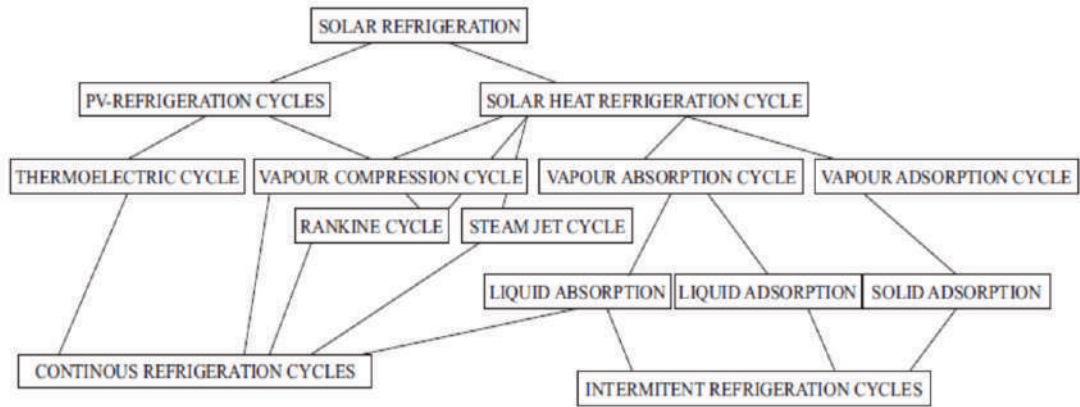


FIGURA 1 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE REFRIGERACIÓN SOLAR . FUENTE: [10]

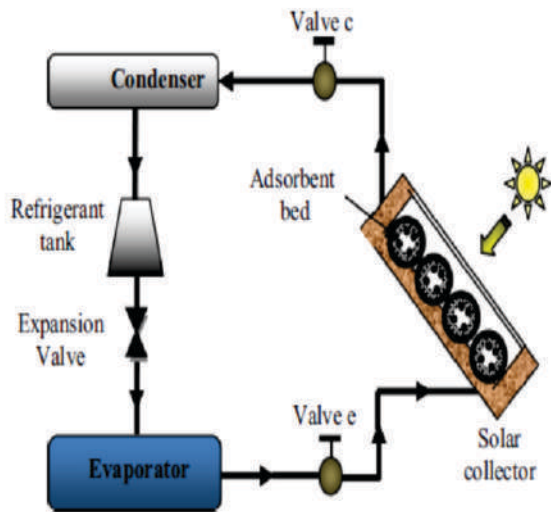


FIGURA 2 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ADSORCIÓN SOLAR FUENTE: [2]

La refrigeración por adsorción puede ser dividida en dos fases, la adsorción y la desorción, el ciclo termodinámico ideal se puede subdividir en dos procesos isobáricos y dos procesos isotérmicos. [5] Este proceso puede ser visto de forma más clara en un diagrama de Clapeyron, mostrado en la Figura 3.

El proceso comienza con una ganancia de calor a temperatura constante de 1-2 en este punto el refrigerante es adsorbido por el adsorbente. La energía total ganada por el sistema durante el periodo de calefacción es la suma de energía desde el punto 1 al punto 2 y la energía del punto 2 al punto 3.

La energía de 1 a 2 es la que se necesita para ascender la temperatura del adsorbente y refrigerante, y la energía de 2 a 3 es la energía requerida para la calefacción progresiva del adsorbente y para el proceso de desorción.

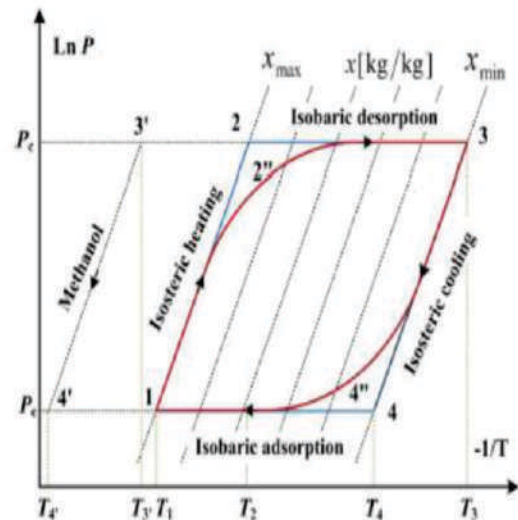


FIGURA 3 DIAGRAMA CLAPEYRON CICLO IDEAL REFRIGERACIÓN POR ADSORCIÓN. FUENTE: [1]

Dentro de la adsorción podemos encontrar también dos diferentes métodos los cuales son: [6]

Fisorción: En este proceso las propiedades químicas de la sustancia adsorbida se mantienen. La sustancia adsorbida no penetra dentro de la red cristalina ni se disuelve en ella sino que permanece sobre la superficie del adsorbato.

Quimisorción: En este proceso la sustancia adsorbida sufre una transformación para dar origen a una nueva especie. Frecuentemente este proceso es irreversible.

COLECTORES SOLARES

Para nuestro sistema de refrigeración es importante la elección de un buen colector, a continuación mostraremos los diferentes tipos de colectores solares y se determinará la selección del colector para el presente proyecto. [6]

Tabla 1. Tipos de colectores [6]

MOVIMIENTO	TIPO DE COLECTOR	TIPO DE ADSORBEDOR	INDICE DE CONCENTRACION	RANGO TEMPERATURA (°C)
Estacionario	Placa Plana	Plano	1	30 - 80
	Tubos de vacío			50 - 200
	Concentrador parabólico compuesto	Tubular		1 - 5
Rastreo alrededor de un eje	Reflector Fresnel		10 - 40	60 - 250
	Cilindro parabólico	15 - 45	60 - 300	
Rastreo alrededor de dos ejes	Reflector de plato parabólico	Punto	100 - 1000	100 - 500
	Colector de campo de heliostatos		100 - 1500	150 - 2000

Para el actual proyecto se empleará un colector de placa plana, debido a sus costos de fabricación, ya que no requerimos temperaturas extremadamente altas para hacer nuestros estudios.

ANÁLISIS SOLARES

En esta sección procederemos a analizar nuestra fuente de energía, el sol, y como está disponible en

nuestra locación. Solo un porcentaje de la radiación total emitida por el sol llega a nuestra superficie como lo muestra Cardona & Rojas en su trabajo de grado. [7]

Podemos observar en la figura 4, que en un caso ideal el 47 % de la radiación que emite el sol llega a nuestra superficie de forma directa.

Según Luis Jutglar la declinación solar es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste. Una ecuación desarrollada por Cooper (1969) [13], [9].

$$\delta_s = 23.45 \sin \left[2\pi \left(\frac{284+n}{365} \right) \right] \text{ Eq (1)}$$

Donde n es el día del año, dándonos la curva de la figura 5

FIGURA 4 RADIACIÓN APROVECHABLE EN LA SUPERFICIE TERRESTRE FUENTE: [7]

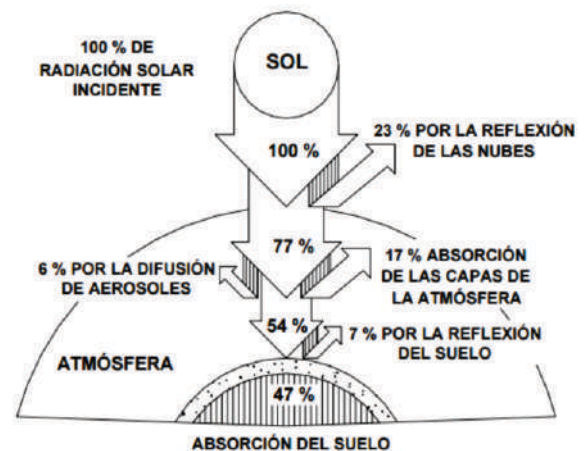
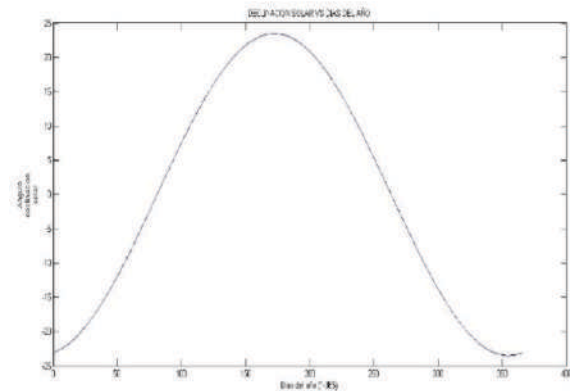


FIGURA 5 DECLINACIÓN EN EL TRANCURSO DEL AÑO FUENTE AUTOR



Junto con la latitud (L), el horario solar (hsr) y la declinación solar podemos calcular un estimado de radiación solar usando la siguiente expresión.

$$G_o = \frac{24}{\pi} * G_{SC} * \left[1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2 * \pi * N}{365}\right) \right] * A \text{ Eq (2)}$$

Donde

$$A = \sin(hsr) * \cos(L) * \cos(\delta_s) + hsr * \sin(L) * \sin(\delta_s)$$

Eq (3)

Estos datos se compararon con datos de la NASA, y del Atlas Solar de Colombia en promedios mensuales dando los siguientes resultados, figura 6, los valores se dan en W/m² [14], [16]

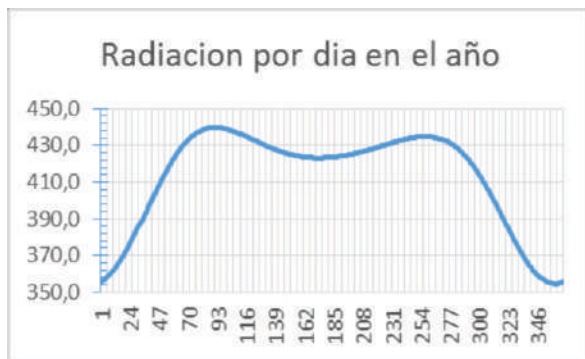


FIGURA 6 RADIACIÓN DIARIA FUENTE AUTOR

TABLA 1 RADIACIÓN SOLAR DIRECTA INCIDENTE EN LA SUPERFICIE TERRESTRE [14], [16]

	CALC	NASA	ATLAS
ENERO	368,516	600	364,167
FEBRERO	406,962	600	371,667
MARZO	434,917	610	337,5
ABRIL	437,364	530	351,667
MAYO	428,614	540	402,5
JUNIO	423,644	590	395,83
JULIO	425,206	590	422,5
AGOSTO	430,836	570	451,667
SEPTIEMBRE	420,219	590	455
OCTUBRE	422,467	540	404,167
NOVIEMBRE	388,963	530	367,5
DICIEMBRE	358,946	560	338,83

DISEÑO EXPERIMENTAL

Comenzaremos con los cálculos de tamaño de los componentes de nuestro sistema de refrigeración por adsorción solar, primero determinaremos la cantidad de metanol que se requieren para enfriar y en lo posible congelar una determinada cantidad de agua. El propósito ideal de nuestro prototipo es el congelar agua que inicialmente está a una temperatura ambiente en la ciudad de Cúcuta, la cual estimaremos en un promedio de 28 °C. Nuestra muestra de agua será 3 kg, (Cp=4,186 kJ/kg°C; método para análisis por adsorción física de gases y vapores por carbones, el volumen inicial del agua es 0.003 m³ y una densidad de 997 kg/m³ según las tablas de Termodinámica [8], [15], [12].

$$Q_w = Q_{cw} + Q_{sw} \text{ Eq (4)}$$

Donde Q_{cw} es la capacidad calorífica del agua y el Q_{sw} es la energía para su solidificación

$$Q_c = c_{p\text{agua}} * m_{\text{agua}} * \Delta T \text{ Eq (5)}$$

$$Q_c = 351,624 \text{ kJ}$$

$$Q_s = h_{fg\text{agua}} * m_{\text{agua}} \text{ Eq (6)}$$

$$Q_s = 333,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 3 \text{ kg} = 1001,1 \text{ kJ}$$

En un sistema de intercambio de calor la energía perdida por una sustancia es ganada por la otra,

usaremos este principio para determinar la masa de metanol

$$Q_w = Q_{cw} + Q_{sw} = 1352,22 \text{ kJ}$$

$$m_{met} = \frac{1352,22 \text{ kJ}}{1129 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 1,23 \text{ kg}$$

Este es el metanol requerido en el sistema, asumiendo que no todo el metanol se evapora daremos empíricamente un rendimiento del metanol del 0,7 determinamos la masa de metanol a adquirir.

$$m_{met1} = m_{met} * 1,3 = 1,596 \text{ kg}$$

Para determinar el volumen solo hacemos la conversión con la densidad del metanol de 0,79 kg/L.

$$v_{met1} = \frac{1,596 \text{ kg}}{0,79 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 2,02 \text{ L}$$

Para la condensación vamos a estipular un tiempo de condensación de 2,5 horas, de las tablas de propiedades termodinámicas, el calor latente de evaporación del metanol es $1160 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ obtenemos:

$\Delta T = 40^\circ$, $U_c = 25 \text{ W/m}^2 * \text{K}$ Este es el coeficiente de transferencia de calor con el aire

$$Q_c = \frac{1160 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 1,596 \text{ kg}}{2,5 * 3600 \text{ s}} * 1000 = 205,71 \text{ W}$$

$$Q_c = U_c * A_{sc} * \Delta T \text{ Eq (7)}$$

$$A_{sc} = 0,206 \text{ m}^2$$

Estos valores serán referencias para los diámetros de tubos disponibles en la construcción del intercambiador condensador. En nuestro caso disponemos de un tubo de cobre con diámetro interno de 0,007 m.

$$A_{sc} = \pi * d_{int} * largocond \text{ Eq (8)}$$

$$largocond = 9,367 \text{ m}$$

Como ya se había mencionado usaremos los tubos disponibles en un intercambiador de calor que fue obtenido de un aire acondicionado. Estos poseen un largo de 0,75 m, se conectarán para obtener el largo requerido por los cálculos.

$$N_{tubos} = \frac{largocond}{0,6} \text{ Eq (9)}$$

$$N_{tubos} = \frac{9,367}{0,6} = 15,61 \cong 16 \text{ tubos}$$

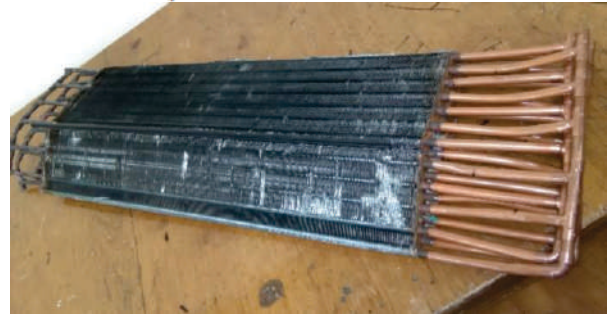
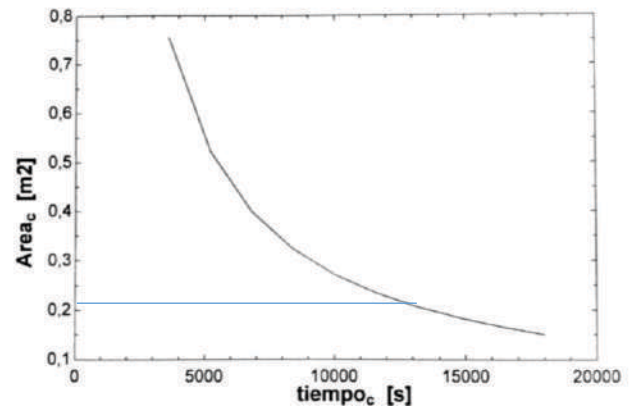
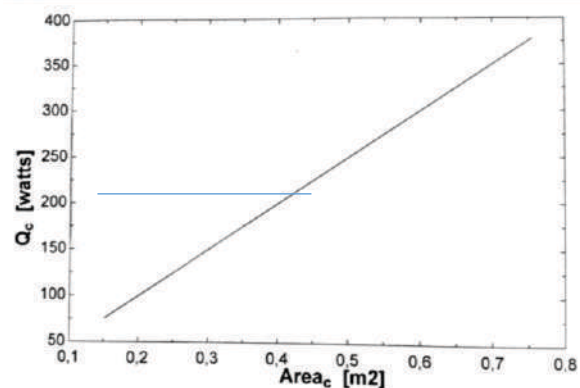


FIGURA 7 CONDENSADOR CONSTRUIDO SEGÚN LOS CÁLCULOS. FUENTE AUTOR

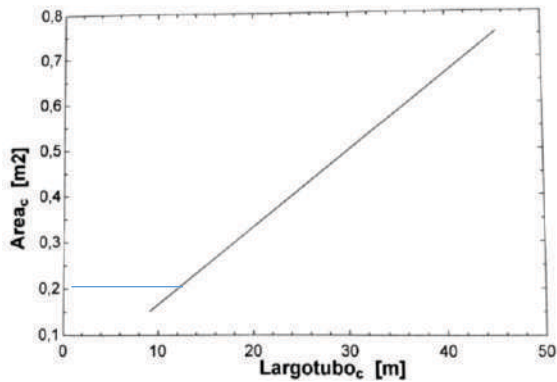
Estos cálculos se simularon en estado permanente dándonos las siguientes curvas características para su debido análisis.



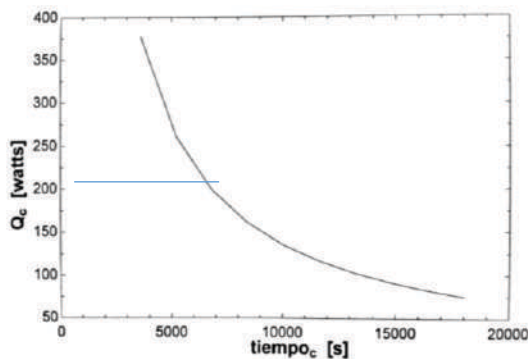
1 EN LA GRÁFICA PODEMOS OBSERVAR LOS TIEMPOS MÍNIMOS PARA QUE EN NUESTRO CONDENSADOR HAYA TRANSFERENCIA DE CALOR; SE ASUMIERON TIEMPOS MAYORES ASUMIENDO UNA EFICIENCIA DEL 70%



2 LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DE NUESTRO CONDENSADOR ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL ÁREA EFECTIVA DEL CONDENSADOR



3 PODEMOS OBSERVAR QUE A MEDIDA QUE EL ÁREA EFECTIVA DEL COLECTOR AUMENTA, EL LARGO DE TUBO PARA ESTA ÁREA AUMENTA.



4 FIGURA 8 COMPORTAMIENTOS SIMULADOS: 1. ÁREA CONDENSADOR VS TIEMPO CONDENSACIÓN; 2. Q_{cd} VS ÁREA CONDENSADOR 3.ÁREA CONDENSADOR VS LARGO TUBO RECOMENDADO 4. Q_{cd} VS TIEMPO DE CONDENSACIÓN (EN TODAS LAS GRÁFICAS EL PUNTO INDICA NUESTRO PUNTO DE TRABAJO SEGÚN LOS CÁLCULOS.)

Estas curvas nos muestran un estimado de como factores como el área de colector, largo de tubos y tiempo de condensación nos afectan la construcción de nuestro sistema.

Para el evaporador trabajaremos con un tiempo de evaporación de 5 horas y con un calor latente de evaporación de $1180 \frac{kJ}{kg}$

$$Q_e = \frac{1180 \frac{kJ}{kg} * 1,596 kg}{4 * 3600 s} * 1000 = 130,78 W$$

$$A_{2e} = \frac{Q_c}{h * \Delta T} = \frac{130,78 W}{150 \frac{W}{m^2 * K} * 2K} = 0,436 m^2$$

Al igual con el condensador estos valores los adaptaremos a los valores de diámetros disponibles

para la construcción del evaporador, nuestros tubos tienen un diámetro interno de 0,0127 m y largo 0,3 m cada uno.

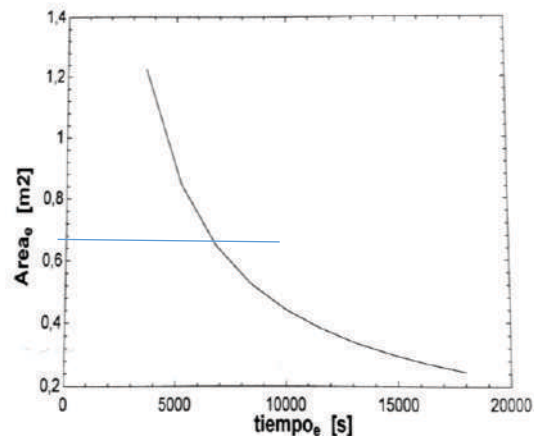
$$largo_{evap} = \frac{0,436 m^2}{\pi * 0,0127 m} = 10,927 m$$

$$N_{tubos} = \frac{largo_{evap}}{0,3} = \frac{10,927}{0,3} = 36,66 \text{ tubos}$$

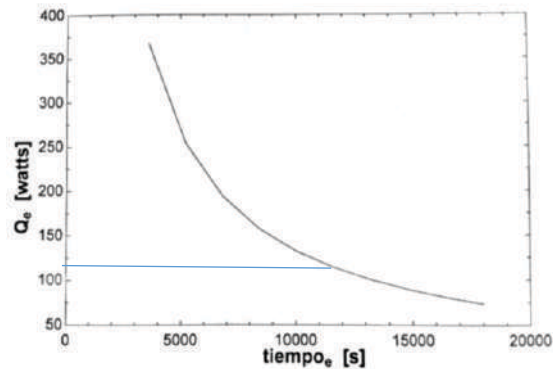


FIGURA 9 EVAPORADOR CONSTRUIDO. FUENTE AUTOR

De la misma forma que se simuló el condensador se procedió con el evaporador, dándonos los resultados.



1 ESTOS VALORES SON RECOMENDADOS MÍNIMOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE NUESTROS OBJETIVOS



2 EN LA GRAFICA OBSERVAMOS QUE EL TIEMPO MÍNIMO PARA PODER REALIZAR LA TRANSFERENCIA DE CALOR ES DE 2.5 APROXIMADAMENTE.

FIGURA 10 SIMULACIÓN EVAPORADOR EN EES 1. ÁREA EVAPORADOR VS TIEMPO DE EVAPORACIÓN 2. Q_{EV} VS TIEMPO DE EVAPORACIÓN

Para detallar el colector determinaremos la masa de carbón activado, según la capacidad de absorción máxima del carbón es 300 gr/kg

$$m_{carbon} = \frac{m_{mst} * 1000}{300} = 5,32 \text{ kg}$$

El área del colector será

$$A_{colec} = \frac{m_{carbon}}{20} = \frac{5,32}{20} = 0,266 \text{ m}^2$$

Usaremos tubos de cobre de ½ pulgada de 0,5 m de largo comercial.

$$largo_{colect} = \frac{0,266 \text{ m}^2}{\pi * 0,0127 \text{ m}} = 6,667 \text{ m}$$

$$N_{tubos} = \frac{6,667}{1} = 6,667 \text{ tubos} \cong 7 \text{ tubos}$$

Según varios trabajos consultados, es recomendable hacer perforaciones para mejorar la transferencia de energía y facilitar el proceso de adsorción y desorción. [4], [3], [2]. Como se puede observar en la siguiente figura.



FIGURA 11 COLECTOR EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN, FUENTE: AUTOR



FIGURA 12 AVANCE DEL PROYECTO. FUENTE: AUTOR

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los cálculos realizados en el presente documento se han dado en estado estable dentro de la primera fase del proyecto de investigación.

El sistema fue construido con tubería de cobre por su alto coeficiente de transferencia de temperatura.

El sistema está desconectado de la red eléctrica, los fluidos (metanol) descenderá por acción de la

gravedad y ascenderán al llegar a la presión de evaporación.

REFERENCIAS

- [1] Ambarita, H., & Kawai, H. (2016). Experimental Study on Solar powered adsorption refrigeration cycle with activated alumina and activated carbon as adsorbent. *ScienceDirect*, 36-46.
- [2] Ammar, H., Benhaoua, & Balghouthi. (2015). Simulation of tubular adsorber for adsorption refrigeration system powered by solar energy in sub-Sahara region of Algeria. *ScienceDirect*, 31-40.
- [3] Berdja, M., Abbad, B., Yahi, F., Bouzefour, F., & Ouali, M. (2014). Design and realization of a solar adsorption refrigeration machine powered by solar energy. *Science Direct*, 1226 - 1235.
- [4] Bouhadeh, K., Chikh, S., Boumediene, A., & Benabdesselam, A. (2013). Design and Analysis of Solar Refrigeration System with a Rotating Generator. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 501 - 505.
- [5] Bressan, D., Belo, F., & Ferreira, A. (2007). *Air Conditioning Solar by Adsorption; Fundamentals and State of the Art*. Fortaleza: I Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- [6] Campuzano Paéz, M. G., & Chiriboda Albuja, J. V. (2010). *Design and construction of a solar cooling system by adsorption*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- [7] Cardona, L., & Rojas, R. (2007). *Design and construction of a flat solar collector*. Mexico.
- [8] Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. Mexico: McGrawHill.
- [9] Duffie (Deseased), J., & Beckam, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Process*. Wisconsin: Wiley.
- [10] E., A. E. (2004). Review of solid adsorption solar refrigeration II: An overview of the principles and theory. *ScienceDirect*, 1279-1295.
- [11] Edem N'Tsoukpoe, K., Yamegueu, D., & Bassole, J. (2014). Solar sorption refrigeration in Africa. *ScienceDirect*, 318-335.
- [12] Hernandez Arroyo, E., & Reyes Orozco, M. A. (2011). *Design construction and testing of a refrigerator by solar adsorption, using activated carbon*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- [13] Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Barcelona, España: Ediciones Ceac.
- [14] NASA. (s.f.). *NASA Surface meteorology and Solar Energy*. Obtenido de Atmospheric Science Data Center: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=108098&lat=7.898&hgt=100&submit=Submit&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&step=2&lon=-72.488
- [15] Treybal, R. (s.f.). *Operaciones de transferencia de masa*. Rhode Island: McGrawHill.
- [16] UPME. (2013). *Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana*. Bogota: UPME.

La Sistematización de la Gestión de Mantenimiento en Procesos Productivos y la Confiabilidad Operativa Punto 8- Aplicaciones.

SONY ANTONIO ZAMBRANO R. ¹

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo primordial señalar la incidencia importante de la Sistematización de la Gestión de la Función Mantenimiento dentro de un proceso productivo a fin de conseguir la información necesaria para asegurar la Confiabilidad Operativa de los sistemas a mantener. Desde el registro adecuado del inventario de los objetos sujetos a acciones de mantenimiento con sus correspondientes acciones a ejecutar en los subsistemas, componentes y elementos con posibilidad de fallas, así como la información técnica basada en características, especificaciones, datos de operación y funcionamiento, hasta lograr políticas acertadas para la planificación y programación de los tipos de mantenimiento rutinario, programado, circunstancial, avería, predictivo y correctivo, todos tendientes al logro del mantenimiento preventivo, según la Tendencia Sistémica de Mantenimiento. Por otra parte, se describe el proceso de órdenes de trabajo con la finalidad de registrar la información inherente a las mismas y de esta forma ir listando los eventos que ocurren sobre un objeto, para que permita el ordenamiento y análisis de la data en función de la determinación de los parámetros básicos de mantenimiento tiempo entre fallas y tiempo para reparar con lo cual se implantarían políticas de mantenimiento centrado en confiabilidad y en la medida en que el tiempo promedio entre fallas se acerque al momento antes de que ocurra la falla o PUNTO 8 podría tenerse la Confiabilidad Operativa de los Objetos. También se describe el proceso de sistematización utilizando una herramienta de automatización o software WebMyS para la Gestión de Mantenimiento bajo ambiente Web.

Palabras Claves:

Gestión – Mantenimiento - Sistematización – Punto 8 – Aplicaciones

- 1 Ingeniero de Petróleo LUZ 1978, MSc. en Gerencia de Mantenimiento LUZ 1985. Profesor Jubilado UNET Categoría Titular Coordinador Maestría Mantenimiento Industrial. Consultor Auditor Asesor de procesos MyS Asociados S.A. Colombia y MyS Asociados C.A. Venezuela Gerente General. Líneas de Investigación: Gestión de Mantenimiento, Gerencia de Proyectos de Parada de Planta, Diagnóstico de la Función Mantenimiento, Confiabilidad Operacional, Sistemas de Almacén, Instrumentos y herramientas de automatización para el registro de información. Email: sonyambrano@mys-asociados.co

INTRODUCCIÓN

La Función Mantenimiento dentro de un Sistema Productivo se define como el conjunto de actividades que se desarrollan a los sistemas objeto de mantenimiento a fin de asegurar su disponibilidad o que cumpla su función cumpliendo el objetivo para el cual fue diseñado e instalado para y dentro del Sistema Productivo.

Si se toma este concepto de mantenimiento al pie de la letra, implica que se ejecutarán actividades sobre los objetos para asegurar que funcionen sin importar el cómo, el cuándo, el quién, el qué y el cada cuánto, por tanto el **sistema productivo** estará **siempre en fallas**.

Si se implanta el concepto de mantenimiento anterior, se pueden extraer ciertos elementos que satisfacen una definición más actual y que han llevado a mantenimiento a darle el trato de una ciencia que involucra tecnología e investigación, tal es el caso de:

1. **Actividades que se desarrollan:** no es ejecutar solo por ejecutar sino que debe existir toda una secuencia de acontecimiento para cada actividad, acontecimientos que tienen que estar interrelacionados con normas, procedimientos, procesos, gente, insumos, tiempo, etc.

2. **Asegurar la disponibilidad:** es decir si se interpreta como lograr funcionamiento sin un plazo definido no se sabrá cuándo se vuelva a tener la necesidad de recurrir a los mismos argumentos, hacer mantenimiento sin fondo y sin objetivos, solo hacer que funcionen las cosas independiente de los recursos utilizados.

3. **Cumplir una función en un SP:** estar por estar, hacer por hacer, hacer y no aspirar, tener y no conseguir, simplemente conseguir que funcione un proceso sin tomar en cuenta recursos utilizados y sin ver a corto, mediano y largo plazo de seguir como se viene actuando.

En el acelerado mundo actual, cada vez más afectado por los grandes cambios producto de la globalización y la crisis mundial, las organizaciones demandan el uso de nuevas estrategias gerenciales que permitan optimizar al máximo los recursos existentes. Es por eso

que las inversiones que se realicen hoy en día, deben ser analizadas y reconsideradas en términos de garantizar un resultado que asegure a la organización la sostenibilidad de sus operaciones al más bajo costo, el cumplimiento de sus metas y su permanencia en el mercado.

En este orden de ideas, es imprescindible para las organizaciones de hoy, contar con un Sistema de Gestión de Mantenimiento que permita garantizar la disponibilidad de los elementos del sistema productivo (Infraestructura, Equipos, Maquinaria, Herramientas), prolongar su vida útil, optimizar su uso y mantenerlos disponibles en el tiempo, protegiendo así las inversiones realizadas por las empresas en estos rubros.

Con el fin de proveer una solución a esta problemática, la Sistematización de la Función Mantenimiento dentro de las organizaciones, permite la **optimización de la Función** y el **mejoramiento continuo de los procesos**, así como el **aumento de la productividad** del personal y de la organización como un todo.

Entonces, si se toma en cuenta lo anteriormente descrito y se reflexiona adecuadamente sobre el fin de la función mantenimiento en un proceso productivo es cuando se avanza hacia la concepción actual de mantenimiento que obliga a tomar en cuenta conceptos como:

1. **Gestión de Mantenimiento:** Utilización de los recursos humanos, materiales (materiales, repuestos, equipos, instrumentos, herramientas), financieros, tecnológicos y de tiempo, de un sistema productivo en forma tal que se cumplan las actividades de la función mantenimiento. Pero a esto hay que agregar palabras que cambian el concepto común de gestión, siendo estas:

Utilización **adecuada y óptima** de los recursos.

2. **Ingeniería de Mantenimiento:** Diseño de métodos, procedimientos, técnicas, herramientas, instrumentos, equipos, etc., para la utilización de los recursos en la Gestión de la Función Mantenimiento. Pero para hacer de este concepto más exigente y actual hay que agregar palabras tales como:

... para la **mejor y óptima** utilización de los recursos.

3. Administración de Mantenimiento: conjunto de actividades que se desarrollan en un sistema para asegurar el cumplimiento de objetivos, considerándose actividades básicas: **Planificación, Programación, Ejecución, Seguimiento, Control y Evaluación.** Agregándose:

Acciones estas aplicadas dentro de un proceso de gestión de mantenimiento y con el apoyo de la Ingeniería de mantenimiento para la consecución de los OBJETIVOS del Sistema Productivo.

Cuando se habla del logro de los OBJETIVOS de la Función Mantenimiento, se tienen tres prioritarios los cuales redundan en el logro de cualquier objetivo formulado en una organización de mantenimiento y es así que constituyen los pilares fundamentales de cualquier gestión de mantenimiento. Estos objetivos son:

1. **Minimizar las Paradas NO Programadas:** esto tiene que ver con la reducción de los Tiempos Fuera de Servicio **TFS**, siendo el parámetro básico de **MANTENIBILIDAD**, quiere decir esto que ADMINISTRANDO efectivamente una adecuada GESTIÓN de mantenimiento se puede tender a la OPTIMIZACIÓN de la Función Mantenimiento, se minimizan el mantenimiento por avería y por consiguiente las fallas.

2. **Optimizar Paradas Programadas:** este objetivo tiene que ver con la planificación, programación, seguimiento, control y evaluación de las actividades de mantenimiento, con el estudio de los Tiempos Entre Fallas **TEF**, siendo este el parámetro básico de **CONFIABILIDAD**, lo cual redundando en la adecuada utilización de recursos materiales, humanos, técnicos, financieros y de tiempo, es decir con qué, quién, cómo, cuándo, con cuánto y cada cuándo, se deben ejecutar las acciones preestablecidas, lo cual hace que se racionalice el mantenimiento y se tienda a la ejecución antes de que ocurra la falla.

3. **Adecuar la Organizacional a los objetivos de mantenimiento:** significa esto que se deben

asignar las responsabilidades de las acciones de mantenimiento a la Organización y no solo de mantenimiento sino de todo el sistema productivo, pues no solo es responsabilidad de mantenimiento lo que sucede sino que se tienen interactuando una serie de componentes estructurales cada uno con su peso dentro de un **TIEMPO MUERTO ó TIEMPO FUERA DE SERVICIO**, por tanto se debe depurar el tiempo total de la **DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS**, para que cada quien asuma su rol en la organización.

Atendiendo a los objetivos de la función mantenimiento, descritos y razonados ya, se puede tender al logro de una adecuada Gestión de la Función, con su Administración eficiente y la utilización de la ingeniería de mantenimiento como apoyo a las actividades ya sean planificadas o no y así establecer indicadores que reflejen el actuar dentro de la Organización del Sistema Productivo.

En la actualidad, toda empresa está dotada de sistemas que permiten su participación en un campo de interés en particular para su productividad, desarrollo y crecimiento. Estos sistemas están compuestos por dispositivos, instalaciones, maquinaria, equipos y/o edificaciones, capaces de producir un producto o prestar un servicio, para alcanzar el objetivo para el cual fueron creados estando sujetos a acciones de mantenimiento a fin de asegurar su utilización durante su vida útil.

El mantenimiento como estructura de apoyo, ocupa un lugar importante y es empleado como pieza fundamental, dada la influencia de los cambios tecnológicos y la competitividad entre las empresas, tomando en cuenta el peso que acarrear los defectos en los productos elaborados o suministrados, y los costos de manufactura por reproceso de los materiales, producción y desperdicios de recursos, además de las paradas excesivas de proceso productivo o de servicio, incrementando costos de producción y degradando las expectativas que tienen entes externos sobre la organización.

En este orden de ideas, es imprescindible para las organizaciones de hoy, contar con un

Sistema de Control de la Gestión de Acciones de Mantenimiento, que permita garantizar la disponibilidad de los elementos del sistema productivo (Infraestructura, Equipos, Maquinaria), prologar su vida útil, optimizar su uso y mantenerlos disponibles en el tiempo.

Las grandes empresas han descubierto que el mantener los activos puede generarles una mayor productividad empresarial, ya que esta función vista como un sistema influyente en el logro de las metas y objetivos. Toda instalación destinada a producir un bien o un servicio, debe ser mantenida en condiciones que le permitan seguir en funcionamiento, logrando un producto de determinada calidad, y a un costo lo más bajo posible. Quien se dedique al mantenimiento de cualquier tipo de instalación debe ofrecer la reparación de los eventos que surjan y las modificaciones necesarias para que estos no aparezcan.

Dada la importancia que está tomando la función de mantenimiento, un mal trato a dicha función aunado a baja confiabilidad significan; bajos ingresos, más costos de mano de obra y altos stocks, clientes insatisfechos, productos y servicios de mala calidad hacen pensar, analizar e investigar acerca de la mejor forma de gerenciar la función mantenimiento, conduciendo esto a la formulación de preguntas y aspectos como sigue:

Qué hacer para producir los cambios necesarios a fin de lograr la adaptación de la Organización con las variantes que permitan su optimización y con visión de un proceso de Clase Mundial y siguiendo los principios, conceptos y objetivos mencionados?

Para atender al QUÉ HACER? Dentro de una organización mantenimiento, surgen preguntas que permiten orientar y actuar dentro de una estructura, tal es el caso de:

¿Cómo adapto la organización a un nuevo modelo de mantenimiento?, ¿Cómo se Gestiona adecuadamente la Función Mantenimiento?,

¿Cómo se logran los objetivos básicos de mantenimiento?, ¿Cómo se obtienen los

principios básicos de mantenimiento?, ¿Cómo administrar eficientemente las acciones de mantenimiento?,

¿Cómo se unifican criterios de mantenimiento?,

¿Cómo se interpreta y se adecua la información de mantenimiento?

¿CÓMO SE OPTIMIZA LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO?

Quien Gerencia o Dirige la Función Mantenimiento dentro de un Proceso Productivo debe y tiene que orientar sus esfuerzos en el ordenamiento de los objetivos y al mismo tiempo establecer prioridades en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos básicos de mantenimiento: Minimizar las Paradas NO Programadas, Optimizar las Paradas Programadas, con la asignación de responsabilidades dentro de la Organización Mantenimiento y dentro del Sistema Productivo como un todo, claro está con visión sistémica de la Gestión, y acciones descritas a continuación:

Acción Nº 1: Unificación de Criterios:

Los objetivos y fines de una organización mantenimiento tienen que ser conocidos por todos los componentes estructurales de la organización, especialmente aquellos que tienen que ver con las actividades de planificación, programación, seguimiento, control y evaluación de mantenimiento.

No todo el personal ni todos los profesionales de un sistemas productivo, aun estando dentro de una organización mantenimiento, están preparados para el manejo de información referida a los tópicos anteriores, por tanto es necesario formarlos previa y paralelamente en el tratamiento de información técnica para la comprensión de los parámetros de mantenimiento.

Es así que la primera labor en la unificación de criterios está en la **CAPACITACIÓN DE PERSONAL** en función de los objetivos, en forma secuencial en las siguientes fases:

Fase 1: Principios básicos, conceptualización, objetivos y metas de mantenimiento.

Fase 2: Sistemas a mantener, registros, información técnica, acciones

Fase 3: Ordenamiento de registros, planes, programas y órdenes de trabajo.

Fase 4: Seguimiento, control y evaluación de ejecución, data, hojas de vida.

Fase 5: parámetros de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

Acción N° 2: Planificación y Programación:

Esta acción consiste en determinar las necesidades de la organización mantenimiento a fin de establecer las prioridades de cada componente de la estructura organizacional para jerarquizar las acciones en forma global sin perder la visión a corto, mediano y largo plazo.

Aquí es donde se va a reflejar la capacitación o adiestramiento recibido por el personal en el logro de los objetivos y es entonces cuando todas las técnicas, instrumentos, teorías, conceptos deben ser adaptados a realidades dentro de la organización, para lo cual deben existir directrices gerenciales a fin de aprovechar los costos asociados convirtiéndose estos en inversión más no en gastos.

Acciones Específicas de la Gerencia de Mantenimiento

Cuando se habla de planificación y programación de mantenimiento, hay que separar los tipos de actividades de acuerdo a los tipos de mantenimiento, así se tiene que:

1. Mantenimiento Rutinario: actividades simples con frecuencia hasta semanal. Este tipo de mantenimiento permite la reducción de fallas ya que es ejecutado por personal operador con conocimiento profundo de los sistemas y que vive el día a día.

Estas actividades hay que separarlas de las demás para mejorar la gestión de la función mantenimiento.

Recomendación: *Auditoría de acciones de mantenimiento con su rediseño*

2. Mantenimiento Programado: actividades con frecuencia de quincenal en adelante que se programan en un calendario anual, siendo básica su ejecución pues de acuerdo a este tipo de mantenimiento si es el adecuado poco a poco se obtendrá el mantenimiento preventivo que se requiere.

Los procesos confunden este tipo de mantenimiento con el mantenimiento preventivo y esto es un error grave para la organización, pues se parte de experiencias o de manuales y no se revisa o actualizan los datos ni los estados de los equipos, por tanto su continuidad en la ejecución con data falsa obliga a la presencia de fallas y al deterioro prematuro de sistemas.

Recomendación: *Auditoría de acciones de mantenimiento con su rediseño*

3. Mantenimiento por Avería: actividades que se ejecutan una vez ocurra la falla. Aquí la costumbre es ejecutar mantenimiento sin registrar información y si es que se registra no es la suficiente y adecuada para una hoja de vida de cada sistema a fin de periódicamente analizarla e ir determinando el punto antes de que ocurra la falla **PUNTO 8.**

Luego se tiene que verificar si las hojas de vida están acordes con la realidad a fin de que con esa base de datos y el apoyo de métodos y modelos matemáticos y estadísticos, se depure la información y se pretenda convertir el mantenimiento por avería, en mantenimiento preventivo.

Recomendación: *Auditoría de hojas de vida de los objetos del sistema.*

4. Mantenimiento Preventivo: Como se dijo anteriormente, este tipo de mantenimiento es confundido a propósito o por costumbre, con el mantenimiento programado, ya que son pocas las actividades que se ejecutan bajo este esquema, dado que debe y tiene que partir del tratamiento matemático y estadístico de la data de fallas y así determinar el Tiempo Entre Fallas o **Punto 8.**

Recomendación: *Auditoría de hojas de vida de los objetos del sistema.*

5. Mantenimiento Correctivo: se realiza con el fin de eliminar la necesidad de mantenimiento a mediano plazo y entre las actividades más comunes están ampliación, reconstrucción, paradas de planta, restauración, recuperación, cambios de elementos de piezas y componentes, etc.

Recomendación: *Determinación de los sistemas que requieren este tipo de actividades enmarcadas y proceder a la planificación,*

programación, seguimiento, control y evaluación de las actividades, graficando las curvas "S" tanto programadas como reales para conocer y/o evitar desviaciones en lo ejecutado con respecto a lo planificado.

6. Mantenimiento Circunstancial: se ejecuta a aquellos objetos que sirven de apoyo al proceso productivo o que funcionan de manera alterna, o de forma intermitente, de acuerdo a políticas establecidas por la organización, tal es el caso de sistemas de generación de energía, generación de vapor, generación de aire comprimido, tratamiento de agua, etc. En este caso de mantenimiento, es muy común observar que se planifican y programan a estos objetos, actividades en forma periódica sin tomar en cuenta su alternatividad o intermitencia como si su funcionamiento fuese continuo y al registrarse la información se producen errores al aplicar métodos y modelos matemáticos a la data.

Recomendación: *Determinar los sistemas que requieren este tipo de mantenimiento a fin de que el tratamiento de la información sea el más real.*

7. Mantenimiento Predictivo: consiste en actividades de monitoreo que se ejecutan a ciertos objetos del sistema productivo para determinar el comportamiento, funcionamiento o estados de algunos componentes.

Si el monitoreo es con frecuencia hasta semanal, es enmarcado dentro del mantenimiento rutinario; si el monitoreo es con frecuencia de quincenal en adelante el monitoreo se enmarca dentro del mantenimiento programado y si el monitoreo sigue el comportamiento de una falla, se enmarca dentro del mantenimiento por avería, lo cual conduce luego del análisis a la activación del mantenimiento correctivo para eliminar la falla y así pretender el mantenimiento preventivo.

Recomendación: *Determinar los sistemas que requieren este tipo de monitoreo para que el tratamiento de la información sea el más real, planificando y programando*

las actividades de cada tipo de mantenimiento.

8. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Confiabilidad Operativa de Objetos: El MCC trabaja definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones, el MCC permite identificar estrategias de mantenimiento para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos. **Recomendación:** *registrar y ordenar la información de los sistemas sujetos a este mantenimiento, direccionando esta información hacia el conocimiento técnico de los sistemas y data de fallas en la historia de los mismos.*

Ahora bien, partiendo desde el punto de vista que el fin de la confiabilidad operativa consiste en determinar el parámetro básico de confiabilidad como lo es el Tiempo Entre Fallas o Frecuencia de Ejecución de las actividades de Mantenimiento, implica que se tiene que aproximar este tiempo al momento antes de que ocurra la falla y esto no es otra cosa que el llamado **PUNTO 8**.

Sin embargo, este punto comúnmente está predeterminado o establecido desde el diseño de los sistemas, pero nuestra realidad hace que los sistemas operen en otras condiciones y con variables muchas veces fuera de especificaciones y no se hace el preventivo desde un inicio, permitiéndose la aparición de fallas a lo largo de la vida útil, luego se intenta dada su intensidad aplicar mantenimiento programado y registrar fallas.

Con la aplicación de modelos matemáticos y métodos estadísticos se puede encontrar el tiempo que requerimos sobre la vida del sistema antes de que falle **PUNTO 8** pero no se puede dejar de lado el tiempo fuera de servicio que es el objeto de mantenimiento, pues es un parámetro que influye en mayor grado en la relación del cálculo de la disponibilidad, mientras mayor será su valor menor va a ser la disponibilidad y al reducirlo a su mínima expresión la disponibilidad aumenta.

Si bien se hacen todos los esfuerzos por el cálculo del tiempo entre fallas o en aplicar técnicas para la implantación de mantenimiento centrado en confiabilidad para conocer de la confiabilidad operativa de los sistemas, por qué no se hacen es una metodología en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de también esfuerzos para la reducción del tiempo fuera de servicio.

Graficando en el tiempo, la desagregación del tiempo de servicio y se señalan algunas de las ganancias o dicho en otras palabras, la reducción en cada una de sus partes de dicho tiempo, con medidas muchas veces hasta simples, se puede observar que la contribución del estudio de este tiempo a la **Confiabilidad Operativa** es sustancial.

Cuando se hace referencia a las ganancias o reducciones del tiempo fuera de servicio en sus diferentes componentes, se habla de la implantación en los procesos de estrategias tales como:

- Registro de información técnica de cada sistema a mantener para que cuando se intervenga dicho sistema se disponga de data oportuna y se logre subsanar el evento en un tiempo menor ya sea por la visualización de la operación o por la consecución de los insumos para la aplicación de acciones.
- Ocupación de los puestos de trabajo por personal con competencias, habilidades y destrezas, para que la tarea de localización y registro de la falla sea con calidad del dato avería con la consecuente reparación se dé en el tiempo menor posible, porque no siempre lo más económico en cuanto a personal es lo mejor dentro de un proceso.
- Implantación de un adecuado sistema de adquisición de materiales, repuestos, equipos y herramientas, es decir insumos para hacer mantenimiento, adquirir lo que se debe y no lo que parece.
- Asignación de responsabilidades y cumplimiento de las mismas en los diferentes niveles de la estructura organizacional, siendo uno de los puntos que contribuyen con el aumento del tiempo muerto de la reparación de un sistema.

- Desagregación del tiempo muerto dentro de la estructura organizacional para asignar la responsabilidad de cada quien en el mismo y que sirva de punto de referencia para toda la organización.

En la gráfica N° 1 se puede observar la desagregación del tiempo fuera de servicio y las ganancias o reducciones en cada una de sus partes, al aplicar técnicas, métodos y procedimientos de los procesos conocidos.

Figura N° 1: Desagregación del Tiempo Fuera de Servicio.



Fuente: autor

Atendiendo lo anteriormente expuesto como lo es la sistematización de mantenimiento, es decir pasar por las diferentes etapas de la administración de la actividad como lo son la planificación, programación, ejecución, seguimiento, control y evaluación, con el adecuado registro de la información sobre los sistemas, su estado y las diferentes actividades ejecutadas sobre ellos, así como los eventos que han permitido la aparición de distorsiones en su funcionamiento y ya con esto proceder a la aplicación de modelos que permitan acercarse al **PUNTO 8 o frecuencia de Mantenimiento Preventivo**.

Cuanto se habla de un proceso de sistematización se tiene que tomar en cuenta el diseño o implantación de herramientas de automatización o software que

proporcionen los resultados esperados para el ordenamiento, registro y procesamiento de información indispensables para generar tanto indicadores de gestión como información para la aplicación de modelos que permitan calcular los parámetros de confiabilidad, tiempo entre fallas y de mantenibilidad, tiempo fuera de servicio y así pretender la idea de disponibilidad. En la Figura N° 2, se muestra cómo hacer mantenimiento en diferentes puntos afectando el sistema:

Figura N° 2: Desagregación del tiempo de la vida útil de un sistema



Fuente: autor

La finalidad de la confiabilidad operativa es determinar el momento antes de que ocurra la falla o PUNTO 8, para esto en el transcurrir del tiempo de la vida y parada de un sistema se ejecutan acciones marcadas y si no se aplica lo establecido, se incurre en un excesivo mantener o sobre mantenimiento o en poco accionar que sería sub mantener.

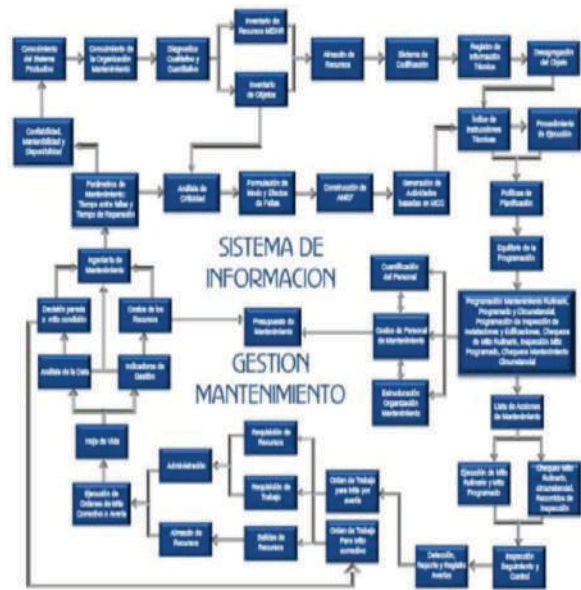
Se requiere entonces para lograr la **confiabilidad operativa** de un sistema, determinar el momento antes de que ocurra la falla y así accionar sobre el objeto con el fin de que no falle y en el tiempo en la medida en que se continúen los estudios de la data acercarse o tender al **mantenimiento preventivo**.

Dentro de un **Proceso de Gestión de Mantenimiento Sistémico**, se deben establecer objetivos, metas, planes, programas, lo cual redundará en una alta disponibilidad y se reduciría el alto índice de fallas, el agotamiento prematuro de los sistemas, se minimizaría el tiempo de parada y se maximiza el tiempo de operación.

La información reseñada en este trabajo ha sido descrita en tres libros que contemplan todo el proceso sistémico de Gestión de la Función Mantenimiento.

En la Figura N° 3, se muestra el proceso de sistematización de la gestión mantenimiento, que puede implantarse en cualquier proceso productivo:

Figura N° 3: Proceso sistémico de Gestión de Mantenimiento



Fuente: autor

CONCLUSIONES

La Gestión de Mantenimiento depende de los registros de información.

Los registros deben tener un orden lógico y secuencial.

Toda Gestión tiene que tener un objetivo terminal para evitar desviaciones.

Si se fijan entradas, proceso y salidas, se tendrá una sistematización de la Gestión.

Se tiene que tener la adecuada capacitación del personal en mantenimiento.

Una vez registrada la data proceder a la depuración, análisis y aplicación de modelos.

En las organizaciones hay que tener claro que cuando ejecutar mantenimiento.

Para el proceso de implantación de políticas de **confiabilidad operativa**, la búsqueda del **Punto 8**, es durante la vida útil de los sistemas y conlleva al mejoramiento continuo de los sistemas y de las organizaciones como un todo.

REFERENCIAS

- [1]. Amándola, Luis. MCC centrado en confiabilidad. España. 2.002.
- [2]. CIED PDVSA. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Vzla. 1.999. • Duffuaa, Raouf, Dixon. Sistemas de Mtto, Edit.Limusa. México. 2.002.
- [3]. Galar D. RCM Ingeniería avanzada en mantenimiento. www.navegalia.com
- [4]. Laverde, H. Visión estratégica del mantenimiento en una organización industrial. España. Agosto, 2.001. www.ceroaverias.com.
- [5]. Seiichi Nakajima. Introducción al TPM. Edit.TPM Nyumon. España. 1.991.
- [6]. Zambrano, Sony. Norma COVENIN 2500-93. Manual para la evaluación de sistemas en la industria. 1.993.
- [7]. Zambrano, Sony. Norma COVENIN 3089-93.Mtto. Definiciones. 1993
- [8]. Zambrano S, Leal S. Fundamentos básicos de mantenimiento. FEUNET. Vzla 2005
- [9]. Zambrano S, Leal S, Manual Práctico de Gestión de Mantenimiento FEUNET. Venezuela 2008
- [10]. Zambrano Sony, Gerencia de Proyectos, Planificación, programación, seguimiento, control y evaluación de actividades de mantenimiento, Venezuela 2010
- [11]. Sistemas automatizados de mtto. Software WebMyS y capacitación de personal de Mantenimiento www.mys-asociados.com Consultoría Auditoría Asesoría.

Diseño E Implementación De Un Módulo Didáctico De Proceso Industrial Para La Supervisión, Control Y Tratamiento De Datos De Las Variables De Caudal Y Nivel, Para Los Laboratorios Del Departamento De Electricidad & Electrónica De La UFPS

JENNIFER XIOMARA JORDÁN CASA₁
JOSÉ ARMANDO BECERRA VARGAS₂

Resumen

El proyecto que se plantea en este documento abarca el diseño y construcción de un Módulo didáctico para la Supervisión, Control y Tratamiento de Datos de las variables de Caudal y Nivel para los laboratorios de Electricidad & Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander; el objetivo principal es que los estudiantes de los programas de pregrado de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Electromecánica cuenten con los equipos necesarios para realizar prácticas de laboratorio que se asemejen a la realidad industrial de los procesos presentes en las plantas de producción.

La importancia del desarrollo de este proyecto radica en que la universidad, como plantel educativo, debe brindar las garantías necesarias para que la formación académica del estudiante sea de la mejor calidad, y que el perfil profesional y ocupacional del egresado se cumplan a cabalidad cuando este se desempeñe en el campo laboral.

Palabras claves: *Caudal, Módulo, Nivel, SCADA.*

1 Tesista Ingeniería Electromecánica. Universidad Francisco de Paula Santander. E-mail: jordanxiomara@gmail.com

2 Docente TC Asociado y Director del grupo GIAC. Universidad Francisco de Paula Santander. E-mail: josearmandobv@ufps.edu.co

INTRODUCCIÓN

Un sistema SCADA es un sistema de control, medición y monitoreo que provee toda la información que se genera en el proceso productivo a los diversos usuarios. Con la realización de este proyecto se implementará un Sistema SCADA para un prototipo de proceso industrial donde las variables son el Nivel y Caudal.

En el año 2014 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en Ecuador, estudiantes de Ingeniería de Mantenimiento desarrollaron la tesis “Implementación de un banco de pruebas para el control de nivel de líquidos en el Laboratorio de Instrumentación Industrial de la Facultad de Mecánica”, en este trabajo ya se plantea la necesidad de que las instituciones de educación superior deben contar con equipos que permitan a los estudiantes asimilar los conocimientos adquiridos en la teoría y asociarlos con las prácticas de medición, control y monitoreo en procesos industriales [1].

Teniendo presente el perfil profesional que debe cumplir los estudiantes egresados de los programas de Ingeniería Electrónica y Electromecánica, se hace necesario que las instalaciones de los Laboratorios Especializados en Control, Instrumentación y Automatización de la Universidad, cuenten con equipos e instrumentos que permitan un acercamiento más real a las tecnologías usadas en las empresas, llevando a cabo prácticas para la observación y tratamiento de datos, manipulación y caracterización de elementos, además del control sobre las variables, en este caso, de flujo y nivel.

El módulo brindará la posibilidad de realizar lazos de control sobre las variables de nivel y caudal, manipulando los actuadores a través de las señales de salida del PLC; de llevar a cabo supervisión, interactuando sobre el proceso a través de una interfaz Gráfica diseñada en LabView; y de realizar una Adquisición de Datos de los valores de las señales de los sensores y actuadores del proceso.

Los investigadores de este proyecto son el Ingeniero José Armando Becerra Vargas, Docente TC Asociado y Director del grupo GIAC (*Grupo de Investigación de en automatización y Control*) y la tesista Jennifer Xiomara Jordán Casas, estudiante de Ingeniería

Electromecánica. El proyecto hace parte de un contrato de confinación con el FRIE (*Fondo Rotatorio de Investigaciones*), ya que fue aceptado en la convocatoria FINU del año 2015, de la Universidad Francisco de Paula Santander.

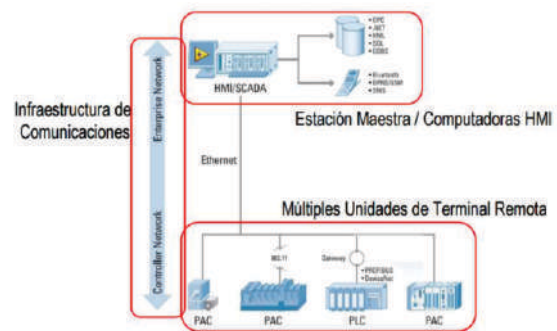
MARCO CONCEPTUAL

Sistema SCADA:

Un sistema SCADA (Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos) es un sistema de control, medición y monitoreo que consiste en una estación maestra (MTU), una o más unidades remotas para control y recolección de datos de campo (RTUs) y un conjunto de paquetes de software usados para monitorear y controlar a los elementos remotamente localizados.

Los componentes de un sistema SCADA se observan en la Figura N°1.

Figura N° 1: Componentes de un Sistema SCADA.



Fuente: Diseño de Sistemas SCADA para Monitoreo de Procesos Utilizando LabVIEW DSC, National Instruments.

- Múltiples Unidades de Terminal Remota: Se conectan al equipo físico. Leen los datos de un interruptor o válvula, o mediciones como temperatura, flujo, o presión
- Estación Maestra / Computadoras HMI: Presenta la información al operador. Incluye monitoreo, control de lazo abierto, generación de alarmas, registro de datos, históricos, seguridad.
- Infraestructura de Comunicación: Medio físico que conecta a las diferentes terminales remotas y las estaciones en el sistema. [2]

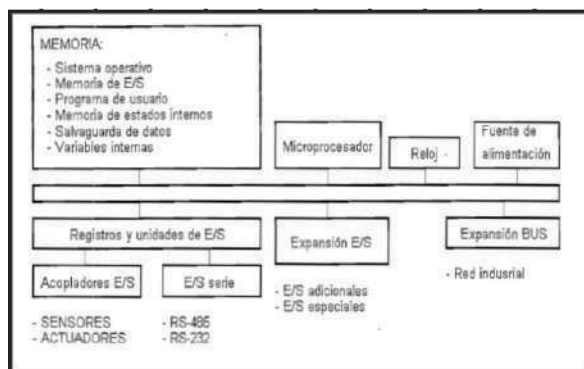
PLC:

Los PLC's (Controladores Lógicos Programables) son equipos o máquinas electrónicas programables diseñados para controlar en tiempo real y en un ambiente industrial procesos secuenciales o combinacionales.

Estos aparatos se basan en el empleo de un microcontrolador para el manejo de las entradas y salidas. La memoria del PLC contendrá tanto el programa de usuario como el sistema operativo que permite ejecutar secuencialmente las instrucciones del programa.

Los PLC poseen tanto una estructura externa (Compacta y Modular) como una interna, esta última se puede observar en la Figura N°2. [3]

Figura N° 2: Estructura Interna de un PLC.



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

HMI

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI se pueden pensar como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora.

Las funciones de una HMI son:

- Monitoreo: Obtiene y muestra datos de las planta en tiempo real.
- Supervisión: Permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- Alarmas: Reconoce eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos estos eventos.

- Control: Aplica algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites.
- Históricos: Muestra y almacena en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. [4]

MARCO METODOLÓGICO

El proyecto a realizar es un proyecto de tipo Investigativo y Desarrollo (Proyecto I+D). La investigación y el desarrollo comprenden el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones. [5]

El diseño Metodológico se desarrollara de la siguiente manera:

Recolección de Información: Se acudió por medio del Internet a fuentes de información, tales como: paper, proyectos de grado, libros, artículos, donde se haya trabajado o estudiado el diseño y cálculo de módulos didácticos, en especial los referentes a la SCADA de las variables de Caudal y Nivel.

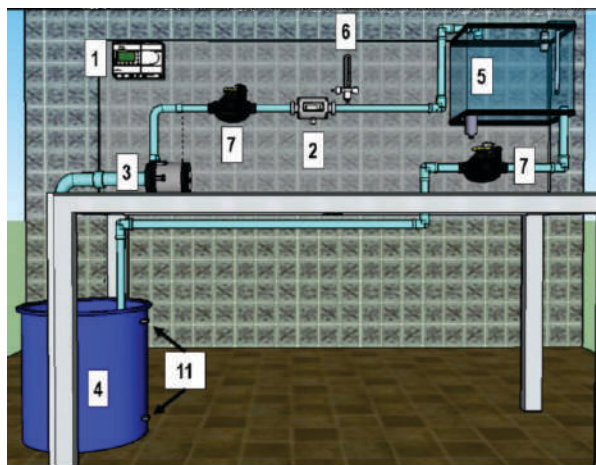
En este punto se realizó el primer diseño del módulo didáctico estimando los equipos necesarios. En la Tabla N°1 se especifican cuáles son los equipos a utilizar para la implementación del prototipo, de igual manera se presenta cual es la función de cada uno dentro del proceso.

Tabla N°1: Equipos para la implementación

EQUIPOS		JUSTIFICACIÓN
1	Automata Controlable	Controlador.
2	Caudalímetro	Medición de Caudal.
3	Bomba	Control de Caudal.
4	Tanque de Suministro	Almacenamiento del líquido.
5	Tanque de Control	Almacenamiento del líquido.
6	Rotámetro	Medición de Caudal.
7	Dos Válvulas proporcionales	Control de Caudal.
8,9	Sensor de nivel	Medición de nivel Tanque dos.
10	PT100	Medición de Temperatura.
11	Cuatro sensores de nivel todo/nada	Seguridad en los tanques.

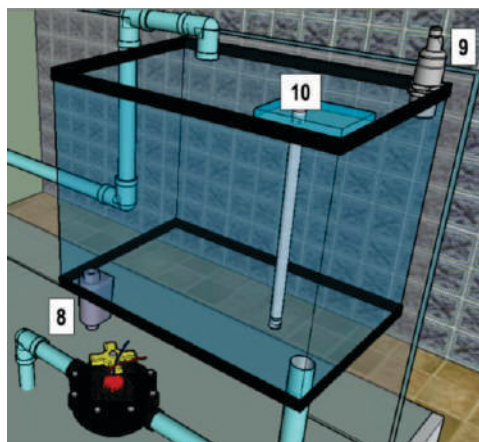
La disposición dentro del módulo de los equipos descritos en la Tabla N°1, se representa en los esquemas de la Figura N°3 y Figura N°4. Este diseño inicial se realizó en el programa Sketchup.

Figura N°3: Vista Frontal del esquema con la disposición de los elementos.



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

Figura N° 4: Vista lateral del Tanque de control con la disposición de los elementos.



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

Selección de Elementos: Se analizaron las características eléctricas, electrónicas y/o mecánicas que deben poseer los elementos a usar, y se realizó una comparación con los disponibles en el mercado para ejecutar la selección.

PLC: Se analizó que tipo de señales eran las entradas y salidas del autómata para seleccionar con cual PLC se trabajará, en la Tabla N°2 se muestra esta clasificación.

Tabla N°2: Entradas y Salidas del PLC

Entradas Digitales	Entradas Análogas	Salidas Análogas
Sensor de Nivel Bajo tanque de almacenamiento.	Sensor de Nivel Uno tanque de Control.	Bomba
Sensor de Nivel Alto tanque de almacenamiento.	Sensor de Nivel Dos tanque de Control.	Electroválvula de Llenado
Sensor de Nivel Alto tanque de Control.	PT100	Electroválvula de Vaciado
	Caudalímetro	
E/D: 3	E/A: 4	S/A: 3

Al tener claro el número y el tipo de salidas y de entradas del proceso se procedió a hacer un cuadro comparativo (Tabla N°3) entre cuatro PLC's de

diferentes marcas, eso con el fin de seleccionar el más adecuado.

Tabla N°3: Cuadro comparativo entre un modelo de PLC Twido, Siemens, Telemecanique y Unitronics

PLC's	TWIDO	SIEMENS	TELEMECANIQUE ZELIO LOGIC	UNITRONICS
Características				
Modelo	TWDLMDA20DRT	CPU-222	SR2E121BD	V570-57-T40B
Salidas y Entradas	E/D: 12 E/A: 1 S/D: 8	E/D: 8 S/D: 6	E/D: 8 E/A: 4 S/D: 4	E/D: 16 E/A: 2 S/D: 16
Expansión	TWDAMMIGHT* E/A: 4 S/A: 2	EM-231 E-S/A: 8	SR3XT43BD* E/A: 3 S/A: 2	V200-18-E3XB E/A: 4 S/A: 4
Comunicación Ethernet	Protocolo Incluido	CP 243-1	SR3 NET01BD	V200-19-ET1
Software Programación	Twido Suite	Step 7	Zelio Soft 2	Visilogic
Licencia	Gratuita	No Gratuita	No Gratuita	Gratuita
Cable Programación	Ethernet, USB	SIEMENS	TELEMECANIQUE	Mini USB
HMI	No Integrada Magelis XBT GT	No Integrada KTP600	No Integrada Magelis XBT GT	Pantalla Integrada
Asistencia Programa	Ayuda en Línea	Software	Ayuda en Línea	Software

Después de analizar cada una de las características de los distintos PLC's se decidió trabajar con el V570 de Unitronics, el cual se puede observar en la Figura N°5.



Figura N°5: PLC V570 de Unitronics



Fuente: <http://unitronicsplc.com/vision-series-vision570/>

Tanques: En la Tabla N°4 se observa cuáles son las medidas, la forma y el materia de los dos tanques del módulo didáctico.

Tanque N°4: Características de los tanques

Tanque de Suministro	Tanque de Control
Forma	
Rectangular	Cilíndrico
Medidas	
22 x 45 x 15 cm 	D: 15 cm y h: 30 cm 
Capacidad	
14,85 L	5,3 L
Material: Acrílico	

Actuadores: La Bomba (Caudal: 15L) y las Electroválvulas tendrán un voltaje de alimentación de 24 V, con Regulación de 4 a 20 mA y Rosca de ½ pulgada tipo NPT.

Rotámetro: Es un instrumento indicador de caudal, en este caso se trabajará con uno de ½ pulgada de 0 a 18 LPM, como se muestra en la Figura N°6.

Figura N°6: Rotámetro



Fuente: <http://www.flowmeterclub.com/rotameter>

Sensores de Nivel: La Tabla N°5 es una comparación entre los tipos de sensores más usados para la medición de nivel.

Tabla N°5: Cuadro Comparativo entre tipos de sensores de nivel.

Sensores	Ventajas	Desventajas
Capacitivos	<ul style="list-style-type: none"> - Detectan la presencia de metálicos y no metálicos. - Tiene una gran precisión. - No necesita entrar en contacto con el objeto. - No se desgasta, Son insensibles al polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere limpieza cuidadosa. - Pueden verse afectados por la presencia de campos electroestáticos intensos. - Distancia de detección corta.
Óptico	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de integración en sistemas complejos. - Posibilidades de control a distancia. - Baje coste y tecnología bien establecida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Distancia de detección corta. - Son muy sensibles a factores ambientales.
Ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> - Rango de detección amplio. - Detección independiente del material y del color. - Detección segura de objetos transparentes y sin contacto. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se deben usar en superficies inclinadas. - Son un poco más costosos.
De Presión Diferencial	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje Sencillo. Fácil de Ajustar. - Precisión Razonable. - Amplio uso de aplicaciones en la industria alimentaria donde se manejan productos con viscosidades cambiantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependientes de la densidad relativa. - Relativamente costoso para mediciones de presión diferencial.
Inductivo	<ul style="list-style-type: none"> - No entran en contacto con el objeto. - No se desgasta. - Tiene un tiempo de reacción de muy reducido. - Ligero y de reducido tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo detectan materiales metálicos. - Pueden verse afectados por la presencia de campos electromagnéticos intensos. - El margen de operación es bastante corto.

Para la implementación del módulo didáctico se trabajará con un Sensor de ultrasonido y un Sensor de presión diferencial, esto con la intención de tener dos sensores con pendientes contrarias.

Caracterización de los elementos: Se pondrá en funcionamiento cada uno de los dispositivos seleccionados y adquiridos, se realizarán las mediciones respectivas de entrada y de salida de cada elemento para crear una base de datos. A través de esta data y con ayuda de un Software matemático (MatLab, LabView) se encontrará el modelo matemático que representara el comportamiento de estos.

Programación del PLC: La programación debe responder a las necesidades iniciales del proyecto como es la supervisión, el control y la adquisición de datos, se debe poder controlar cada uno de los actuadores desde la pantalla táctil del PLC, además de que la programación y el diseño de la interfaz debe cumplir con los requerimientos de las normas.

El software a trabajar es el Visilogic, en este se puede realizar tanto el diseño de la interfaz gráfica como la programación en ladder del PLC.

En la Figura N°7 se observa la pantalla principal (PANEL DE CONTROL) de la interfaz, en ella hay acceso a los demás displays del proceso.

Figura N°7: Panel de Control



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

En la opción de “Set Up Variables” (Figura N°8) del panel de control se permite ingresar el caudal y el nivel deseado, de seleccionar con cual actuador (Bomba o Electroválvula de Llenado) se realizara el control del caudal, y de utilizar la Electroválvula de vaciado como una perturbación en el proceso.

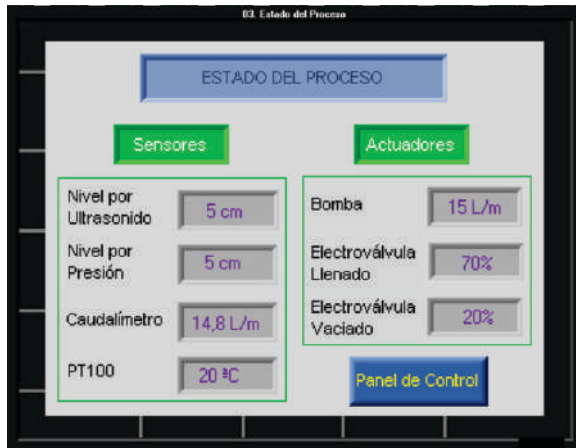
Figura N°8: Set Up de Variables



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

Como se aprecia en la Figura N°9, la pantalla de “Estado del proceso” permite ver en tiempo real cuales son los valores de las dos variables a controlar, además de las lecturas de los sensores y actuadores.

Figura N°9: Estado del proceso



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

El diseño de la programación también dará la opción de forzar los actuadores, esto se refiere a que las electroválvulas no trabajaran según un caudal requerido sino a un porcentaje de abertura, esto se permitirá hacer desde la pantalla “Control directo de actuadores”, como se muestra en la Figura N°10.

Figura N°10: Control directo actuadores



Fuente: Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos, Tesis de Grado.

Las Alarmas me permiten observar si alguno de los actuadores o de los sensores presente algún tipo de falla y está trabajando fuera de la línea de caracterización. Además de que hay tres alarmas de seguridad que detienen por completo del proceso, como lo son:

- Alarma de nivel bajo tanque de suministro: Siempre se debe asegurar que haya el nivel necesario de agua para el funcionamiento de la bomba.
- Alarma de nivel alto tanque de suministro y nivel alto tanque de control: Para evitar desbordamientos.

Montaje Final: Se hará el acoplamiento mecánico y eléctrico de los componentes del banco de pruebas, se realizara el manual y los planos de conexiones que serán los documentos bases para la correcta utilización del módulo, además se elaboraran las guías de laboratorio las cuales contendrán varias prácticas que se pueden llevar acabo con el banco de pruebas.

Diseño de la Interfaz Gráfica: Se trabajará con el programa de LabView para la realización de la Interfaz gráfica, se diseñará tomando como referencia el montaje final y siguiendo las pautas que dictan las normas de instrumentación. Se realizará el respectivo protocolo de comunicación entre el PLC y la HMI, la cual estará en un computador desde el cual se realizara SCADA.

Pruebas: Se llevarán a cabo pruebas de funcionamiento con el fin de detectar posibles errores y realizar los ajustes necesarios para su correcta operación, además se comparará el comportamiento de cada uno de los actuadores y sensores con los modelos hallados durante su caracterización.

Socialización del proyecto: Se convocará a la comunidad académica para dar a conocer los resultados del proyecto mediante una exposición, la divulgación de artículos, además de la presentación de los manuales del Módulo y las guías de base para la realización de prácticas con los estudiantes.

RESULTADOS

Se espera que a la hora de la culminación del proyecto, se haga entrega a los Laboratorios de Electricidad & Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander el prototipo que brindará al estudiante o ingeniero encargado la posibilidad de realizar lazos de control sobre las variables de nivel y caudal, manipulando los actuadores a través de las señales de salida del PLC; de llevar a cabo supervisión, interactuando sobre el proceso a través de una interfaz Gráfica diseñada en LabView; y de realizar una Adquisición de Datos de los valores de las señales de los sensores y actuadores del proceso, además con la documentación final de cada uno de los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos involucrados en el proceso, los archivos de programación del PLC, y las guías de base para la realización de las prácticas con los estudiantes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El prototipo a construir integra diferentes tecnologías de medición y control de nivel y caudal, donde los estudiantes podrán obtener experiencias más reales de la industria con los instrumentos de medición y actuadores que se trabajarán en el Módulo Didáctico, dando como resultado que los estudiantes aprendan de una manera sencilla y práctica las técnicas de automatización y control de procesos industriales.

- Se comprobó que en comparación con el precio de los Módulos Didácticos que se pueden adquirir en el mercado, la implementación del Banco de Pruebas que se plantea en este documento permite la reducción de gastos, ya que el diseño y construcción se hará con la intención total de disminuir costos, además de que la Universidad ya cuenta con las licencias de los Softwares a usar.

- Se recomienda que a la hora de la selección de los equipos, se debe tener criterios cuantitativos y cualitativos que permita cumplir con las especificaciones técnicas del proyecto, haciendo énfasis en la elección del autómatas, debido a que

este es el centro de mando y comunicaciones entre los sensores, actuadores y la HMI.

- Se recomienda a los estudiantes e ingenieros que harán uso del Prototipo que revisen los manuales y planos eléctricos que se entregaran a la hora de la finalización del proyecto, esto con el fin de hacer un uso correcto del Módulo.

REFERENCIAS

- [1] Méndez Robles, M. Erazo Silva, P. (2014). Implementación de un banco de pruebas para el control de nivel de líquidos en el Laboratorio de Instrumentación Industrial de la Facultad de Mecánica. Tesis de Pregrado Ingeniería de Mantenimiento, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- [2] Control de Procesos "SCADA". Recuperado el 08 de Agosto del 2015 de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/controldeprocesos.pdf>.
- [3] Benítez Cadena, V. Zalamea Balladares, J. (2003). Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos. Tesis de Pregrado Ingeniería Electrónica y de Control, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- [4] Introducción a HMI. Recuperado el 15 de Abril del 2016 de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- [5] Ojeda, Y. Sánchez, C. Pérez, E. Suárez, E. Ladino, C. Tobar, M. (2011). Tipología de proyectos de carácter científico, tecnológico e innovación. Recuperado el 01 de Abril del 2016 de <http://www.itc.edu.co/archives/investigacion/Tipologias.pdf>.

Comparación De Controladores Pi Determinísticos Y Controladores Pi Heurísticos Desarrollados Por Medio De Lógica Difusa Usados En Modelos De Máquinas Eléctricas

JOHN JAIRO CASTRO MALDONADO¹

Resumen

Este trabajo realiza una comparación de dos clases de controladores PI (proporcional e integral), uno desarrollado por medio de técnicas convencionales como Ziegler and Nichols en lazo cerrado o lazo abierto, Dahlin, compensación de polos, etc. Y otro desarrollado por medio de lógica difusa. La variable controlada es la velocidad angular de un motor de corriente continua de imanes permanentes. En este análisis, se desarrolló mediante una simulación dinámica implementada en Simulink® de Matlab®, en todos los casos se estudiaron los comportamientos de respuesta de los controladores producido ante un cambio escalón en la referencia, igualmente, los controladores se sometieron a condiciones iguales de set point y planta. Adicionalmente, para verificar el funcionamiento del controlador se le indujo una perturbación al proceso y se analizó la respuesta producida. Los resultados manifiestan que los controladores desarrollados por medio de lógica difusa (Método heurístico) tienen funcionalidades muy similares a los controladores con técnicas convencionales (Método determinístico), no obstante, cabe resaltar que los controladores PI de lógica difusa para su diseño no necesitan saber el comportamiento de la planta, es decir, no se requiere de una identificación o modelado del proceso, por lo que en algunos casos estos controladores son más prácticos en la parte industrial. Es importante tener en cuenta, que el comportamiento, de los controladores PI difusos pueden tener valores de offset en estado estable, esto debido a que un controlador difuso, se ejecuta en base a aproximaciones.

Palabras clave: Controlador PI, Lógica difusa, Modelado, Máquinas eléctricas

¹ Líder SENNOVA. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. E-mail: johnjacama@misena.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Los motores de inducción, son máquinas eléctricas usadas en las industrias a nivel mundial, debido a que nos aportan potencia mecánica y precisión en donde se requiera grandes esfuerzos y control [1].

El control de los motores eléctricos es un proceso complejo debido a sus características no lineales [2], ya que la velocidad a la cual giran y la potencia que entregan dependen de la carga, la frecuencia de la señal de entrada y de la tensión de alimentación. Para compensar estos inconvenientes se utilizan diferentes métodos [3] dentro de los que tenemos el control de motores eléctricos por medio de controladores PI, PD y PID, en donde su elemento principal es el diseño u obtención de los valores de las ganancias que garanticen el óptimo funcionamiento del control [2], Así mismo, para la obtención de estas ganancias se aplican diferentes procedimientos determinísticos del que podemos resaltar: “Respuesta de razón de asentamiento de un cuarto, mediante el método de ganancia última” desarrollado por Ziegler and Nichols en 1942 y del cual se pueden desprender algunos submetodos como son: Método de la línea tangente y el método de los dos puntos[4].

Gracias a los avances en las técnicas de control en los últimos años y a la sinergia que ha tenido últimamente el control industrial con el desarrollo de software y la informática, ha permitido vincular la inteligencia artificial a estos procesos, por lo que se han podido desarrollar controladores PI, PD y PID a partir de bases de lógica difusa.

Este artículo muestra la forma de controlar la velocidad angular de un motor a través de un método convencional de control que al obtener la respuesta del proceso o planta (velocidad) se realiza una comparación con el control de inteligencia artificial (lógica difusa) y así obtener las ventajas o desventajas que tiene la implementación de cada una de estas dos técnicas.

El control de velocidad se realizará a través del software de ingeniería Matlab® debido a

que presenta una gran variedad de elementos, herramientas y bloques funcionales al momento de la simulación de sistemas dinámicos como el Simulink® [3].

MÉTODO

Este trabajo presenta un estudio simulado del control de velocidad de un motor DC de imanes permanentes y se enmarca en un contexto explicativo-descriptivo en donde las variables estudiadas son la variable controlada (Velocidad) y el setpoint de nuestro proceso o planta (motor). En donde se permitirá analizar el comportamiento de dos tipos de estrategias de control divulgados en varios textos científicos como es el control determinístico y el control heurístico (lógica difusa).

Esta investigación cumplirá una serie de etapas metodológicas secuenciales. En la primera fase se plantea el modelo dinámico de un motor D.C, en función a un circuito equivalente [5], en donde se evidencia los diferentes elementos tanto eléctricos y mecánicos que posee dicho modelo, el cual nos permite tener un acercamiento muy importante al funcionamiento real del motor D.C.

En la segunda fase se presenta la implementación del control determinístico y debido a que el procesos presenta un tiempo muerto muy bajo se realizará el diseño del controlador por medio del método de síntesis de controlador o Dahlin [2].

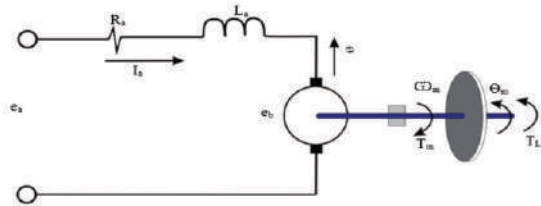
En la tercera fase se procede a diseñar los controladores fuzzy de 3 y 5 funciones de membresía de acuerdo a las reglas establecidas en Ponce cruz (2010) [6], teniendo como entrada, el error y la derivada del error, y la salida como la corrección $u(t)$.

En la cuarta fase se compara la señal de salida del proceso con cada uno de los controladores enunciados anteriormente.

Modelo del motor D.C de imanes permanentes: Ya que el motor D.C es uno de los motores que se usan más ampliamente en

sistemas de control, es necesario conocer un modelo matemático que represente su dinámica, por lo que se utilizará el modelo de circuito equivalente presentado en la figura 1[5]

FIGURA1. CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR D.C DE IMANES PERMANENTES



Fuente: Autor

La armadura está representada con un circuito en donde se ubica una resistencia R_a en serie con una inductancia L_a y una fuente de voltaje e_a , adicionalmente se presenta en serie también una fuente de voltaje e_b que representa la fuerza contra electromotriz en la armadura cuando gira el rotor, Las variables del motor se definen como:

- $i_a(t)$ =corriente de armadura
- R_a =Resistencia de armadura
- $e_b(t)$ =fuerza contraelectromotriz
- $T_L(t)$ =Par de carga
- $T_m(t)$ =par del motor
- $\Theta_m(t)$ =desplazamiento del rotor
- K_i =constante del par
- L_a =Indctancia de la armadura
- $e_a(t)$ =voltaje de la fuente
- K_b =constante de la fuerza contraelectromotriz
- Φ =flujo magnético en el entrehierro
- $\omega_m(t)$ =velocidad angular del rotor
- J_m =Inercia del motor
- B_m =Coeficiente de fricción viscosa

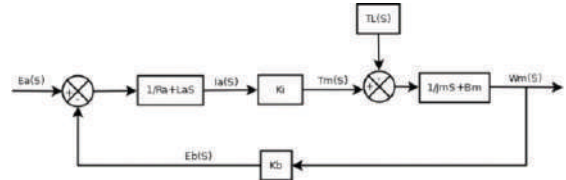
Al desarrollar las ecuaciones generadas del circuito eléctrico por L.V.K y del D.C.L del eje del rotor se obtiene la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} = \frac{1}{J_m} T_m(t) - \frac{1}{J_m} T_L(t) - \frac{B_m}{J_m} \frac{d\theta_m(t)}{dt} \quad \text{Eq. 1}$$

A la Eq. 1 se le procede a aplicar la transformada de Laplace para pasar de tiempo continuo a frecuencia continua y

poder, de manera más práctica montar el diagrama de bloques de nuestro sistema como se puede ver en la figura 2.

FIGURA 2. DIAGRAMA DE BLOQUES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA DEL PROCESO



Fuente: Autor

Para realizar la simulación se hace necesario conocer los valores numéricos de los parámetros internos del motor, por lo que a continuación se relacionan dichos valores en base a las características de la placa de un motor D.C presentado por Castillo (2010)[7].

Momento de inercia del sistema (J_m) = 0.8 Kg.m²/s²

R_a =Resistencia de armadura= 1,4 Ω

$T_L(t)$ =Par de carga=1N.m

K_i =constante del par=0,5 N.m/A

L_a =Inductancia de la armadura=50 mH

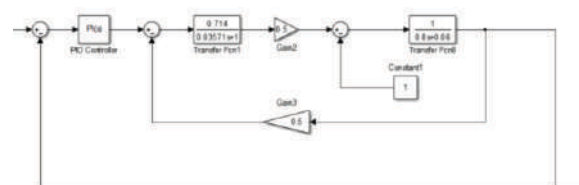
K_b =constante de la fuerza contraelectromotriz=0,5 N.m/A

J_m =Inercia del motor=0,8 kg.m²/s²

B_m =Coeficiente de fricción viscosa=0,06 Nms

En la figura 3. Se muestra el diagrama de bloques del sistema con los valores numéricos y la implementación del controlador PI.

FIGURA3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA CON EL CONTROLADOR PI IMPLEMENTADO

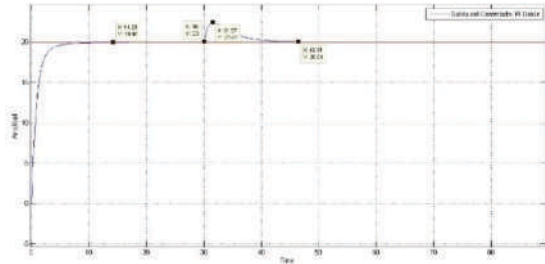


Fuente: Autor

Igualmente, en la figura 4, se presenta la respuesta del lazo de control con la

implementación del controlador PI diseñado por el método de síntesis de controlador o Dahlin.

FIGURA 4. RESPUESTA DEL PROCESO A UNA ENTRADA ESCALÓN



Fuente: Autor

Diseño e implementación de controladores Fuzzy: A continuación procederemos a diseñar los controladores Fuzzy (heurísticos) para el proceso planteado del motor D.C, sin embargo, es importante resaltar que los controladores Fuzzy no requieren de un conocimiento previo del proceso, es decir, no se necesita de una identificación o modelado del sistema, para el desarrollo de estos nos guiaremos de las reglas y funciones de membresía definidas en Ponce cruz (2010) [6] y Villanueva, Ponce, & Molina (2015)[8]. A continuación en las tablas 1 y 2 se presentan las matrices de asociación difusa (FAM) para las reglas de tres y cinco funciones de membresía respectivamente.

Tabla 2. FAM para controlador PI con tres funciones de Membrecía

Error/Derror	N	Z	P
N	N	Z	P
Z	N	Z	P
P	P	Z	P

Fuente: Ponce cruz, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. (Alfaomega, Ed.) (Primera). México

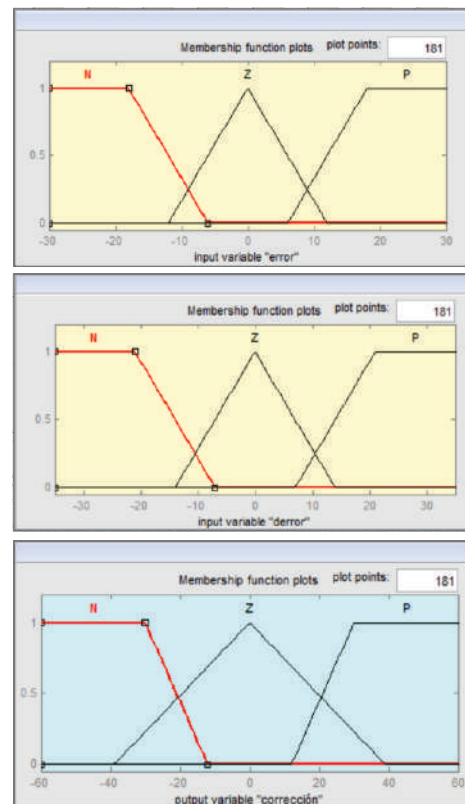
TABLA 3. FAM PARA CONTROLADOR PI CON CINCO FUNCIONES DE MEMBRECÍA

Error/Derror	NG	NP	Z	PP	PG
NG	NG	NP	Z	PP	PG
NP	NG	NP	Z	PP	PG
Z	NG	NP	Z	PP	PG
PP	NG	NP	Z	PP	PG
PG	NG	NP	Z	PP	PG

Fuente: Ponce cruz, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. (Alfaomega, Ed.) (Primera). México

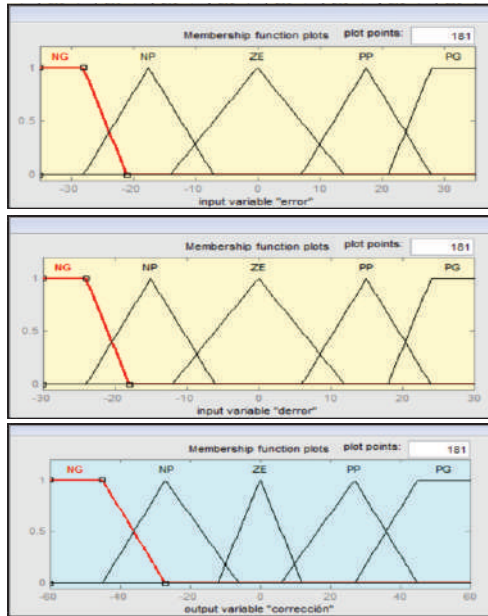
Igualmente, presentamos en las figuras 5 y 6 las gráficas de los diseños de los controladores con tres y cinco funciones de membresía respectivamente.

FIGURA 5. GRÁFICAS DEL DISEÑO DEL CONTROLADOR CON TRES FUNCIONES DE MEMBRECÍA



Fuente: Autor

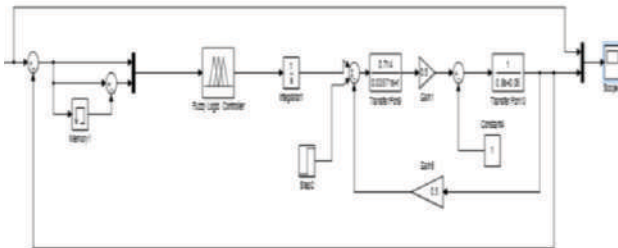
FIGURA 6. GRÁFICAS DEL DISEÑO DEL CONTROLADOR CON CINCO FUNCIONES DE MEMBRECIÁ



Fuente: Autor

De igual modo, se presenta el diagrama de bloques de la planta con la implementación del controlador fuzzy. Ver figura 7.

FIGURA 7. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESOS CON EL CONTROLADOR FUZZY IMPLEMENTADO



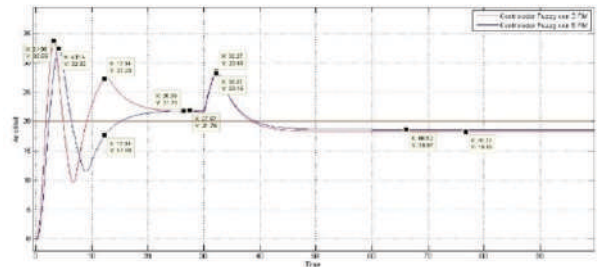
Fuente: Ponce cruz, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. (Alfaomega, Ed.) (Primera). México

En la figura 8, se aprecia la respuesta de los controladores PI heurísticos, en color rojo se presenta la respuesta del controlador PI con cinco funciones de membresía y en color azul se presenta la respuesta del controlador PI

con tres funciones de membresía, una de las observaciones que se puede hacer al respecto del comportamiento de estos dos controladores, es que el PI con tres funciones de membresía presenta menor sobre impulso pero mayor tiempo de estabilización, en cambio el controlador PI con cinco funciones de membresía manifiesta un mayor sobreimpulso pero menor tiempo de estabilización.

Se observa efectivamente que los controladores heurísticos están realizando su trabajo de control, esto se evidencia a través del comportamiento que se muestra en la figura, en donde la señal manifiesta una tendencia a volver al setpoint después de la aplicación de la perturbación escalón de amplitud 10 a 30 segundos.

FIGURA 8. RESPUESTA DEL PROCESO CONTROLADO MEDIANTE UN CONTROLADOR FUZZY A UNA ENTRADA ESCALÓN



Fuente: Autor

RESULTADOS

En la tabla 3, se mencionan los parámetros importantes al momento de realizar la comparación de desempeño entre los controladores PI determinísticos y PI heurísticos. Estos parámetros se relacionan a continuación:

- Offset (ΔL_{off}): diferencia entre el set point prefijado y el valor alcanzado por el controlador en régimen estacionario.
- Velocidad (t_{tao}): Tiempo requerido para alcanzar el 63% del valor final prefijado
- Sobrepico (L_{max}): Máximo valor alcanzado en el primer acercamiento al valor final.

- Sobrepico porcentual ($L\%$): Valor porcentual excedente del primer sobrepico del valor final prefijado.
- Tiempo de estabilización (t_E): Tiempo requerido por el controlador para entrar en una franja de +/- 1% del valor final. [9]

TABLA 4. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS ENTRE CONTROLADORES PI DETERMINÍSTICOS Y CONTROLADORES PI FUZZY

Controlador	Parámetros				
	ΔL_{off}	t_{tao}	L_{max}	$L\%$	t_E
PI determinístico	0.0002	0.87 s	20.00	0%	7 s
PI fuzzy con 3 reglas	1.81	1.37s	33.01	39.41%	29.23s
PI fuzzy con 5 reglas	1.78	1.75s	32.32	38.11%	29.82s

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una conclusión destacable y confirmada en este trabajo es que los controladores fuzzy no requieren de un conocimiento exacto de la planta, para realizar su control, no obstante, presenta un control aceptable en estos procesos.

En relación al offset manifestado por los controladores, el mejor comportamiento lo obtuvo el controlador PI determinístico, no obstante, el controlador Fuzzy con cinco funciones de membresía manifiesta un offset menor que el de tres funciones de membresía.

Debido a que el proceso no tenía un tiempo muerto representativo en relación a su constante de tiempo fue necesario diseñar el controlador por medio del método de síntesis de controlador o Dahlin.

Se han utilizado dos variantes de controladores fuzzy, una de ellas con una base de tres reglas y la otra con una base de cinco

reglas, no obstante, se determinó que el controlador fuzzy ampliado no ha tenido un comportamiento más relevante que su homólogo de tres reglas, por lo que se considera a este último como el de mejor desempeño.

REFERENCIAS

- [1] F. Jaimes, O. Ruiz, H. A. Y. Harb, A. Karim, and P. Galindo, "Modelado e implementación de un manejador eléctrico para un motor de inducción trifásico," 2014.
- [2] S. Padmanaban, F. Daya, F. Blaabjerg, and N. Mir-Nasiri, "Numerical implantation of wavelet and fuzzy transform IFOC for three-phase induction motor," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 19, pp. 96–100, 2016.
- [3] L. Enrique, A. González, J. Pablo, and G. Tamayo, "Simulación de control vectorial a un motor de inducción Simulation of a vector control to an induction motor," vol. 18, no. 1, pp. 1–10, 2013.
- [4] C. Smith and A. Corripio, *Control Automatico de Procesos teorica y práctica*, Primera ed. 1991.
- [5] B. Kuo, *Sistemas de Control Automatico*, Primera. 1995.
- [6] P. Ponce cruz, *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*, Primera. México, 2010.
- [7] R. Castillo, "Motores de corriente directa," in *Motores de corriente directa*, 2016.
- [8] I. Villanueva, P. Ponce, and A. Molina, "Interval Type 2 Fuzzy Logic Controller for Rotor Voltage of a Doubly-Fed Induction generator and pitch angle of wind turbines blades," vol. 3, pp. 2195–2202, 2015.
- [9] S. Martinez, E. Tarifa, and Á. Nuñez, "comparación de desempeño entre controladores fuzzy y controladores proporcionales," *Av. en Ing.*, vol. 3, pp. 91–101, 2012.

Gestión de I+D en las Empresas Metalmeccánicas del Corredor Industrial de Boyacá, Colombia

CARLOS GUILLERMO CARREÑO BODENSIEK₁
MÓNICA BIBIANA GONZÁLEZ CALIXTO₂

Resumen

Las capacidades y gestión de la investigación, innovación y desarrollo (II+D) del sector metalmeccánico del Corredor Industrial de Boyacá no ha sido establecido. El fortalecimiento del sector implica crear o mejorar los departamentos de investigación, innovación y desarrollo de cada empresa. Se establecen en este trabajo las capacidades de las empresas en II+D a partir de la evaluación de cuatro factores: Los programas, iniciativas formales y proyectos tecnológicos desarrollados por parte de las empresas en los últimos cinco años; la infraestructura destinada para investigación y desarrollo en las empresas; la existencia y necesidad de talento humano contratado para investigación y la relación y descripción de las fuentes de financiación para desarrollo de nuevos productos y procesos. También se evalúan las actividades de innovación e investigación y su articulación con los grupos, centros de investigación y universidades o entidades especializadas en la formulación y ejecución de proyectos de este tipo a partir de la caracterización del tipo de proyectos desarrollados, la existencia de convenios formales de cooperación y los tipos de relación universidad – empresa que se establecen.

Palabras claves:

Innovación, Investigación y Desarrollo, Metalmeccánica

1 Escuela de Ingeniería Electromecánica, UPTC, Profesor Titular. Ingeniería Electromecánica. E-mail: carlos.carreno@uptc.edu.co

2 Escuela de Administración y Finanzas, Universidad del Tolima, Profesora Asistente

INTRODUCCIÓN

El sector metalmecánico ha sido priorizado dentro de las diferentes iniciativas de apoyo del gobierno nacional y regional, tales como la Comisión Regional de Competitividad – Área Metalmecánica [1] y en proyectos como el de Transferencia Metodológica para la creación de redes empresariales para mejorar la competitividad y estimular el desarrollo empresarial de la región [2] [3]. Algunas de las instituciones de educación superior más importantes de Colombia, tales como el SENA, la Universidad Santo Tomás de Tunja y la UPTC se han integrado junto a la Gobernación de Boyacá y a la Secretaría de Industria y Comercio del municipio de Duitama para desarrollar proyectos directamente relacionados con el sector y que aporten al mejoramiento y posicionamiento del mismo en el mercado de clase mundial [4].

Las empresas metalmecánicas del Corredor Industrial de Boyacá en Colombia han sido conscientes de esta tendencia, [5] y han manifestado su interés en participar activamente en la generación de propuestas y participación en iniciativas oficiales y privadas que les permitan estar en capacidad de competir y beneficiarse económica y socialmente de esas oportunidades.

Se mencionan en este trabajo los programas e iniciativas llevadas a cabo en los últimos cinco años por parte de las empresas del sector relacionadas con el desarrollo de nuevos productos y procesos, [6] [7] y las actividades de innovación e investigación y su articulación con universidades o entidades especializadas en la formulación de proyectos de este tipo [8].

METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos del trabajo se definieron los siguientes aspectos:

Contexto poblacional

Se incluyen en este estudio las empresas representativas de sector metalmecánico de Boyacá (Sogamoso, Duitama y Tunja) teniendo en cuenta cada una de sus especializaciones o subprocesos, de la siguiente manera:

- *Transformación de materias primas para la fabricación de productos metalmecánicos:* Laminación, fundición, troquelado, realización de tratamientos térmicos, mecanizado por arranque de viruta, corte longitudinal y transversal de lámina, manipulación de procesos de laminación, estampado, doblado, embutido, electroerosión, haz de electrones, embutido y oxicorte.
- *Recubrimiento y acabados para protección de metales:* Recubrimiento y acabados, aplicación de pinturas como proceso de acabado en la fabricación de productos industriales, por chorro de arena, láser y rectificado.
- *Carrocerías de pasajeros y carga:* Empresas carroceras para transporte de pasajeros, empresas carroceras para transporte de carga y empresas fabricantes de insumos metálicos.

Definición de variables

- *Proyecto Tecnológico:* Es una iniciativa con una serie de etapas que da como resultado un producto nuevo o mejorado que facilitan la vida humana. Estos proyectos tecnológicos surgen después de analizar otros proyectos o del análisis del mismo producto en donde se puede observar las fallas y poder corregirlas.
- *Interacción Industria – Academia:* Es la relación que existe entre las instituciones o entidades de formación académica con el sector industrial.

- *Infraestructura Investigativa:* Son los elementos físicos y de espacio con que cuenta una empresa para el desarrollo de la investigación.
- *Financiación Investigativa:* Es el medio existente que ofrece una entidad para el desarrollo de proyectos de investigación, innovación y desarrollo.
- *Prototipo:* Es un modelo (representación, demostración o simulación) fácilmente ampliable y modificable de un sistema planificado, probablemente incluyendo su interfaz y su funcionalidad de entradas y salidas.
- *Procesos productivos:* Son una Secuencia de actividades requeridas para elaborar un producto (bienes o servicios).

Tipo de investigación

La investigación desarrollada es de tipo documental. Las fuentes documentales en este caso son documentos escritos, como libros, tesis, trabajos de grado, encuestas y entrevistas, documentos electrónicos, páginas web, documentos en la web.

Instrumentos de investigación

Se utilizan herramientas para la obtención de la información necesaria de primera mano, por lo tanto se crearon cuestionarios que provean los datos necesarios para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto. Los instrumentos de investigación son:

- La encuesta cerrada
- La entrevista guiada

RESULTADOS

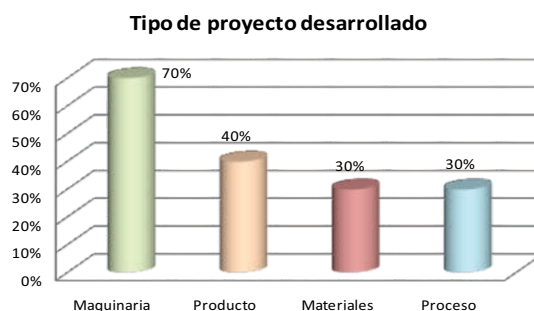
A partir de la aplicación de las encuestas a las empresas seleccionadas del sector metalmeccánico en Boyacá y las entrevistas realizadas a los Centros y Grupos de Investigación de las instituciones académicas elegidas y apoyados en la investigación

bibliográfica y la exploración virtual se puede realizar un análisis de las capacidades en investigación, innovación y desarrollo para el sector, de acuerdo a las variables escogidas y definidas arriba.

Proyectos tecnológicos.

En cuanto a los proyectos tecnológicos se estableció que el 71% de las empresas han realizado algún proyecto, en su mayoría relacionados con maquinaria, seguida del desarrollo de producto, lo cual manifiesta una buena iniciativa de las empresas del sector en desarrollar proyectos o en proyectarse a realizarlos. La figura 1 muestra el tipo de proyectos desarrollados por las empresas en los últimos cinco años.

Figura 1. Proyectos desarrollados.



Fuente: Los autores.

Se determinó que la frecuencia para la ejecución de los proyectos, por parte de los empresarios es anual, los cuales son propiciados por la petición del mercado o por la iniciativa de las mismas empresas para incrementar su productividad.

También se establece que las principales necesidades que las empresas del sector metalmeccánico tienen para el desarrollo de sus proyectos son [9]:

- Capacitación en investigación, innovación y/o desarrollo de producto y procesos
- Laboratorios y métodos de ensayos
- Materiales
- Presupuesto

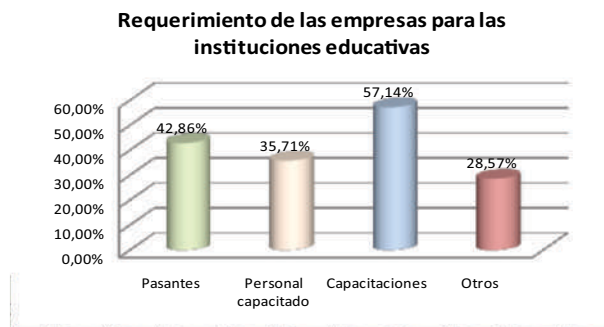
- Planeación de proyectos

Interacción Academia - Industria

En cuanto a la interacción Industria- Academia se detecta que el 50% de las empresas han desarrollado algún proyecto en conjunto con las universidades en cuanto a mejora de procesos productivos, desarrollo de máquinas o herramientas, desarrollo de nuevos productos y capacitaciones.

El 85% de los proyectos realizados en conjunto se han implementado en las empresas y han traído beneficios para ellas. Actualmente, la participación de los pasantes ha generado que el 36% de las empresas del sector tengan un convenio vigente con las universidades.

Figura 2. Requerimientos de las empresas para con las instituciones educativas.



Fuente: Los autores.

En contraste y de acuerdo a como se muestra en la figura 2, las empresas requieren que el sector académico provea capacitación permanente en cuanto a sus necesidades en II+D.

Desde el inicio del año 2010 hasta el segundo semestre del año 2015 se desarrollaron 371 trabajos de grado relacionados con el sector metalmecánico.

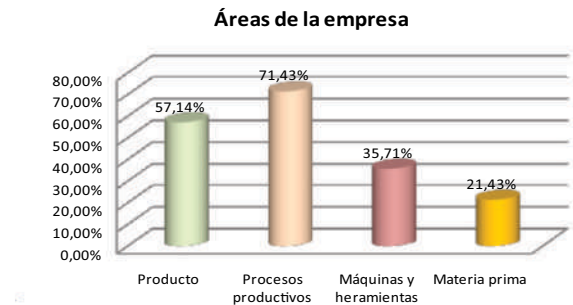
Infraestructura para la investigación, innovación y desarrollo.

En cuanto a la infraestructura que poseen las empresas destinadas a la investigación, innovación y desarrollo, se determinó que las

empresas en un 64%, carecen de un departamento de II+D y desconocen lo que requieren (35.71%), pero cuentan en su mayoría (57.14%), con la infraestructura para implementar dicha área.

Así mismo, las empresas muestran interés en establecer el área de II+D dentro de las empresas (64.28%), para trabajar proyectos que vayan encaminados hacia el mejoramiento de los procesos productivos, seguido de producto, con el fin de mejorar su productividad (figura 3).

Figura 3. Impacto de productividad por áreas con el departamento de II+D.



Fuente: Los autores.

Talento humano para investigación, innovación y desarrollo

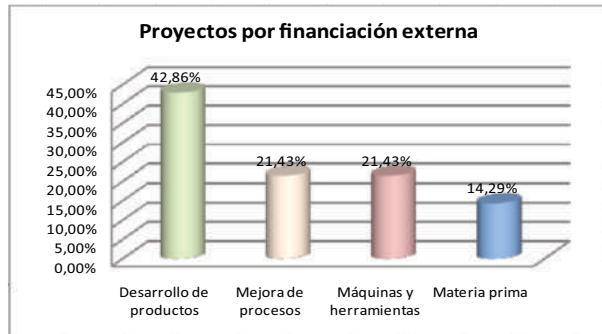
Respecto a talento humano que poseen las empresas para la investigación, innovación y desarrollo se determinó que el 42.85% de las empresas cuentan con personal cualificado que tienen un nivel profesional (ingenieros y diseñadores industriales) y técnico.

El porcentaje restante (57.15%), utiliza la contratación externa o algún tipo de alianzas, asesorías o capacitaciones para el desarrollo del área, adicionalmente se estableció que el 50% de las empresas tienen la intención de contratar personal para el área de II+D que cuenten con conocimientos especialmente del sector, en ingeniería mecánica, materiales y productos.

Financiamiento para desarrollo de proyectos.

Se detectó que sólo el 35.71% de las empresas, tiene conocimiento sobre las entidades que financian proyectos y solo 14.28% de estas mismas han realizado proyectos (figura 4) financiados por alguna entidad.

Figura 4. Empresas involucradas en investigación con financiación externa.



Fuente: Los autores.

En la tabla 1 se presentan los porcentajes de financiación de las entidades con respecto a los gastos que asume la empresa en relación con el gasto que asume la empresa para la financiación de proyectos.

Sin embargo, se establece falta de conocimiento, participación e interés de las empresas para promover algún tipo de proyecto con las entidades que les facilita el financiamiento ya que estas dicen tener pocos recursos y tiempo para dicho proceso.

Tabla 1. Financiación externa respecto a costo total de proyectos en la empresa.

Financiación de entidades externas	
Entre el 5% y el 10%	57,14%
Entre el 30% y el 50%	7,14%
Entre el 10% y el 30%	7,14%
Entre el 50% y el 70%	14,29%

Fuente: Los autores.

CONCLUSIONES.

Se estableció que el 71% de las empresas han realizado algún proyecto, en su mayoría

relacionados con maquinaria, seguida del desarrollo de producto, lo cual manifiesta una buena iniciativa de las empresas del sector en desarrollar proyectos o en proyectarse a realizarlos.

La frecuencia para la ejecución de proyectos es anual, los cuales son propiciados por la petición del mercado o por la iniciativa de las mismas empresas para incrementar su productividad.

El 50% de las empresas han desarrollado algún proyecto en conjunto con las universidades en cuanto a mejora de procesos productivos, desarrollo de máquinas o herramientas, desarrollo de nuevos productos y capacitaciones.

Se determinó que un 64% de las empresas carecen de un departamento de II+D y desconocen lo que requieren, pero cuentan en su mayoría (57.14%), con la infraestructura para implementar dicha área. En cuanto a talento humano, se determinó que el 42.85% de las empresas cuentan con personal cualificado con nivel profesional y técnico para implementar procesos de II+D.

Sólo el 35.7% de las empresas, tiene conocimiento sobre las entidades que financian proyectos y solo 14.28% de estas mismas han realizado algún proyecto financiadas por alguna entidad.

REFERENCIAS.

- [1] Comisión Regional de Competitividad. Plan Regional de Competitividad de Boyacá. Tunja: Gobernación de Boyacá. 2008.
- [2] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI] Transferencia de metodología para la consolidación de redes empresariales. Sector Carrocerías. Gobernación de Boyacá. Tunja. 2010.
- [3] Secretaría Distrital de Planeación. Agenda Interna para la Productividad y la

Competitividad de la Región Central de Colombia. Bogotá. 2009.

- [4] Universidad Santo Tomás. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Gobernación de Boyacá. Tunja. 2007.
- [5] Gobernación de Boyacá. Informe ejecutivo, diseño técnico Centro de desarrollo tecnológico para el sector metalmecánico y del transporte terrestre en Boyacá. Sena, Universidad Santo Tomás y Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia. 2010.
- [6] Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. Informe de Coyuntura Económica Regional. Bogotá. 2009.
- [7] Araujo Ibarra & Asociados. Quinientos nuevos productos y servicios con potencial de exportación desde Colombia al mercado de los Estados Unidos, Bogotá, MINCOMEX. 2006.
- [8] Trujillo, R. Estudio Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, Región Económica de Planificación. Gobernación de Boyacá. Tunja. 2010.
- [9] Ministerio de Comercio Industria y Turismo. Encuesta Anual Manufacturera. Bogotá, MINCOMEX. 2008.



UFPS Universidad
**Francisco de Paula
Santander**



**INGENIERIA
ELECTROMECANICA**