MPPEE

Revista de Investigación para el Sector Eléctrico Nacional

Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica
Autoridades:

Luis Alfredo Motta Dominguez
Ministro

Freddy Claret Brito Maestre
Viceministro para el Desarrollo del Sector y la Industria Eléctrica

Carlos Eduardo Borges Polar
Viceministro de Servicio Eléctrico

Manuel David Contreras Hernández
Viceministro para Nuevas Fuentes y Uso Racional de la Energía Eléctrica

Armando Alexis Vega Ramírez
Viceministro de Finanzas, Inversiones y Alianzas Estratégicas

ISSN 2542 - 3118
Depósito legal: DC2016661554

Editor Jefe:
Dr. Freddy Claret Brito Maestre, Director General de la Fundación Instituto para el Desorrollo Energético Luis Zambrano
Caracas, Venezuela.

Comité Editorial:
Ing. Anabel Sandoval, Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano.
Lic. Flaminio Cordido Sánchez, Coordinador de Investigación, MPPEE.

Comité Técnico:
Ing. Ángel Fuentes M. Sc., Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano.
Lic. Patricia Polachini, MPPEE.

Diagramador:
T.S.U. Iris Mendoza, Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano.

Diseño y Publicidad:
T.S.U. Iris Mendoza, Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano.
Ing. Ángel Fuentes M. Sc., Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano.

MPPEE

Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

INDICE DE CONTENIDO

Editorial v

NOTA TÉCNICA: FACTORES CONSIDERADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ALUMINIO EN EL DEVANADO PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO DE DISTRIBUCIÓN. 7
Carlos González

MATRIZ DE CORRELACIÓN DE VARIABLES INTERNAS DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA: PARA ESTABLECER UN MODELO MATEMÁTICO. 13
Luis Mariano Moreno y Manuel Alvarado

EVALUACIÓN DE DIFERENTES ALEACIONES METÁLICAS Y SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO POLIMÉRICOS UTILIZADOS EN LA SUBESTACIÓN JOSE DE CORPOELEC. 30
Maria Bastidas

NIVEL DE SATISFACCIÓN DEL USUARIO CON EL PROYECTO PILOTO PARA LA INSTALACIÓN DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA DEL MUNICIPIO FALCÓN, ESTADO FALCÓN. 40
Fabiola Rodríguez y Luis Díaz

MODELO DE GESTIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN EÓLICA EN EL SECTOR ELÉCTRICO, REGIÓN OCCIDENTE. 46
Fabiola Rodríguez y Adolfina Amaya

USO DEL SOFTWARE R PARA EL PRONOSTICO DE DEMANDA ELÉCTRICA DE CORTO PLAZO.
César A. Yajure Ramírez y Héctor A. Briceño Garcia 60

CARTA AL EDITOR: IMPORTANCIA DE LAS POLÍTICAS DEL MPPEE PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DEL SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL. 71
Carlos González

MPPEE

Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

Editorial

La investigación científica es uno de los pilares fundamentales del cual deben disponer las naciones para encaminar, de manera exitosa, su desarrollo bajo parámetros que garanticen la sostenibilidad en el tiempo.

No obstante, para que las políticas científicas conlleven de manera eficaz a la resolución de los problemas asociados a las necesidades del pueblo, es necesario que exista un proyecto nacional a largo plazo, que guíe los esfuerzos de los investigadores para que, de forma coherente, se conviertan en fuerza creadora e innovadora a los fines de encontrar soluciones propias y autóctonas.

Interpretando el pensamiento de Oscar Varsavsky (1920-1976), no debemos entender el desarrollo como el uso de la tecnología más sofisticada, sino tener la capacidad de resolver nuestros problemas con las tecnologías que seamos capaces de producir, generando soluciones propias y no de otras naciones.

Un desarrollo, interpretado bajo ese pensamiento, es sin duda la clave para lograr un alto grado de independencia y soberanía, que se constituya como la base fundamental para lograr un equilibrio estable en la dinámica permanente de los pueblos en alcanzar la máxima felicidad social, política y cultural.

Instrumentos de difusión, como REVISEN, representan una estrategia que aporta significativamente al torrente de conocimientos generados en el país y que, orientados por el proyecto nacional, contribuyen eficazmente a solventar gran parte de los distintos problemas tecnológicos y de producción, que son propios de una nación que crece poblacionalmente, que siente la necesidad de desarrollar ciencia, tecnologías, industrias, servicios, entre otros aspectos de suma importancia.

La actividad eléctrica es sin duda un campo de desarrollo fundamental en cualquier país, conformada por un conjunto de empresas que por su naturaleza son estratégicas y por ende constituyen polos de atención en los planes de industrialización nacionales. Es el caso venezolano, donde se han establecido políticas tendentes a disminuir los niveles de importación en insumos eléctricos y a darle fortaleza a la producción nacional, partiendo desde el diseño de equipos y partes, hasta el producto terminado.

Los artículos publicados en REVISEN buscan encaminar este esfuerzo para que se consolide en soluciones soberanas a nuestras necesidades, generadas por nuestro pueblo.

Freddy Brito

NOTA TÉCNICA: FACTORES CONSIDERADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ALUMINIO EN EL DEVANADO PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO DE DISTRIBUCIÓN.

Carlos González *

Despacho del Viceministro para el Desarrollo del Sector y la Industria

Dirección General de Industrialización del Sector Eléctrico

RESUMEN.-

La inexistencia de Cobre como materia prima en Venezuela para el sector eléctrico, originó la necesidad de ser sustituido por aleaciones de Aluminio, ya que éste reúne un conjunto de características mecánico-eléctrico óptimas en relación a su coste y garantía de suministro nacional, disminuyendo costos a la nación por importaciones. Para la implementación del Aluminio, se identificaron las aleaciones empleadas por fabricantes internacionales de transformadores, las normas técnicas y las capacidades nacionales para la migración del cobre al Aluminio. La investigación se realizó de forma documental y experimental en el campo industrial; en donde se concluye que la implementación presenta viabilidad técnica y económica, así como, sostenibilidad productiva.

Palabras claves: Aleación de Aluminio, devanado primario, transformador monofásico.

TECHNICAL NOTE: FACTORS CONSIDERED FOR THE IMPLEMENTATION OF THE ALUMINUM IN THE PRIMARY DEVANATE OF THE SINGLE-PHASE DISTRIBUTION TRANSFORMER.

ABSTRACT.

The absence of copper as a raw material in Venezuela for the electrical sector, led to the need to be replaced by aluminum alloys, since it combines a set of mechanical and electrical characteristics that are optimal in relation to their cost and guarantee of national supply, reducing costs To the nation by imports. For the implementation of Aluminum, the alloys used by international manufacturers of transformers, technical standards and national capacities for the migration of copper to aluminum were identified. The research was done in a documentary and experimental way in the industrial field; Where it is concluded that the implementation presents technical and economic feasibility, as well as, productive sustainability.

Keywords: Aluminum alloy, primary winding, single-phase transformer.

* Autor por correspondencia
Corre-e: ca.gonzalez.mppee@gmail.com (Carlos Gonzalez)

INTRODUCCIÓN

La fabricación de transformadores con ambos devanados en Aluminio, tienen una trayectoria de 90 años en el mercado internacional, motivado a la inestabilidad y los altos precios del cobre, producto de las guerras mundiales y la poca existencia en de esta materia prima en el mundo. Por otra parte, el Aluminio es tercer elemento más abundante de la tierra y constituye aproximadamente el 8 % de su corteza, sin embargo, persisten mitos en cuanto a su comportamiento y aplicación como conductor. Para mejorar las características mecánico-eléctrico del Aluminio, se han desarrollado distintas aleaciones, para su aplicabilidad en el sector eléctrico. La industria internacional de transformadores, usualmente emplean las aleaciones de Aluminio 1060, 1350, 6101 y la serie 8000, para el devanado secundario y primario respectivamente; aunque en Venezuela, sólo se permitía Aluminio en el devanado secundario, el presente documento, expone la viabilidad y la posterior materialización de un documento normativo en donde se permite Aluminio en el devanado primario en iguales condiciones al cobre**.**

LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Para producir transformadores en el país y satisfacer la demanda nacional, la industria requiere importar las principales partes y piezas que conforman el equipo terminado, debido a que éstas actualmente no se producen en el País, y las más críticas no cuentan con las líneas de producción instaladas en Venezuela, evidenciándose debilidades en el encadenamiento productivo (desde la extracción y procesamiento de materia prima, hasta la fabricación de un producto final).

Actualmente el Valor Agregado Nacional (VAN) de un transformador se estima al rededor del 21,6 %, para aumentar dicho VAN hasta el 45,2 %, se plantea evaluar la viabilidad de reemplazar el alambre de cobre esmaltado (materia prima importada) por el alambre de Aluminio esmaltado (materia prima nacional).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación trató el análisis de la documentación normativa que regía la adquisición y el uso de los transformadores monofásicos de distribución tipo poste por parte de CORPOELEC, así como, la evaluación del entorno industrial asociado a la fabricación de dichos equipos, para comprobar la viabilidad de la construcción de devanados en Aluminio como alternativa al cobre en la industria nacional. Se exponen las ventajas que presenta el aluminio frente al cobre, el comportamiento mecánico-eléctrico y las dimensiones finales que tendrán los transformadores de Aluminio-Aluminio. El producto final, resultó en la modificación de las especificaciones técnicas de los transformadores a ser instalados en la red por CORPOELEC, y la respuesta positiva por parte de la industria nacional para la producción de dichos equipos bajo la normativa antes mencionada.

RESULTADOS

Con referencia a la tabla 1, a continuación, se determinan los factores considerados para emplear Aluminio como alternativa al cobre, en los transformadores, según las caracteristicas y propiedades fisicas de los metales a 20 °C. :

Tabla 1. Características y propiedades físicas de los metales a 20°C.

Características	**Cobre (PURO)**	**Aluminio (B12H60)**
Resistencia a la tensión (Kg/cm2)	3.516,17	2.250,35
Resistencia a la tensión para la misma conductividad (Kg/cm2)	3.516,17	3.516,17
Peso para la misma conductividad	100,00	54,00
Sección transversal para la misma conductividad	100,00	156,00
Resistencia especifica (ohms-cir/mil ft) (20 °C ref)	10,60	18,52
Coeficiente de expansión (por °Cx10-6)	16,60	23,00
Densidad [kg/m3]	8,90	2,70
Conductividad [S*m/mm2]	58,50	35,85
Resistencia (I.A.C.S.)*[%]	100,00	62,00
Fuerza máxima [N/mm2]	220-270	120-140
Coeficiente de Resistencia térmica [1E-6/K]	3.900 – 4.000	120-140
Propiedades Físicas de los metales a 20 °C	**Cobre Temple Suave**	**Aluminio 1 350 H-19**
Número Atómico	29	13
Peso Específico, gr/cm3	8,89	2,705
Coeficiente de Temperatura por °C a 20°C	0	0
Conductividad Eléctrica (I.A.C.S.)*, %	100	100
Conductividad Térmica. cal/cm3	1	1
Temperatura de Fusión, °C	1 083	660
Coeficiente de Dilatación Lineal por °C	16,22 x 10-6	23,0 x 10-6
Calor Específico, cal/gr/°C	0,091 8	0,225 9
Resistividad Volumétrica a 20°C. ohm-mm2 /m	0,017 241	0, 028 265
Resistividad Eléctrica (ohm, en 304.8 a 20°C)	10,371	17,0
Esfuerzo de Tensión, Temple duro, kg/cm2	3.870	1.820
Esfuerzo de Tensión, Temple suave, kg/cm2	2.250	845
Módulo de Elasticidad, kg/cm2	1.200	702
Resistencia al Corte, kg/cm2	1.750	665
Resistencia Limite de Fluencia, kg/cm2	560	350

CONDUCTIVIDAD

Para una misma conducción de corriente empleando Aluminio como alternativa al Cobre, la sección del devanado de Aluminio deberá ser 1,63 veces mas grande que la del Cobre, acuerdo a lo siguiente:

σAl→Conductividad del Aluminio = 36,61 Ω-1m-1.

σcu→Conductividad del Cobre = 59,61 Ω-1m-1.

$$R_{cu} = L_{cu}/S_{cu} * \sigma_{cu}$$

$$R_{al} = L_{Al}/S_{Al} * \sigma_{Al}$$

$$S_{al}/S_{cu} = \sigma_{cu}/\sigma_{Al} = 59{,}6/36{,}6 = 1{,}63$$

$$S_{al} = 1{,}63 * S_{cu}$$

Con este incremento en la sección, las pérdidas resistivas serán iguales que las del Cobre.

PESO Y CAPACIDAD CALORÍFICA

A pesar de usar mayor cantidad de Aluminio para conducir la misma cantidad de corriente en Cobre, su peso es menor. Esta diferencia es determinante para el diseño e instalación, debido a que se puede reducir la carga sobre las bases de los equipos y sobre las estructuras asociadas, logrando una instalación más rápida con equipos más ligeros.

Para una misma conductividad se tiene que el peso del Aluminio es 0,54 el peso del Cobre. Por otra parte, el Aluminio posee una capacidad calorífica = 0,2259 cal/gr/ºC, y el Cobre = 0,0918 cal/gr/ºC, entonces:

$$\text{Capacidad calorífica del Al} = M_{Al} \times C_{Al}$$

$$\text{Capacidad calorífica del Cu} = M_{CU} \times C_{cu}$$

$$=(M_{Al} / M_{cu})x(C_{Al} / C_{cu}) = 0{,}54x(0{,}2259/0{,}0918) = 1{,}219$$

Lo que indica que el devanado de Aluminio soporta las corrientes de corto-circuito y las sobrecarga 21,9 % más que los devanados en Cobre.

COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA

De acuerdo a los valores de los coeficientes→Aluminio=$23x10^{-6}$ cm/ºC y Cobre=$16{,}6x10^{-6}$ cm/ºC; se tiene que el Aluminio se expande 38 % mas que el Cobre, originado problemas en las conexiones, si se emplean tornillos; para corregir tal desviación se sugiere utilizar arandelas cóncavas en las conexiones, donde se proporciona la elasticidad necesaria en el empalme sin la compresión del Aluminio, con la misma eficiencia que los terminales de Cobre.

COSTOS

Históricamente el precio internacional del Cobre ha sido superior al precio del Aluminio; debido a su mayor demanda, genera grandes incrementos en su precio, es por ello, que el Aluminio se ha convertido en una opción más atractiva para fabricantes de equipos eléctricos y usuarios finales. En muchos casos, elegir Aluminio, se traduce en un ahorro hasta del 61 % con respecto al Cobre.

Figura 1. Histórico de precios internacionales del Cu y el Al.

NORMATIVA TÉCNICA Y SU APLICACIÓN EN EL ENTORNO INDUSTRIAL

La tabla 2. muestra los valores técnicos máximos para los transformadores bajo normas COVENIN y CORPOELEC, antes y después de la revisión normativa, para la implementación del Aluminio en dichos equipos.

Tabla 2. Comparativo de valores de las normas técnicas

NORMA TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN 13800/120-240 V, INMERSOS EN ACEITE AISLANTE, DESDE 15 KVA HASTA 167 KVA, TIPO INTEMPERIE				
Capacidad Del TRX	CONDICIONES (valores)	NORMA COVENIN 536-2003	CADAFE 375 – 05 (ANTES DE LA REVISIÓN DE LA ET*)	CORPOELEC ET – DIS – 001 (DESPUES DE LA REVISIÓN DE LA ET)
25 kVA	Pérdidas al vacio (Po)	115	76	94
	Pérdidas bajo carga (Pcc)	430	340	335
	Tensión de Cortocircuito (Z%)	Mínimo 2,5	Entre 2 – 2,5	2.5
	Corriente Máx en vacío (lo% máx.)	1.2	1.2	1.2
	Diámetro de la cuba o tanque (mm)	-	440	450
	Altura de la cuba o tanque (mm)	-	660	670
37,5 kVA	Pérdidas al vacio (Po)	151	110	127
	Pérdidas bajo carga (Pcc)	655	380	425
	Tensión de Cortocircuito (Z%)	Mínimo 2.86	Entre 2,5 – 2,86	2.86
	Corriente Máx en vacío (lo% máx.)	1	1.2	1
	Diámetro de la cuba o tanque (mm)	-	470	510
	Altura de la cuba o tanque (mm)	-	710	760
50 kVA	Pérdidas al vacio (Po)	180	140	154
	Pérdidas bajo carga (Pcc)	780	470	553
	Tensión de Cortocircuito (Z%)	Mínimo 2.86	Entre 2.5 – 2.86	2.86
	Corriente Máx en vacío (lo% máx.)	1	1	1
	Diámetro de la cuba o tanque (mm)	-	494	530
	Altura de la cuba o tanque (mm)	-	800	820

En cuanto a la aplicación del documento ET-DIS-001 en el entorno industrial, a continuación se presentan las siguientes sugerencias por parte del sector industrial:

1. Incrementar el valor de la perdida en vacío para el transformador de 25 KVA, para su cumplimiento, debido a que el valor del documento normativo anterior era mayor.

2. Incrementar las dimensiones de diámetro y altura del tanque, para cumplir con las perdidas en vacío y bajo carga, debido al aumento de las bobinas en Aluminio.

3. Utilizar el mismo tanque para los transformadores de 50 KVA y 37,5 KVA respectivamente, para simplificar los procesos de fabricación y reconstrucción.

4. Para la reconstrucción de transformadores, utilizar el tanque de 75 kVA para reconstruir un transformador de 50 kVA, uno de 50 kVA para uno 37,5 kVA y para el de 25 kVA reutilizar un tanque de 37,5 kVA; para cumplir con las perdidas de vacío y carga.

CONCLUSIONES

La sustitución del Cobre por el Aluminio en el devanado primario de un transformador, contribuye estratégicamente al incremento del Valor Agregado Nacional y a la soberanía tecnológica en sector industrial Venezolano, contando con un encadenamiento productivo sólido instalado en el país (sector-Aluminio: BAUXILUM-VENALUM-CABELUM), capaz de responder ante las demandas nacionales de la industria nacional de transformadores.

Fabricantes y reconstructores de transformadores, están en capacidad para producir los equipos con ambas bobinas en Aluminio. Utilizar conductores de Aluminio reduce el peso de los equipos y, por tanto la carga mecánica a las instalaciones.

Los equipos fabricados con conductores de Aluminio normalmente son de menor costo que los fabricados con Cobre. Las terminales de conexión en el mercado son adecuados para aplicaciones con conductores de Cobre y/o Aluminio. Los niveles de temperatura para Cobre o Aluminio en los equipos son los mismos indicados por normas internacionales como ANSI o UL.

La reciente revisión de las especificaciones técnicas de transformadores, exigen valores de perdidas en vacío y bajo carga, que comprometen el fácil cumplimiento de las dimensiones finales de equipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Guzman, J. y Uribe, F. (1976). Transformadores con Bobinados de Aluminio General Eléctrica Española, S.A. España.

COVENIN 536:2003 "Transformadores de potencia. Generalidades".

CORPOELEC, ET-DIS-001. "Especificación Técnica Transformadores Monofásicos de Distribución, Tipo Intemperie 13 800 V – 120/240 V; 13 800 V – 2 40/480 V; 13 800 V – 277 V".

CADAFE, 375-05. "Especificación Técnica Transformadores Monofásicos de Distribución para lineas de 13,8 kV".

MATRIZ DE CORRELACIÓN DE VARIABLES INTERNAS DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA: PARA ESTABLECER UN MODELO MATEMÁTICO.

Luis Mariano Moreno *(1), **Manuel Alvarado** (2)

IutVal-Facyt-UC. Naguanagua. Venezuela

RESUMEN.-

Este artículo aborda el análisis de las variables internas que interviene en el funcionamiento de un transformador de potencia, con la matriz de datos y una de correlación puntual. Se aplica a la asociación entre las distintas variables, éstas dependen o se miden en el función de las otras; y las asociaciones que se presentan entre los elementos medidos sin distinción de tipos entre ellos, con la estadística multivariable. La matriz de datos de cada transformador de potencia se asocia con una matriz de correlación, con este resultados se pueden construir modelos integrales de estudios más precisos, descriptivos y predictivos.

Palabras claves: transformador de potencia, matriz de correlación, matriz de datos, multivariable.

INTERNAL VARIABLE CORRELATION MATRIX OF A POWER TRANSFORMER: TO ESTABLISH A MATHEMATICAL MODEL.

ABSTRACT.-

This article discusses an analysis of internal variables that intervene in the operation of a power transformer, data matrix and a precise correlation. It is interested in the association between different variables, where they depend on or are measured as a function of the other. And associations that occur between the elements measured regardless of types among them, with. Multivariate statistics. The data of each power transformer matrix is associated with a matrix of correlation with this results can build integrated studies more accurate, descriptive and predictive models.

KEY WORDS: power transformer, correlation matrix, data matrix, multivariable.

* Autor por correspondencia
Corre-e: zaraza73@hotmail.com. (Luis Mariano Moreno)

INTRODUCCIÓN

El transformador de potencia (TP) es uno de los elementos centrales e importantes que integran el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en sus diferentes niveles de generación transmisión y distribución. Hoy en día, su importancia es considerada de mayor prioridad para el SEN. Como Toda máquina eléctrica, es capaz de transformar energía eléctrica de entrada de determinadas magnitudes de tensiónes y corrientes, se puede modelar matemáticamente. Clásicamente existen modelos básicos, claros y aproximados del TP. La importancia de su diferente estudio, es el análisis y las mejoras a partir de desgastes de los diferentes elementos TP, fallas naturales, recurrentes, casuales, etc. Los modelos matemáticos que existentes no toman en cuenta todas las variables que integran e intervienen en el funcionamiento interno y externo de TP. Los modelos clásicos estudiados, en la mayorías de los casos, son de una o cuatros variables como modelos independientes a seguir, según las recomendaciones de las normas internacionales para simplificar los cálculos a estas variable, esto limita los estados reales de los TP ; esta propuesta es una forma de integrar todas la variables que componen el TP, en una serie de matrices de interacción (matrices de correlación) de los elementos internos, con condiciones de distribución estadísticas. Se plantea matriz master de los elementos que intervienen en el funcionamiento general del TP. Este artículo, es una generalización real de los modelos existentes según sus funciones de distribución de probabilidad normalizada de cada elemento y sus diferentes interacciones.

Este tipo de análisis es ambulante y bien detallado en el mundo matemático aplicado (estadística). No es muy frecuente encontrar este tipo de análisis para los TP, por lo complejo de éstas técnicas, para generar los diferentes modelos a estudiar. Piskter Keri (2015) aborda en forma independiente y separada las variables más importantes, resaltantes y hace un análisis generalizado, pero para ver un análisis más serio con respecto al tema lo hace Aniello (1988) puede consultarse; Qi (2011) va directo a una aplicación muy importantes, que es el estudio de la supervivencia de los TP ,en forma general, pero en forma independiente.

En la construcción de las diferentes matrices de correlación de un TP es necesario conocer las ventajas y desventajas de esta propuesta, para hacer diferentes propuestas de estudio en esta rama de las estadísticas aplicada a los TP. Se obtiene una matriz de correlación de variables interna simétrica hermitiana según conveniencia para esta propuesta, con todos los elementos que integran e interactúan en el TP.

SITUACION PROBLEMATICA

En muchas oportunidades los estudios realizados a los TP son en función de las fallas presentadas, estados de los componentes, historial de fallas, cantidad de horas de uso, cargabilidad, descargas atmosféricas, frentes de ondas, etc. Este tipo de estudio es analizado en forma puntual o parcial, mas no en forma general, tomando en cuenta todos los elementos que lo componen al TP. En Venezuela, es necesario modificar los diferentes estudios que se deben hacer a lo TP en forma general para un buen análisis de estado. Cada grupo de variables contiene un sub-grupo de elementos que intervienen en el funcionamiento del TP.

El análisis multivariable, es el estudio más idóneo para este tipo de aplicación. Los modelos existentes son:

Modelo mecánico (Mm), Modelo térmico (Mt),

Modelo eléctrico (Me), se presenta el siguiente arreglo según los modelo existentes clásico.

Me=([Mt] [Mm] [Me]) (1)

Si cada modelo son variables conjuntas de una sub-matriz, independiente, gaussiana.

Sea ***Mt*** (modelo térmico) las variables comunes para este ítems: temperatura, humedad, oxigeno,etc.

Sea ***Me*** (modelo eléctrico) las variables comunes para este ítems: sobre voltaje, sobre corriente, armónico, etc.

Sea ***Mm*** (modelo mecánico) las variables comunes para este ítems: delta de temperatura, sobre corriente, vibración/ número de operaciones, etc.

$$\text{Me}=\begin{pmatrix} Sv & \cdots & Si \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & Ar \end{pmatrix};\ \text{Mm}=\begin{pmatrix} Dt & \cdots & Si \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ No & \cdots & Vi \end{pmatrix};\ \text{Mt}=\begin{pmatrix} Te & \cdots & Hu \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & Ox \end{pmatrix} \quad (2)$$

Matriz característica del TP según los modelos existentes

$$\text{Md}_{\text{TP}}=\left(\begin{pmatrix} Te & \cdots & Hu \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & Ox \end{pmatrix}\ \begin{pmatrix} Sv & \cdots & Si \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & Ar \end{pmatrix}\ \begin{pmatrix} Dt & \cdots & Si \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ No & \cdots & Vi \end{pmatrix}\right) \quad (3)$$

Es lógico pensar que la matriz de datos según los modelos clásicos no relaciona las interacciones entre las variables en el funcionamiento del TP. Esta matriz Md_{TP} es hermitiana, y cada sub-matriz es no-hermitiana. La matriz de datos Md_{TP} tendrá dimensiones n × k.

Md_{TP} ([Me] [Mm] [Mt]) (4)

Este modelo tiene muchas limitaciones para hacer los diferentes análisis de la matriz, cálculo de los componentes, propiedades de los componentes, análisis normados o con correlaciones, interpretación, selección, estudios analíticos de las componentes, utilizando la matriz varianza-covarianza.

METODOLOGÍA

El método de la construcción de la matriz de correlación característica de un TP , se basa que cada elemento o variable que integran el TP, tiene un desgaste natural en función de los límites de trabajo y cada fabricante de cada pieza tiene una distribución estadística de desgaste natural, entonces a partir de este premisa, se tiene, que:

Se Y_i una variable de cada variable que conforman el transformador de potencia Y_i=1,2 ….. N, cada variable es independiente idénticamente distribuida normal:

$$Y1 = y \sim N(\mu,\sigma) \tag{5}$$

$$Y_2 = \begin{pmatrix} y1 \\ y2 \end{pmatrix} \sim N\left(\begin{matrix} \mu 1 \\ \mu 2, \end{matrix} \begin{pmatrix} v1 & v12 \\ v21 & v2 \end{pmatrix}\right) \tag{6}$$

$$\vdots$$

$$Y_n = \begin{pmatrix} y1 \\ y2 \\ \vdots \\ yn \end{pmatrix} \sim N\left(\begin{matrix} \mu 1 \\ \mu 2 \\ \vdots \\ \mu n \end{matrix}, \left(\begin{pmatrix} v1 & \cdots & v1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ vn1 & \cdots & vnn \end{pmatrix}\right)\right) \tag{7}$$

Donde las columnas contienen las variables y las filas las medidas. El primer componente principal se define como la combinación lineal de las variables originales que tiene varianza máxima. Se levanta la matriz de datos en función de la funcionabilidad del TP. Es importante la relación o comportamiento que pueda existir entre los elementos que integran al TP, por este motivo se propone utilizar la matriz de correlación, pero primero vamos a identificar todas la variables que compone al TP, y sus diferentes correlaciones.

Sean las diferentes partes del TP: Núcleo (N), Bobina (B), Aislante (As), Cuba (Cb), Cambiador de toma (Ct), Aceite (Aceite), Bushing (Bs).

Los elementos que componen los diferentes componentes y medidas importantes del TP.

Núcleo (N)= (nivel de ruido, factor de apilamiento, factor de calentamiento, temperatura de trabajo, etc.).

Bobina (B)= (factor de uniformidad, factor de calentamiento, factos de deformación, factor descargas parciales, etc.).

Aislante (As)=(prueba de aislamiento, temperatura de trabajo, envejecimiento, etc.).

Cuba (Cb) = (presión interna, factor de uniformidad estructural, etc.).

Cambiador de toma (Ct) =(análisis de aceite, resistividad de contactos, temperatura de trabajo, número de operaciones, números de sobrecargas, etc.).

Aceite (Aceite)=(SOT,Dga, temperatura de trabajo, etc.).

Bushing (Bs)=(prueba de aislamientos, prueba de descarga parciales, tiempo de operación, etc.)

Aceite
Propiedades físicas (PF)
Viscosidad (V)
Punto de fluidez (Pf)
Punto de inflamación (Pi)
Tensión interfacial (Ti)
Punto de anilina (Pa)
Color (Cr)
Propiedades eléctricas (PE)
Factor de potencia (Fpo)
Rigidez dieléctrica (Rd)

Propiedades químicas (PQ)
Estabilidad a la oxidación (Eo)

Sea la matriz de datos de Aceite

Aceite=([PF] [PE] [PQ]) (8)

Sea la matriz de datos de PF

$$\text{Propiedades físicas (PF)} = \begin{pmatrix} V \\ Pf \\ Pi \\ Ti \\ Pa \\ Cr \end{pmatrix} \quad (09)$$

Sea la matriz de datos de PE

$$\text{Propiedades eléctricas PE} = \begin{pmatrix} Fpo \\ Rd \end{pmatrix} \quad (10)$$

Sea la matriz de datos de PQ

Propiedades químicas PQ =(Eo) (11)

Sea la Matriz de datos del aceite (AA) del TP de pruebas clásica:

$$Aceite = ([PF] \quad [PE] \quad [PQ]) = \begin{pmatrix} V & Fpo & Eo \\ Pf & Rd & 0 \\ Pi & 0 & 0 \\ Ti & 0 & 0 \\ Pa & 0 & 0 \\ Cr & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Este método se puede generalizar con ciertas condiciones, se identifican las diferentes pruebas que se le hacen al TP, para la construcción de la matriz de datos para la construcción de la matriz de correlación de los elementos internos del TP.

Pruebas de control de aceite (AA)
Prueba físico-químicas (Pfq)
Indicé de neutralización (In)
Perdidas dieléctricas (Pd)
Rigidez dieléctrica (Rd)
Tensión interfacial (Ti)
Contenido de agua karl fisher (Cag)

Sea la matriz de datos de Pfq

$$\text{Pfq} = \begin{pmatrix} In \\ Pd \\ Rd \\ Ti \\ Cag \end{pmatrix} \quad (13)$$

Análisis de sulfuros corrosivos (Sc)
Sea la matriz de datos de Sc

Sc = (Sc) (14)

Contenido de pasivador (Cp)
Sea la matriz de datos de Cp

$$Cp = \quad (Cp) \tag{15}$$

Indicé despolimerización (Id)
Sea la matriz de datos de Id

$$Id = \quad (Id) \tag{16}$$

Compuestos furanicos (PPB)
HMF
Furfurol (FOL)
Furfural (FAL)
Ac. Furan/fmk (AF)
Methyfal (MF)

Sea la matriz de datos de PPB

$$PPB = \begin{pmatrix} HMF \\ FOL \\ FAL \\ AF \\ MF \end{pmatrix} \tag{17}$$

Gases disueltos (GD)
Hidrogeno e hidrocarburos (HH)
Metano (a)
Etano (b)
Etileno (c)
Acetileno (d)
Hidrogeno (e)

Sea la matriz de datos de HH

$$HH = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix} \tag{18}$$

Óxidos de carbono (OC)
Monóxido de carbono (f)
Dióxido de carbono (g)
Sea la matriz de datos de OC

$$OC = \begin{pmatrix} f \\ g \end{pmatrix} \tag{19}$$

Gases no ocasionando fallas (GF)
Oxigeno (h)
Nitrógeno (i)

Sea la matriz de datos de GF

$$GF = \begin{pmatrix} h \\ i \end{pmatrix} \tag{20}$$

Total de gases combustible disueltos (TDGC)
Sea la matriz de datos de TDGC

$$TDGC = (tdgc) \tag{21}$$

Sea la matriz de datos de GD.

$$[GD] = ([HH] \ \ [OC] \ \ [GF] \ \ [TDGC]) \tag{22}$$

Sea la matriz ampliada de datos de GD.

$$\mathrm{GD} = \begin{pmatrix} a & f & h & tdgc \\ b & g & i & 0 \\ c & 0 & 0 & 0 \\ d & 0 & 0 & 0 \\ e & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (23)$$

Análisis de PCb´s (bifenilo ploriclorado) (Pcb´s)
Sea la matriz de datos de Pcb´s.

$$\text{Pcb´s} = (\text{Pcb´s}) \quad (24)$$

Análisis de ICP (iductively coupled plasma) (ICP)
Aluminio (Al)
Hierro (Fe)
Cobre (Cu)

Sea la matriz de datos de ICP.

$$\mathrm{ICP} = \begin{pmatrix} Al \\ Fe \\ Cu \end{pmatrix} \quad (25)$$

Contenidos de inhibidor (CI)
DBPC
DBP

Sea la matriz de datos de CI.

$$\mathrm{CI} = \begin{pmatrix} \mathrm{DBPC} \\ \mathrm{DBP} \end{pmatrix} \quad (26)$$

Matriz de datos característica de prueba en aceite

$$\mathrm{AA} = ([Pfq] \quad [SC] \quad [Cp] \quad [Id] \quad [\mathrm{PPB}] \quad [GD] \quad [Pcb's] \quad [ICP] \quad [CI]) \quad (27)$$

Sea la matriz de datos ampliada de prueba de aceite de AA

$$\mathrm{AA} = \begin{pmatrix} In & Sc & cp & Id & HMF & a & f & h & tdgc & Pcb's & Al & DBPC \\ Pd & 0 & 0 & 0 & FOL & b & g & i & 0 & 0 & Fe & DBP \\ Rd & 0 & 0 & 0 & FAL & c & 0 & 0 & 0 & 0 & Cu & 0 \\ Ti & 0 & 0 & 0 & AF & d & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Cag & 0 & 0 & 0 & MF & e & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (28)$$

Relación de transformación y polaridad (TTR-GC)
Prueba de relación de transformación (TTR)
Polaridad (grupo de conexión) (GC)

Tabla 1

PRUEBA TAP	CONEXIONADO	RELACION TEORICA	RELACION MEDIA	%ERROR	CORRIENTE	ANGULO
1 (+5%)	1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	RT11	RM11	E11	I11	A11
	1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	RT21	RM21	E21	I21	A21
	1W-1U,2W-2n H3-H1,X3-X0	RT31	RM31	E31	I31	A31
2 (+2,5%)	1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	RT12	RM12	E12	I12	A12
	1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	RT22	RM22	E22	I22	A22
	1W-1U,2W-2n H3H1,X3-X0	RT32	RM32	E32	I32	A32
3 0%)	1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	RT13	RM13	E13	I13	A13
	1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	RT23	RM23	E23	I23	A23
	1W-1U,2W-2n H3-H1,X3-X0	RT33	RM33	E33	I33	A33
4 (-2,5%)	1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	RT14	RM14	E14	I14	A14
	1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	RT24	RM24	E24	I24	A24
	1W-1U,2W-2n H3-H1,X3-X0	RT34	RM34	E34	I34	A34
5 (-5%)	1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	RT15	RM15	E15	I15	A15
	1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	RT25	RM25	E25	I25	A25
	1W-1U,2W-2n H3-H1,X3-X0	RT35	RM35	E35	I35	A35

Tomado los datos de la tabla 1 de TTR-GC

Sea la matriz de datos de TTR-GC.

$$M_{TTR\text{-}GC}=\begin{pmatrix} RT11 & RM11 & E11 & I11 & A11 \\ RT21 & RM21 & E21 & I21 & A21 \\ RT31 & RM31 & E31 & I31 & A31 \\ RT12 & RM12 & E12 & I12 & A12 \\ RT22 & RM22 & E22 & I22 & A22 \\ RT32 & RM32 & E32 & I32 & A32 \\ RT13 & RM13 & E13 & I13 & A13 \\ RT23 & RM23 & E23 & I23 & A23 \\ RT33 & RM33 & E33 & I33 & A33 \\ RT14 & RM14 & E14 & I14 & A14 \\ RT24 & RM24 & E24 & I24 & A24 \\ RT34 & RM34 & E34 & I34 & A34 \\ RT15 & RM15 & E15 & I15 & A15 \\ RT25 & RM25 & E25 & I25 & A25 \\ RT35 & RM35 & E35 & I35 & A35 \end{pmatrix}$$

SUPONEMOS DE 5 TOMAS
Cambiador de toma bajo carga (CTBC)

Sea la matriz de datos de CTBC.

$$CTBC=\begin{pmatrix} CTA1 & CTB1 & CTC1 \\ CTA2 & CTB2 & CTC2 \\ CTA3 & CTB3 & CTC3 \\ CTA4 & CTB4 & CTC4 \\ CTA5 & CTB5 & CTC5 \end{pmatrix} \quad (30)$$

Cambiador de tomas des-energizados (CTD)

Sea la matriz de datos de CTD.

$$CTD=\begin{pmatrix} ITA1 & ITB1 & ITC1 \\ ITA2 & ITB2 & ITC2 \\ ITA3 & ITB3 & ITC3 \\ ITA4 & ITB4 & ITC4 \\ ITA5 & ITB5 & ITC5 \end{pmatrix} \quad (31)$$

Resistencia de devanado por toma (RPT)

Sea la matriz de datos de RPT.

$$RPT=\begin{pmatrix} RTA1 & RTB1 & RTC1 \\ RTA2 & RTB2 & RTC2 \\ RTA3 & RTB3 & RTC3 \\ RTA4 & RTB4 & RTC4 \\ RTA5 & RTB5 & RTC5 \end{pmatrix} \quad (32)$$

Resistencia de devanados
Alta resistencia en contactos métalicos (ARCM)

Tabla 2

conexionado	R.TEORICA	R.MEDIDA	%ERROR
H1-H2,X1-X0	rT11	rM11	e11
1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	rT21	rM21	e21
1W-1U 2W-2n H3-H1,X3-X0	rT31	rM31	e31
1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	rT12	rM12	e12
1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	rT22	rM22	e22
1W-1UW-2n H3-H1,X3-X0	rT32	rM32	e32
1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	rT13	rM13	e13
1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	rT23	rM23	e23
1W-1U 2W-2n H3-H1,X3-X0	rT33	rM33	e33
1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	rT14	rM14	e14
1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	rT24	rM24	e24
1W-1U 2W-2n H3-H1,X3-X0	rT34	rM34	e34
1U-1V,2U-2n H1-H2,X1-X0	rT15	rM15	e15
1V-1W,2V-2n H2-H3,X2-X0	rT25	rM25	e25
1W-1U 2W-2n	rT35	rM35	e35
H3-H1,X3-X0	rT35	rM35	e35

Sea la matriz de datos de ARCM de la Tabla 2

$$M\ ARCM = \begin{matrix} rT11 & rM11 & e11 \\ rT21 & rM21 & e21 \\ rT31 & rM31 & e31 \\ rT12 & rM12 & e12 \\ rT22 & rM22 & e22 \\ rT32 & rM32 & e32 \\ rT13 & rM13 & e13 \\ rT23 & rM23 & e23 \\ rT33 & rM33 & e33 \\ rT14 & rM14 & e14 \\ rT24 & rM24 & e24 \\ rT34 & rM34 & e34 \\ rT15 & rM15 & e15 \\ rT25 & rM25 & e25 \\ rT35 & rM35 & e35 \end{matrix} \quad (33)$$

Impedancia prueba de reactancia de fuga – impedancia de corto circuito (%Z)

Sea la matriz de datos de %Z.

$$\%Z = (\%Z) \quad (34)$$

Factor de potencia y capacitancia de los devanados (FP-CD)
Factor de potencia a 25O C (FP25)
Factor de potencia a 100O C (FP100)
Tangente delta (δ)

Sea la matriz de datos de FP-CD.

$$M_{FP\text{-}CD} = \begin{pmatrix} FP25 \\ FP100 \\ \delta \end{pmatrix} \quad (33)$$

Resistencia de aislamiento (RA)
Factor de corrección de la resistencia de aislamiento (FCRA)
Relación de absorción dieléctrica (RDA)
Indicé de población (IP)

Sea la matriz de datos de RA.

$$M_{RA} = \begin{pmatrix} FCRA \\ RDA \\ IP \end{pmatrix} \quad (36)$$

Respuesta de frecuencia de barrido (Análisis de respuesta de frecuencia) (FRA)

Relación de deformación de bovina (RDB)
Relación de desplazamiento axial (RDA)
Relación de desplazamiento radial (RDR)
Relación de deformación del devanado circunferencial (hoop buckling) (RDD)
Relacio de estado de láminas de núcleo. (RELN)
Relación de deformación del núcleo (RDN)
Factor de conexión internas (flojas o rotas) (FCI)

Sea la matriz de datos de FRA

$$M_{FRA} = \begin{pmatrix} RDB \\ RDA \\ RDR \\ RDD \\ RELN \\ RDN \\ FCI \end{pmatrix} \quad (37)$$

Matriz característica de pruebas eléctricasmecánica (MCEM)

$$MCEM = ([M_{TTR-C}] \quad [RPT] \quad [CTBC] \quad [CTD] \quad [M_{ARCM}] \quad [\%Z] \quad [M_{FP-CD}] \quad [M_{RA}] \quad [M_{FRA}]) \quad (38)$$

Matriz característica ampliada de pruebas electricas-mecanicas (MCEM)

$$MCEM = \begin{pmatrix}
RT11 & RM11 & E11 & I11 & A11 & RTA1 & RTB1 & RTC1 & CTA1 & CTB1 & CTC1 & ITA1 & ITB1 & ITC1 & rT11 & rM11 & e11 & \%Z & FP25 & FCRA & RDB \\
RT21 & RM21 & E21 & I21 & A21 & RTA2 & RTB2 & RTC2 & CTA2 & CTB2 & CTC2 & ITA2 & ITB2 & ITC2 & rT21 & rM21 & e21 & 0 & FP100 & RDA & RDA \\
RT31 & RM31 & E31 & I31 & A31 & RTA3 & RTB3 & RTC3 & CTA3 & CTB3 & CTC3 & ITA3 & ITB3 & ITC3 & rT31 & rM31 & e31 & 0 & \delta & IP & RDR \\
RT12 & RM12 & E12 & I12 & A12 & RTA4 & RTB4 & RTC4 & CTA4 & CTB4 & CTC4 & ITA4 & ITB4 & ITC4 & rT12 & rM12 & e12 & 0 & 0 & 0 & RDD \\
RT22 & RM22 & E22 & I22 & A22 & RTA5 & RTB5 & RTC5 & CTA5 & CTB5 & CTC5 & ITA5 & ITB5 & ITC5 & rT22 & rM22 & e22 & 0 & 0 & 0 & RELN \\
RT32 & RM32 & E32 & I32 & A32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT32 & rM32 & e32 & 0 & 0 & 0 & RDN \\
RT13 & RM13 & E13 & I13 & A13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT13 & rM13 & e13 & 0 & 0 & 0 & FCI \\
RT23 & RM23 & E23 & I23 & A23 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT23 & rM23 & e23 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT33 & RM33 & E33 & I33 & A33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT33 & rM33 & e33 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT14 & RM14 & E14 & I14 & A14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT14 & rM14 & e14 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT24 & RM24 & E24 & I24 & A24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT24 & rM24 & e24 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT34 & RM34 & E34 & I34 & A34 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT34 & rM34 & e34 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT15 & RM15 & E15 & I15 & A15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT15 & rM15 & e15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT25 & RM25 & E25 & I25 & A25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT25 & rM25 & e25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
RT35 & RM35 & E35 & I35 & A35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & rT35 & rM35 & e35 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{pmatrix} \quad (39)$$

Anexando la matriz características de datos de aceite (AA) (28).

Sea la matriz de datos del transformador de potencia:

$$MCTP = ([AA] \quad [MCEM]) \quad (40)$$

Matriz de datos ampliada de un transformador de potencia: (41)

MCTP =

In	Sc	cp	Id	HMF	a	f	h	tdgc	Pcb's	Al	DBPC	RT11	RM11	E11	I11	A11	RTA1	RTB1	RTC1	CTA1	CTB1	CTC1	ITA1	ITB1	ITC1	rT11	rM11	e11	%Z	FP25	FCRA	RDB
Pd	0	0	0	FOL	b	g	i	0	0	Fe	DBP	RT21	RM21	E21	I21	A21	RTA2	RTB2	RTC2	CTA2	CTB2	CTC2	ITA2	ITB2	ITC2	rT21	rM21	e21	0	FP100	RDA	RDA
Rd	0	0	0	FAL	c	0	0	0	0	Cu	O	RT31	RM32	E31	I31	A31	RTA3	RTB3	RTC3	CTA3	CTB3	CTC3	ITA3	ITB3	ITC3	rT31	rM31	e31	0	0	IP	RDR
Ti	0	0	0	AF	d	0	0	0	0	0	0	RT12	RM12	E12	I12	A12	RTA4	RTB4	RTC4	CTA4	CTB4	CTC4	ITA4	ITB4	ITC4	rT12	rM12	e12	0	0	0	RDD
Cag	0	0	0	MF	e	0	0	0	0	0	0	RT22	RM22	E22	I22	A22	RTA5	RTB5	RTC5	CTA5	CTB5	CTC5	ITA5	ITB5	ITC5	rT22	rM22	e22	0	0	0	RELN
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT32	RM32	E32	I32	A32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT32	rM32	e32	0	0	0	RDN
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT13	RM13	E13	I13	A13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT13	rM13	e13	0	0	0	FCI
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT23	RM23	E23	I23	A23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT23	rM23	e23	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT33	RM33	E33	I33	A33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT33	rM33	e33	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT14	RM14	E14	I14	A14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT14	rM14	e14	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT24	RM24	E24	I24	A24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT24	rM24	e24	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT34	RM34	E34	I34	A34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT34	rM34	e34	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT15	RM15	E15	I15	A15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT15	rM15	e15	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT25	RM25	E25	I25	A25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT25	rM25	e25	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RT35	RM35	E35	I35	A35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	rT35	rM35	e35	0	0	0	0

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Teniendo la matriz de dato ( ) del TP; se hace arreglo a conveniencia para la construcción de la matriz de correlación. Dado el vector aleatorio $X=(x_1,x_2,\ldots x_p)'$ se tiene el vector esperanza estadística $E[X]=(E[x_1],\ldots,E[x_p])'$.y como $MC_{tp}=(X_{ij})$, i=1,…,33: j=1,…,15 la matriz aleatoria normalizada, entonces su esperanza es $E[MC_{tp}]=(E[X_{ij}])$, i=1,…,33; j=1,…,15; La covarianza de dos vectores de la matriz de datos del TP.

Cov[x,y]= E[(x-E[x])(y-E[y])´ =

$$E\left[\begin{pmatrix} x_1-E[x_1] \\ \vdots \\ x_i-E[x_i] \\ \vdots \\ x_{15}-E[x_{15}] \end{pmatrix} \quad (y_1-E[y_1], \quad \cdots \quad ,y_j-E[y_j], \quad \ldots \quad y_{15}-E[y_{15}])\right]$$

$$=E\begin{bmatrix} (x_1-E[x1])(y_1-E[y_1]) & \cdots & (x_1-E[x_1])(x_j-E[y_j]) & \cdots & (x_1-E[x_1])(y_{15}-E[y_{15}]) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ (x_i-E[x_i])(y_1-E[y_1]) & \cdots & (x_i-E[x_i])(x_j-E[y_j]) & \cdots & (x_i-E[x_i])(y_{15}-E[y_{15}]) \\ \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_{15}-E[x_{15}])(y_1-E[y_1]) & \cdots & (x_{15}-E[x_{15}])(y_j-E[y_j]) & \cdots & (x_{15}-E[x_{15}])(y_{15}-E[y_{15}]) \end{bmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} cov[x_1,y_1] & \cdots & cov[x_1,y_j] & \cdots & cov[x_1,y_{15}] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ cov[x_i,y_1] & \cdots & cov[x_i,y_j] & \cdots & cov[x_i,y_{15}] \\ \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov[x_{15},y_1] & \cdots & cov[x_{15},y_j] & \cdots & cov[x_{15},y_{15}] \end{pmatrix} \tag{42}$$

Teniendo la relación de los vectores aleatoria son de elementos relacionados de un TP se toma un vector a conveniencia o arreglo se tiene la relación entre los elementos de dos vectores cuando se toma x=y

Cov[x]= E[(x-E[x])(x-E[x])´ =

$$\text{Cov}[x]=\begin{pmatrix} var[x_1,x_1] & \cdots & cov[x_1,x_j] & \cdots & cov[x_1,x_{15}] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ cov[x_i,x_1] & \cdots & var[x_i,x_j] & \cdots & cov[x_i,x_{15}] \\ \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov[x_{15},x_1] & \cdots & cov[x_{15},x_j] & \cdots & var[x_{15},x_{15}] \end{pmatrix} \tag{43}$$

A partir de los resultados de los vectores X_{ij} se obtiene la matriz de correlación. Matriz de correlaciones de vectores de datos de mediciones internas del TP. Sea la combinación de variables interna que afectan directamente a la temperatura, se tiene en forma matricial los elementos, la siguiente matriz de datos:

$$[Mt]=([N];[L];[SE];[B];[TA];[A]); \quad (44)$$

[Mt]= matriz de datos que interviene en la temperatura del transformador de potencia

[N]= vector de datos del núcleo que interviene en la temperatura del TP

[L]= vector de datos de la carga que interviene en la temperatura del TP

[SE]= vector de datos del sistema de enfriamiento que interviene en la temperatura del TP

[B]= vector de datos del bobinado que interviene en la temperatura del TP

[TA]= vector de datos de la temperatura ambiente que interviene en la temperatura interna del TP

[A]= vector de datos del aceite que interviene en la temperatura del TP

Por la formula (43) se obtienen las combinación de los vectores de la matriz de datos (44) para construcción de la matriz de covariancia. Para este caso muy particular obtenida de la matriz de datos principal del TP.

Sea la matriz de vectores distintos [N] ,[L]; la covarianza de los vectores COV[N,L]= E[(N-E[N])(L-E[L])´

$$=\begin{pmatrix} cov[N_1,L_1] & \cdots & cov[N_1,L_j] & \cdots & cov[N_1,L_{15}] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ cov[N_i,L_1] & \cdots & cov[N_i,L_j] & \cdots & cov[N_i,L_{15}] \\ \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov[N_{15},L_1] & \cdots & cov[N_{15},L_j] & \cdots & cov[N_{15},L_{15}] \end{pmatrix} = (cov[N,L]) \quad (45)$$

Calculando las covarianzas de todas las combinaciones de los vectores que involucran la construcción de la matriz de covarianza intervienen en la matriz de datos de temperatura se tiene:

$$M_{t(corr)}=\begin{pmatrix} (cov[N,N]) & (cov[L,L]) & (cov[S_E,N]) & (cov[B,N]) & (cov[T_A,N]) & (cov[A,N]) \\ (cov[N,L]) & (cov[L,L]) & (cov[S_E,L]) & (cov[B,L]) & (cov[T_A,L]) & (cov[A,L]) \\ (cov[N,S_E]) & (cov[L,S_E]) & (cov[S_E,S_E]) & (cov[B,S_E]) & (cov[T_A,S_E]) & (cov[A,S_E]) \\ (cov[N,B]) & (cov[L,L]) & (cov[S_E,B]) & (cov[B,B]) & (cov[T_A,B]) & (cov[A,B]) \\ (cov[N,T_A]) & (cov[L,T_A]) & (cov[S_E,T_A]) & (cov[B,T_A]) & (cov[T_A,T_A]) & (cov[A,T_A]) \\ (cov[N,A]) & (cov[L,L]) & (cov[S_E,A]) & (cov[B,A]) & (cov[T_A,A]) & (cov[A,A]) \end{pmatrix} \quad (46)$$

Esta matriz es semipositiva simétrica porque las matrices internas lo son y las variables de los vectores son i.i.d. normalizadas; se puede tomar como modelo para los diferentes estudios estadísticos.

Tomando el mismo procedimiento se tiene las siguientes matrices.

Matriz de correlación interna de (12) DE ACEITE

$$M_{ACEITE(corr)}=\begin{pmatrix} (cov[PF,PF]) & (cov[PE,PF]) & (cov[PQ,PF]) \\ (cov[PF,PE]) & (cov[PE,PE]) & (cov[PQ,PE]) \\ (cov[PF,PQ]) & (cov[PE,PQ]) & (cov[PQ,PQ]) \end{pmatrix} \quad (47)$$

Matriz de correlación interna de (28) DE AA y Matriz de correlación interna de (39) DE MCEM (ver en pagina 29)

Matriz de correlación interna de (40) DE MCTP

$$M_{MCTP\ E(corr)}=\begin{pmatrix} (cov[AA,AA]) & (cov[MCEM,AA]) \\ (cov[AA,MCEM]) & (cov[MCEM,MCEM]) \end{pmatrix} \quad (48)$$

Teniendo este tipo de matriz que correlaciona todos los elementos del TP con respectiva función de distribución gaussiana, se genera un área de estudio bastante interesante de abordar para desarrollar como modelos matemáticos sea paramétricos, no-paramétricos, lineales, no-lineales, estocásticos, modelos de estados, etc.

CONCLUSIONES

Las matrices de datos obtenidas de un transformador de potencia se le asocia a una matriz de correlación de los elementos internos que interviene en el funcionamiento, con esta matriz se abre las puertas de estudios bastantes completos, con mayor exactitud para la predicción de sus diferentes estados y sus consecuencias en función de la optimización de los trasformadores de potencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Determination of Probability of Failure of Power Transformers using Statistical Analysis.(Master of Science in Engineering). Pickster K. (2015). University of the Witwatersrand

Amendola A. . " Reliability Engineering"

Published By Kluwer Academic Publishers. 1988

Power transformer end off life modeling: linking statistics with physical ageing. (Doctor of philosophy) qi zhong.2011. the university of manchester

Lee E.,Wenyuwang J., "Statistical Methods For Survival Data Analysis" John Wiley & Sons, Inc., Publication 2003

Chow j,Wu Fe.,Momoh J., "Applied mathematics for restructutured electric power systems", Springer´s Series 2005.

Rosenthat J., "A firt Look At Rigorous Probability Theory", World Scientific Publishing Co. 2006.

Julian A." Modern Multivariate Statistical Techniques" Springer Series. 2008.

R.S. Amish, "Condition Assessment Techniques for Large Power Transformers", Curtin University of Technology, Karrinyup, Australia, Tech. Rep., 09820207, Nov. 2005.

Guidelines for the assessment and life extension of power transformers, RD EO 0410-02, 2002

T. A. Prevost, H. P. Gasser, R. Wicks, B. Glenn, R. Marek, "Estimation of Insulation Life Based on a Dual Temperature Aging Model", Weidmann-ACTI Inc. Fifth Annual Technical Conference Albuquerque, NM Nov. 13-15, 2006.

T. K. Saha, "Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.10, No. 5; October 2003.

J.A. Lapworth, "Transformer Reliability Surveys", CIGRÉ Biennial Session, Paris, 2006.

A. Bossi, 1983, "An International Survey on Failures in Large Power Transformers in Service" –

J.N. Jagers, P.J. De Klerk, Transformer Failure Classification, Final Research Report, Eskom Research and Innovation, 2008.

Final report of CIGRÉ Working Group 12.05, Electra, No.88, pp. 22 – 48.

Life Management Techniques for Power Transformers, CIGRÉ Brochure No. 227, June 003.

Matriz de correlación interna de (28) DE AA

$M_{aceite(corr)}$=

$$\begin{pmatrix} (cov[P_{fq},P_{fq}]) & (cov[SC,P_{fq}]) & (cov[C_p,P_{fq}]) & (cov[I_d,P_{fq}]) & (cov[PPB,P_{fq}]) & (cov[GD,P_{fq}]) & (cov[P_{cb's},P_{fq}]) & (cov[ICP,P_{fq}]) & (cov[CI,P_{fq}]) \\ (cov[P_{fq},SC]) & (cov[SC,SC]) & (cov[C_p,SC]) & (cov[I_d,SC]) & (cov[PPB,SC]) & (cov[GD,SC]) & (cov[P_{cb's},SC]) & (cov[ICP,SC]) & (cov[CI,SC]) \\ (cov[P_{fq},C_p]) & (cov[SC,C_p]) & (cov[C_p,C_p]) & (cov[I_d,C_p]) & (cov[PPB,C_p]) & (cov[GD,C_p]) & (cov[P_{cb's},C_p]) & (cov[ICP,C_p]) & (cov[CI,C_p]) \\ (cov[P_{fq},I_d]) & (cov[SC,I_d]) & (cov[C_p,I_d]) & (cov[I_d,I_d]) & (cov[PPB,I_d]) & (cov[GD,I_d]) & (cov[P_{cb's},I_d]) & (cov[ICP,I_d]) & (cov[CI,I_d]) \\ (cov[P_{fq},PPB]) & (cov[SC,PPB]) & (cov[C_p,PPB]) & (cov[I_d,PPB]) & (cov[PPB,PPB]) & (cov[GD,PPB]) & (cov[P_{cb's},PPB]) & (cov[ICP,PPB]) & (cov[CI,PPB]) \\ (cov[P_{fq},GD]) & (cov[SC,GD]) & (cov[C_p,GD]) & (cov[I_d,GD]) & (cov[PPB,GD]) & (cov[GD,GD]) & (cov[P_{cb's},GD]) & (cov[ICP,GD]) & (cov[CI,GD]) \\ (cov[P_{fq},P_{cb's}]) & (cov[SC,P_{cb's}]) & (cov[C_p,P_{cb's}]) & (cov[I_d,P_{cb's}]) & (cov[PPB,P_{cb's}]) & (cov[GD,P_{cb's}]) & (cov[P_{cb's},P_{cb's}]) & (cov[ICP,P_{cb's}]) & (cov[CI,P_{cb's}]) \\ (cov[P_{fq},ICP]) & (cov[SC,ICP]) & (cov[C_p,ICP]) & (cov[I_d,ICP]) & (cov[PPB,ICP]) & (cov[GD,ICP]) & (cov[P_{cb's},ICP]) & (cov[ICP,ICP]) & (cov[CI,ICP]) \\ (cov[P_{fq},CI]) & (cov[SC,CI]) & (cov[C_p,CI]) & (cov[I_d,CI]) & (cov[PPB,CI]) & (cov[GD,CI]) & (cov[P_{cb's},CI]) & (cov[ICP,CI]) & (cov[CI,CI]) \end{pmatrix} \quad (49)$$

$M_{MCEM(corr)}$=

$$\begin{pmatrix} (cov[M_{TTR-C},M_{TTR-C}]) & (cov[RPT,M_{TTR-C}]) & (cov[CTBC,M_{TTR-C}]) & (cov[CTD,M_{TTR-C}]) & (cov[M_{ARCM},M_{TTR-C}]) & (cov[\%Z,M_{TTR-C}]) & (cov[M_{FP-CD},M_{TTR-C}]) & (cov[M_{RA},M_{TTR-C}]) & (cov[M_{FRA},M_{TTR-C}]) \\ (cov[M_{TTR-C},RPT]) & (cov[RPT,RPT]) & (cov[CTBC,RPT]) & (cov[CTD,RPT]) & (cov[M_{ARCM},RPT]) & (cov[\%Z,RPT]) & (cov[M_{FP-CD},RPT]) & (cov[M_{RA},RPT]) & (cov[M_{FRA},RPT]) \\ (cov[M_{TTR-C},CTBC]) & (cov[RPT,CTBC]) & (cov[CTBC,CTBC]) & (cov[CTD,CTBC]) & (cov[M_{ARCM},CTBC]) & (cov[\%Z,CTBC]) & (cov[M_{FP-CD},CTBC]) & (cov[M_{RA},CTBC]) & (cov[M_{FRA},CTBC]) \\ (cov[M_{TTR-C},CTD]) & (cov[RPT,CTD]) & (cov[CTBC,CTD]) & (cov[CTD,CTD]) & (cov[M_{ARCM},CTD]) & (cov[\%Z,CTD]) & (cov[M_{FP-CD},CTD]) & (cov[M_{RA},CTD]) & (cov[M_{FRA},CTD]) \\ (cov[M_{TTR-C},M_{ARCM}]) & (cov[RPT,M_{ARCM}]) & (cov[CTBC,M_{ARCM}]) & (cov[CTD,M_{ARCM}]) & (cov[M_{ARCM},M_{ARCM}]) & (cov[\%Z,M_{ARCM}]) & (cov[M_{FP-CD},M_{ARCM}]) & (cov[M_{RA},M_{ARCM}]) & (cov[M_{FRA},M_{ARCM}]) \\ (cov[M_{TTR-C},\%Z]) & (cov[RPT,\%Z]) & (cov[CTBC,\%Z]) & (cov[CTD,\%Z]) & (cov[M_{ARCM},\%Z]) & (cov[\%Z,\%Z]) & (cov[M_{FP-CD},\%Z]) & (cov[M_{RA},\%Z]) & (cov[M_{FRA},\%Z]) \\ (cov[M_{TTR-C},M_{FP-CD}]) & (cov[RPT,M_{FP-CD}]) & (cov[CTBC,M_{FP-CD}N]) & (cov[CTD,M_{FP-CD}]) & (cov[M_{ARCM},M_{FP-CD}]) & (cov[\%Z,M_{FP-CD}]) & (cov[M_{FP-CD},M_{FP-CD}]) & (cov[M_{RA},M_{FP-CD}]) & (cov[M_{FRA},M_{FP-CD}]) \\ (cov[M_{TTR-C},M_{RA}]) & (cov[RPT,M_{RA}]) & (cov[CTBC,M_{RA}]) & (cov[CTD,M_{RA}]) & (cov[M_{ARCM},M_{RA}]) & (cov[\%Z,M_{RA}]) & (cov[M_{FP-CD},M_{RA}]) & (cov[M_{RA},M_{RA}]) & (cov[M_{FRA},M_{RA}]) \\ (cov[M_{TTR-C},M_{FRA}]) & (cov[RPT,M_{FRA}]) & (cov[CTBC,M_{FRA}]) & (cov[CTD,M_{FRA}]) & (cov[M_{ARCM},M_{FRA}]) & (cov[\%Z,M_{FRA}]) & (cov[M_{FP-CD},M_{FRA}]) & (cov[M_{RA},M_{FRA}]) & (cov[M_{FRA},M_{FRA}]) \end{pmatrix} \quad (50)$$

EVALUACIÓN DE DIFERENTES ALEACIONES METÁLICAS Y SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO POLIMÉRICOS UTILIZADOS EN LA SUBESTACIÓN JOSE DE CORPOELEC

Maria. Bastidas *(1), L. Linares (1), M. Sánchez(2), E. Campos (3)

(1) Corpoelec

(2) Centro de estudios de corrosion (la universidad del zulia)

(3)Centro de estudios de corrosión (unexpo)

RESUMEN.-

La subestación Jose conforma el sistema de transmisión troncal de CORPOELEC y es clave para el suministro de energía eléctrica al Complejo Petroquímico Jose Antonio Anzoátegui, ubicado en el Nororiente del país. Debido a su ubicación geográfica, cercana a la costa del mar Caribe y a la exposición de gases producto de los procesos Industriales del Criogénico, la subestación ha sufrido contaminación y corrosión en sus equipos y componentes asociados, asi como deterioro de los sistemas de recubrimiento, lo que planteo la necesidad de evaluar la corrosividad de diferentes materiales metálicos con y sin sistemas de recubrimiento poliméricos en la atmósfera de la subestación. La metodología aplicada inicia con la caracterización de la atmósfera, en función de los parámetros medioambientales (TDH, Cl^- y SO2), seguido de la instalación de un banco de exposición de placas metálicas (acero al carbono, acero galvanizado, acero inoxidable, aluminio y cobre) sin y con tres diferentes sistemas de recubrimiento poliméricos comerciales, para determinar velocidad de corrosión por pérdida de peso según la norma ISO 9223-9226 y el comportamiento de los sistema de recubrimiento según la norma ISO 4624-4628. Los resultados indican que la atmósfera de la subestación se clasifica como C4 “corrosividad alta”, con un alto tiempo de humectación. Las velocidades de corrosión determinadas son: 48 µm/a para el acero al carbono, 2,8 µm/a para el cobre, 3,1 µm/a para el acero inoxidable, 0,7 µm/a para el acero galvanizado y 0,66 g/m2.a. El acero galvanizado es el material que ofrece un mejor comportamiento ante el ambiente corrosivo de la subestación alargando su tiempo de vida en servicio con el uso de sistema dúplex con fondo epoxi poliamina y acabado de poliuretano.

Palabras claves: Corrosión, corrosividad atmosférica, sistemas de recubrimiento poliméricos, velocidad de corrosión.

EVALUATION OF DIFERENT METAL ALLOYS AND POLYMERIC COATING SYSTEMS USED IN THE JOSE DE CORPOELEC SUBSTATION

ABSTRACT.-

The Jose substation forms the core transmission system of CORPOELEC and is key for the supply of electricity to the Jose Antonio Anzoategui Petrochemical Complex located in the Northeast of the country. Due to its geographical location, close to the coast of the Caribbean Sea and to the ex-

posure of gases produced by Industrial Cryogenic processes, the substation has suffered contamination and corrosion in its associated equipment and components and deterioration of the coating systems, which raises The need to evaluate the corrosivity of different metallic materials with and without polymer coating systems in the substation atmosphere. The applied methodology begins with the characterization of the atmosphere, according to the environmental parameters (TDH, Cl and SO2), followed by the installation of a metal plate bank (carbon steel, galvanized steel, stainless steel, aluminum And copper) without and with three different commercial polymer coating systems, to determine corrosion rate by weight loss according to ISO 9223-9226 and the behavior of coating systems according to ISO 4624-4628. The results indicate that the atmosphere of the substation is classified as C4 "high corrosivity", with a high wetting time. The determined corrosion rates are: 48 µm / a for carbon steel, 2.8 µm / a for copper, 3.1 µm / a for stainless steel, 0.7 µm / a for galvanized steel and 0 , 66 g / m2.a. Galvanized steel is the material that offers a better performance to the corrosive environment of the substation, extending its life in service with the use of duplex system with epoxy polyamine bottom and polyurethane finish.

key words: Corrosion, atmospheric corrosivity, polymer coating systems, corrosion rate.

* Autor por correspondencia
Corre-e: marbastidas@corpoelec.gob.ve (M. Bastidas.)

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas directas e indirectas motivadas por la corrosión atmosférica son enormes, lo cual es lógico si se tiene en cuenta que la mayoría de los equipos y construcciones metálicas operan al aire libre. Da Silva (2003) demuestra que resultados de investigaciónes realizadas en los Estados Unidos, indican que en el caso de la transmisión de energía eléctrica los costos más significativos se deben a daños en fundaciones de torres, barras de anclaje, estructuras de torres, deterioros de conductores, corrosión de contactos y de equipos de subestaciones. A mediados del año 1999 entró en servicio la subestación Jose a 400/115 kV de CORPOELEC, ubicada en las cercanías del Complejo Petroquímico Jose al nororiente del país, cercano al mar Caribe, con la finalidad de surtir de energía eléctrica al citado complejo petroquímico. En el año 2001, la subestación Jose y sus líneas asociadas sufrieron una serie de eventos que involucraron disparos por altos voltajes y altas temperaturas en las líneas a causa de contaminación en los aisladores con la consecuente interrupción del servicio, lo que incrementó la frecuencia de lavado de los aisladores. Posteriormente, para el año 2003 y después de una serie de inspecciones, se detectó un deterioro incipiente y acelerado de los equipos, componentes y estructuras metálicas de esta subestación, lo que llevó a realizar un plan de trabajo y seguimiento contra la corrosión, que consistió en: a) reemplazo y sustitución de equipos y componentes, b) adiestramiento y procura de equipo y personal en actividades de lavado de línea en caliente; y c) limpieza superficial y aplicación de sistemas de recubrimiento a los equipos y componentes metálicos con deterioro por corrosión, los cuales ocasionaron un aumento de los costos por mantenimiento en la subestación Jose. Nuevamente para el año 2006-2007 durante inspecciones de rutinas se detectó corrosión en algunos equipos, componentes y estructuras metálicas de esta subestación y desgaste en los sistemas de recubrimiento en forma de herrumbre, ampollamiento y tizamiento. Después de estas inspecciones se realizó un inventario de los equipos y componentes de la subestación que han presentado fallas por corrosión y se encontró que los materiales metálicos más afectados en los equipos son: acero al carbono, acero galvanizado, acero inoxidable, aluminio y cobre. Considerando entonces la importancia de la transmisión de la energía eléctrica desde la subestación Jose al Complejo Petroquímico Jose, y las fallas generadas por contaminación y al fenómeno de corrosión observado en equipos y componentes, así como también el deterioro de los sistemas de recubrimiento de la subestación, se programó la necesidad de evaluar la corrosividad atmosférica de diferentes aleaciones metálicas y de sistemas de recubrimiento poliméricos en el ambiente que rodea a la subestación Jose.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, en principio se categorizó la atmósfera en función de los parámetros medioambientales, considerando el tiempo de humectación y las variables aeroquímicas (Cl- y SO2) propias de la zona de la subestación Jose, y la evaluación de la corrosividad de la atmósfera mediante la técnica de pérdida de peso en placas rectangulares elaboradas de acero al carbono, acero galvanizado, acero inoxidable, aluminio y cobre, según la técnica de exposición de placas rectangulares bajo las normas ISO 9223-9226 (2,3). Adicionalmente se evaluó el efecto corrosivo del ambiente de la subestación Jose en tres sistemas o esquemas de recubrimiento aplicados sobre acero al carbono,

acero galvanizado, acero inoxidable y aluminio.

Instalación de las estaciones de monitoreo aeroquímico y ensayo de corrosividad atmosférica.

Las estaciones de monitoreo aeroquimico se instalaron a dos alturas diferentes, a 12 metros de altura en un pórtico del patio de 400 kV y a nivel del suelo en el patio de 115 kV. La estación de ensayos de corrosividad atmosférica se instaló en el patio de 115 kV cercana a la estación de monitoreo aeroquimico colocada a nivel del suelo.

Preparación de captadores y cuantificación de los agentes aeroquímicos.

La cuantificación de agentes aeroquímicos se realizó durante 1 año y en cada estación de monitoreo se instaló un captador de sulfatos, un captador de iones cloruro y un captador de polvo atmosférico sedimentable. La velocidad de deposición de sulfatos (compuestos de azufre) se evaluó siguiendo el método de la vela de plomo (ISO 9225(4)), la velocidad de deposición del ión cloruro se determinó siguiendo el método de la vela húmeda (ISO 9225(4)) y la velocidad de deposición del polvo atmosférico sedimentable se evaluó mediante la norma ASTM D 1739 (5).

Cuantificación de los parámetros meteorológicos.

La subestación Jose cuenta con una estación meteorológica dentro de sus instalaciones, para obtener los datos climatológicos y poder determinar así la influencia del clima en el fenómeno de corrosión que se observa en esta subestación.

Preparación de las placas de exposición para evaluar velocidad de corrosión por pérdida de peso.

En base a la información recolectada sobre los diferentes materiales metálicos que conforman los equipos de la subestación Jose, se utilizaron placas de acero al carbono 1020, acero galvanizado, acero inoxidable 302, aluminio 3102 y Cobre 99%, con dimensiones de 100x150 mm, y un espesor promedio de 3 mm. Estas placas antes de ser expuestas fueron limpiadas, decapadas y pesadas en una balanza analítica con una precisión de 0,1 mg según la norma ASTM G1(6) e ISO 9226(3) y se expusieron 3 placas por cada material, durante cuatro meses, siete meses y 1 año. Y la velocidad de corrosión para cada metal se determinó segun la Norma ISO 9226(3) utilizando la ecuación 1, que viene expresada en gramos por metro cuadrado por año (g/(m/^{2} x a)),

$r_{corr} = (\Delta m / A.t)$ …..(1), donde:

Δm: pérdida de masa (g)
A: área de la superficie (m/^{2})
t: tiempo de exposición (años)

Preparación de las placas de exposición para evaluar sistemas de recubrimiento.

Las placas utilizadas para evaluar los sistemas de recubrimiento tienen las mismas medidas que las utilizadas para evaluar velocidad de corrosión (100x150 mm y un espesor promedio de 3 mm) y se evaluaron los mismos materiales que los utilizados para velocidad de corrosión, exceptuando al cobre.

Sistemas de recubrimiento a evaluar.

En este trabajo se evaluaron 3 sistemas de recubrimiento de 3 empresas diferentes. La Tabla 1 muestra los diferentes sistemas con cada

sustrato, la preparación superficial y el perfil de anclaje obtenido por cada empresa.

Tabla 1. Identificación de los sistemas de recubrimiento.

Sistema	Sistema de recubrimiento	Preparación Superficial (Norma Nace).	Perfil de Anclaje (mils)
A	Fondo rico en cinc. Capa intermedia epóxica con curado de amidoamina y acabado de poliuretano alifático	SSPC-SP3	2
B	Dos componentes: Una resina epóxica y un sistema de curado de polia-mina	SSPC-SP3	2
C	Un epoxi-vinil-es-ter modificado con elastómeros de fibra de vidrio.	SSPC-SP5	4

Evaluación del grado de deterioro de los diferentes sistemas de recubrimiento.

Para esta evaluación se determinó el grado de ampollamiento, el grado de oxidación, el grado de atizamiento y deterioro debido a la formación de hongos o acumulación de polvo y suciedad, siguiendo la norma ISO 4628/1 a 6(7) de los sistemas de recubrimiento de pinturas. Adicionalmente se evaluó la adherencia mediante el método de tracción (Pull-off) según la norma ISO 4624(8).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del ambiente.

Los resultados de la caracterización del ambiente de la subestación Jose se muestran en las Tablas 2 y 3, donde se observa un alto porcentaje de humedad relativa con deposiciones promedio de compuestos de azufre entre 10 y 11 mg/m/^{2}.d y deposiciones promedio de iones cloruro entre 19 y 25 mg/m/^{2}.d, los cuales permitieron clasificar la corrosividad atmosférica en la zona.

Tabla 2. Niveles promedio de variables meteorológicas en la atmosfera de la subestación Jose durante 1 año de evaluación.

Estación	Humedad Relativa (%)	Precipita-ción (mm)	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
Sub-estación Jose	84,98	960,2	26,854	2,16	SSE

Tabla 3. Velocidad de Deposición Promedio de Compuestos de Azufre y Salinidad de la Atmósfera. Período Abril 2007-Marzo 2008.

Ubicación	Altura (m)	Promedio SO2 (mg/m2.d)	Promedio Cl- mg/m2.d
Estación Meteorológica	2	10,1642	19,75
Pórtico	12	11,0737	25,47

Determinación de la velocidad de corrosión de las placas metálicas expuestas a la atmosfera de la subestación Jose.

Después de 4 meses, 7 meses y 1 año de exposición se evaluó la pérdida de peso de cada uno de los materiales expuestos (acero al carbono, acero galvanizado, acero inoxidable, aluminio y cobre), según lo establecido en la norma ISO 9223-9226 y los resultados se muestran en la Tabla 4.

Los resultados observados en la Tabla 4 muestran que para todos los períodos de exposición los materiales con mayor velocidad de corrosión, en función de la pérdida de peso, son en orden decreciente: acero al carbono, cobre, acero inoxidable, acero galvanizado y aluminio.

Tabla 4. Velocidad de corrosión determinada para cada uno de los materiales metálicos expuestos en la estación de ensayos de corrosividad atmosférica de la subestación Jose.

Material	Unidades	Velocidad de corrosión con 4 meses de exposición	Velocidad de corrosión con 7 meses de exposición	Velocidad de corrosión con 1 año de exposición
Acero al carbono	µm/a (g/m2.a)	77 612,14	49 389,52	48 381,05
Acero galvanizado	µm/a (g/m2.a)	2,0 13,00	1,1 8,21	0,7 5,28
Acero inoxidable	µm/a (g/m2.a)	*	1,7660 13,98	3,1492 24,94
Aluminio	µm/a (g/m2.a)	*	0,3 2,34	0,1 0,66
Cobre	µm/a (g/m2.a)	2,0 18,88	4,6 37,76	2,8 25,69

* Los valores a 4 meses de exposición para acero inoxidable y aluminio dieron muy bajos, por lo que no se tomaron en cuenta para la evaluación.

Clasificación de la corrosividad atmosférica de la subestación Jose.

Los resultados obtenidos mediante la determinación de los factores aeroquímicos y de velocidad de corrosión permiten clasificar la atmosfera de la subestación como C3-C4 “Corrosividad media-alta” con un alto tiempo de humectación, tal como se observa en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5. Clasificación de la Corrosividad Atmosférica en base a los factores aeroquímicos.

Estaciones	Altura (m)	Promedio total SO2 (mg/m2.d)	Categorías	Promedio total Cl- (mg/m2.d)	Categorías	TDH	Categorías	Corrosividad categorías
Estación Meteorológica	2	10,1642	P1	19,75	S1	5829,98	τ5	C4
Pórtico	12	11,0737	P1	25,47	S1	5829,98	τ5	C4

Tabla 6. Clasificación de la Corrosividad Atmosférica de la subestación Jose basado en la velocidad de corrosión de los materiales metálicos evaluados para 1 año de exposición.

Muestras	Unidades	Velocidad de corrosión	Categoría de Corrosividad
Acero al carbono	(g/m2.a) µm/a	381,0518 50	C3
Acero galvanizado	(g/m2.a) µm/a	5,2868 0,7	C3
Aluminio	(g/m2.a) µm/a	0,6651 0,1	C3
Cobre	(g/m2.a) µm/a	25,6929 2,8	C4

Evaluación de los sistemas de recubrimiento.

Las Figuras 1 y 2 muestran el estado superficial de la incisión en las placas después de 3 meses de exposición en la atmosfera de la subestación Jose, donde se observa que el sistema B ofreció mejor protección a las placas de acero al carbono y acero galvanizado.

Figura. 1. Estado superficial de la incisión en los sistemas de recubrimiento A, B y C con sustrato de acero al carbono.

Figura. 2. Estado superficial de la incisión en los sistemas de recubrimiento A y B con placas de acero galvanizado.

La Figura 3 muestra la presencia de hongos, observados a simple vista sobre todas las superficies metálicas evaluadas en los sistemas de recubrimiento A y C, después de 3 meses de exposición.

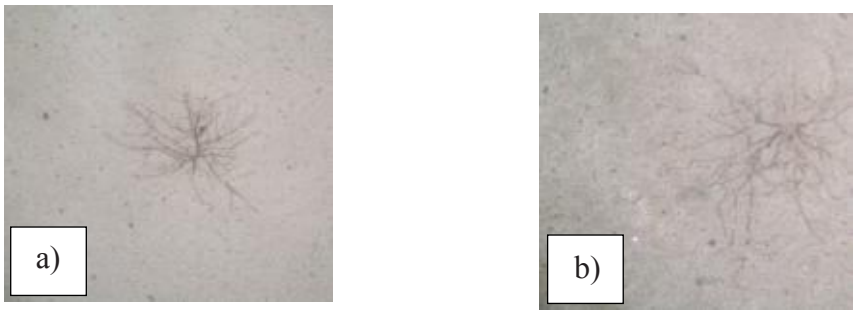


Figura. 3. Estructuras que concuerdan con Pullurarian Pululans, Hyphae y esporas sobre las superficies a) sistema de recubrimiento A; y b) sistema de recubrimiento C.

Una vez realizada la evaluación de las diferentes propiedades de los sistemas de recubrimiento, antes y después de la exposición en la atmósfera de la subestación Jose, se procedió a ponderar cada una de las variables evaluadas para cada material metálico. La ponderación fue: Malo (1), Deficiente (2), Regular (3), Bueno (4), Excelente (5). Los resultados del desempeño de los sistemas A, B y C se pueden observar en las Tablas 7-10.

Tabla 7. Evaluación General de los Sistemas de Recubrimiento sobre Acero al Carbono.

Sistemas	Propiedades Evaluadas sobre Acero al Carbono								
	Preparación superficial	Espesor de película seca	Condición superficial	Adherencia	Ampollamiento	Hongos y Suciedad	% daño en la incisión	Tizamiento	Total
A	4	5	5	5	3	2	1	5	30
B	4	5	2	5	3	4	3	3	29
C	3	5	2	5	5	2	4	3	29

Tabla 8. Evaluación General de los Sistemas de Recubrimiento sobre Acero Galvanizado.

Sistemas	Propiedades Evaluadas sobre Acero Acero Galvanizado								
	Preparación superficial	Espesor de película seca	Condición superficial	Adherencia	Ampollamiento	Hongos y Suciedad	% daño en la incisión	Tizamiento	Total
A	4	4	4	4	4	2	3	5	30
B	4	5	2	5	4	4	3	3	30
C	2	5	2	5	4	2	5	3	28

Tabla 9. Evaluación General de los Sistemas de Recubrimiento sobre Acero Inoxidable

Sistemas	Propiedades Evaluadas sobre Acero Acero Inoxidable								
	Preparación superficial	Espesor de película seca	Condición superficial	Adherencia	Ampollamiento	Hongos y Suciedad	% daño en la incisión	Tizamiento	Total
A	4	4	4	4	4	2	5	5	32
B	4	5	2	5	5	4	5	3	33
C	3	5	2	5	5	2	5	3	30

Tabla 10. Evaluación General de los Sistemas de Recubrimiento sobre Aluminio.

Sistemas	Propiedades Evaluadas sobre Acero Acero Inoxidable								
	Preparación superficial	Espesor de película seca	Condición superficial	Adherencia	Ampollamiento	Hongos y Suciedad	% daño en la incisión	Tizamiento	Total
A	4	4	4	4	4	2	3	5	30
B	4	5	2	5	5	4	5	2	32
C	3	5	2	4	5	2	5	3	29

De las Tablas 7-10 se observa que el sistema de recubrimiento B fue el que ofreció el mejor desempeño para los diferentes materiales metálicos evaluados, sin embargo se le debería agregar una capa final de poliuretano tal como la que se le aplicó al sistema A, lo que mejoraría las propiedades de resistencia a la degradación del pigmento por los rayos UV del sol. Adicionalmente hay que mejorar la aplicación del sistema sobre las partes metálicas para evitar chorreamiento de la pintura y la presencia de materiales exógenos (como arena, polvo) que afean la apariencia superficial del recubrimiento. El sistema que ofrece menores propiedades de aplicación y de exposición bajo la atmosfera de la subestación Jose, es el sistema C.

CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación de los parámetros aeroquímicos en la subestación Jose, la categorizan como una atmósfera mixta contaminada con bajas cantidades de iones cloruro y compuestos de azufre, ubicándola dentro de la clasificación P1, S1, τ5 de la Norma ISO 9223, según la cual la Corrosividad Atmosférica es C4 (Alta).

Los resultados de velocidad de corrosión de las diferentes placas metálicas expuestas por 12 meses, clasifican la corrosividad atmosférica de la subestación Jose entre C3-C4 (corrosividad media a alta).

El tiempo de humectación fue 5829,98 h/a, y que según la norma ISO 9223 se clasifica como τ5, lo que indica altos períodos de condensación y precipitación del agua sobre la superficie del metal, manteniendo la capa de humedad en más del 60 % del tiempo de exposición.

Para 1 año de exposición la velocidad de corrosión de los metales evaluados se determinó de la siguiente manera: 50 µm/a para el acero al carbono, 2,8 µm/a para el cobre, 3,1492 µm/a para el acero inoxidable, 5,28 g/m2.a para el acero galvanizado y 0,66 g/m2.a para el aluminio.

La mayor protección para los diferentes sustratos metálicos evaluados la aportó el sistema B. Sistema de recubrimiento de dos componentes con solvente de base epóxica, y sistema de curado base poliaminas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andre de Da Silva, J. Productos electro-electró-

nicos em ambientes tropicales. Madrid CYTED. 2003.

ISO 9223. Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres –Classification.

ISO 9226. Corrosión of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification-Determinación de la velocidad de corrosión de especímenes para la evaluación de la corrosividad.

ISO 9225. Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres –Classification-Measurement of pollution.

ASTM D-1739 "Standard test method for collection and measurement of dustfall (settleable particulate matter).

ASTM G 1 Standard Practice for Preparing, Clearing and Evaluating Corrosion Test Specimens.

ISO 4628-1-6. Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings –

ISO 4624. Paints and varnishes. Pull off test for adhesion.

NIVEL DE SATISFACCIÓN DEL USUARIO CON EL PROYECTO PILOTO PARA LA INSTALACIÓN DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA DEL MUNICIPIO FALCÓN, ESTADO FALCÓN

Fabiola Rodríguez*(1), Luis Díaz(2)

(1)Ingeniera de Proyectos de la Gerencia Nacional de Fuentes Alternas, CORPOELEC.

(2)Gerente Nacional de Fuentes Alternas.

RESUMEN.-

La investigación tuvo como objetivo mostrar el nivel de satisfacción obtenido con la implementación del proyecto piloto para la instalación de calentadores solares de agua desarrollado en el municipio Falcón, ubicado en la Península de Paraguaná del estado Falcón, orientando hacia la diversificación de la matriz energética con el uso racional y eficiente de la energía. La investigación fue de tipo descriptiva de campo. La población estuvo conformada por 8 prestadores de servicio turístico de alojamiento del municipio. Los resultados obtenidos mostraron el alto nivel de satisfacción existente con el desarrollo del proyecto, en cuanto al servicio ofrecido por el operador, tecnología y adaptación en su aplicación.

Palabras claves: Proyecto, Calentador, Solar, Agua.

WIND POWER PROJECTS IMPLEMENTATION MANAGEMENT MODEL FOR THE ELECTRICAL SECTOR IN VENENEZUELAN WEST REGION

ABSTRACT.-

The research aimed to show the satisfaction level obtained with the implementation of the installation project of solar water heaters developed in the Falcón municipality, located in Paraguaná, Falcón state, aiming at the diversification of the energy matrix with the rational and efficient use of energy. The research was descriptive field type. The population was conformed by 8 providers of tourist service of lodging of the municipality. The results showed the high level of satisfaction with the project development, in terms of the service offered by the operator, technology and adaptation in its application.

Key words: Project, Heater, Solar, Water.

* Autor por correspondencia
Corre-e: Fkrodríguez@corpoelec.gob.ve (Fabiola Rodríguez.)

INTRODUCCIÓN

El Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación plantea la fortaleza energética que posee Venezuela, con la posibilidad tangible para el desarrollo nacional a través de la combinación del uso soberano de los recursos naturales con la integración energética regional, promoviendo patrones sostenibles de consumo con la incorporación de Fuentes Alternas de Energía.

Bajo este escenario, dentro del territorio nacional, el Municipio Falcón del estado Falcón ha sido el primero en tierra firme en beneficiarse con un proyecto piloto para la instalación de calentadores solares de agua (CSA), iniciado el primer trimestre del año 2016 por la Gerencia Nacional de Fuentes Alternas de CORPOELEC.

Elaboración propia (2017)

Figura 1. Proyecto Piloto para Instalación CSA

El proyecto busca sustituir calentadores de agua convencionales eléctricos, disminuir el consumo de energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles utilizada para el calentamiento de agua, disminuir los gastos de operación por concepto de factura de electricidad y aprovechar el recurso solar para mantener el nivel en el servicio turístico.

Según Allan y Grill Bridgewater (2009) El CSA, es un equipo que aprovecha la energía solar para el calentamiento de agua con uso en aseo personal, limpieza y otras aplicaciones térmicas.

En este sentido, se presentó la oportunidad de dar a conocer el modelo de gestión aplicado para su ejecución, representando un ejemplo para impulsar el motor turístico nacional en materia de uso de fuentes alternas de energía, en este caso para aplicaciones térmicas.

Por lo tanto, el proyecto piloto abre una ventana para extender el uso de CSA hacia otras regiones del país, tomando como referencia lo establecido en PMBOK (2013), donde los procesos realizados para completar el trabajo definido implica coordinar personas, recursos, así como integrar y realizar las actividades de conformidad con el plan, realizando el aseguramiento de la calidad.

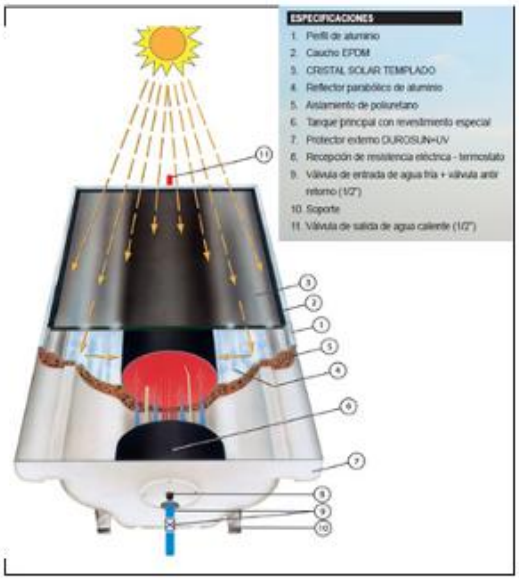


Figura 2. Descripción Técnica CSA instalado.

De igual forma, la investigación permite mostrar

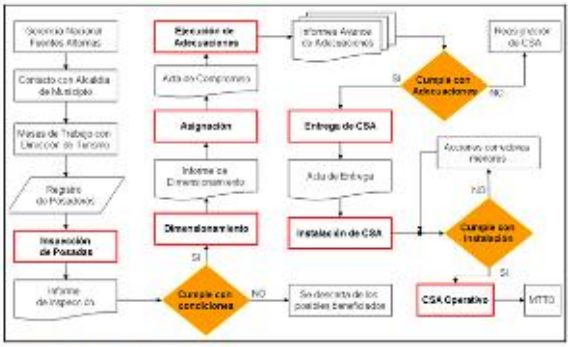
el nivel de satisfacción medido en los usuarios beneficiados, en cuanto al servicio ofrecido, tecnología y adaptación a su utilización.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Según Cartay (2010), un proyecto se define como un conjunto ordenado de acciones para atender la realización de un determinado fin, desarrollado bajo un proceso delimitado por una línea de tiempo para transformar una idea en producto.

Entonces, la ejecución del Proyecto Piloto para la Instalación de Calentadores Solares de Agua, se ha fundamentado en elementos claves como el enlace interinstitucional entre CORPOELEC y la Alcaldía Bolivariana del Municipio Falcón del Estado Falcón, el apoyo de la Dirección del Instituto de Turismo de la Alcaldía y coordinación de la logística requerida por parte de los prestadores de servicio turístico de alojamiento.

Otro elemento clave a destacar reposa sobre el posadero, quien asume la responsabilidad de llevar a cabo las adecuaciones necesarias para la posterior instalación y puesta en funcionamiento de los equipos asignados.



Elaboración propia (2017)

Figura 3. Modelo de Gestión del Proyecto

Como se muestra en la Figura 3, el modelo de gestión del proyecto se estructuró en actividades generales a ser realizadas de forma particular a cada uno de los alojamientos turísticos que resultaron beneficiados.

Entre las cuales se destacan: Abordaje inicial, recomendación para adecuaciones, informe de dimensionamiento, asignación de calentadores solares de agua, elaboración de actas de compromiso para definir la fecha en la cual se dispondrá de las adecuaciones, visitas para verificar el avance en las adecuaciones, entrega de equipo, instalación del sistema de calentamiento de agua y la puesta en servicio.

Un número significativo de posadas fueron abordadas, con la finalidad de ser incluidas dentro del proyecto; sin embargo, por indisponibilidad de recursos para efectuar las adecuaciones, el alcance del proyecto contempló la instalación de CSA en 10 alojamientos turísticos del municipio, los cuales se listan en el Tabla 1.

Tabla 1 Posadas Beneficiadas

Nombre de Posada	Ubicación
Ña Ramona	Guacuira
Amanecer Paraguanero	Azaro
Icaro	Playa Sur
Casa Rosada	Playa Norte
Los Robles	El Hato
Casa Blanca	Centro Adícora
Chicho`s	Playa Sur
Posada Rosmar	Adícora
San Benito	Guacuira

Elaboración propia (2017)

Figura 4. CSA Instalado en Posada Ña Ramona.

Figura 5. CSA Instalado en Hotel Casa Blanca

Figura 6. CSA Instalado en Villa de Jesús

Actualmente, se tienen 33 equipos en el municipio, de los cuales 30 se encuentran operativos, ver Figuras 4, 5 y 6. Dentro de los logros del proyecto se enmarca un avance real del 88%, con una desviación menor al 10% con respecto a la planificación; aportando un ahorro en el consumo eléctrico anual de 40.455,87 kWh, lo que representa un ahorro en el consumo de combustible igual a 10.904,48 Litros y la reducción de emisiones a la atmósfera en una cuota de 25,08 Ton CO2.

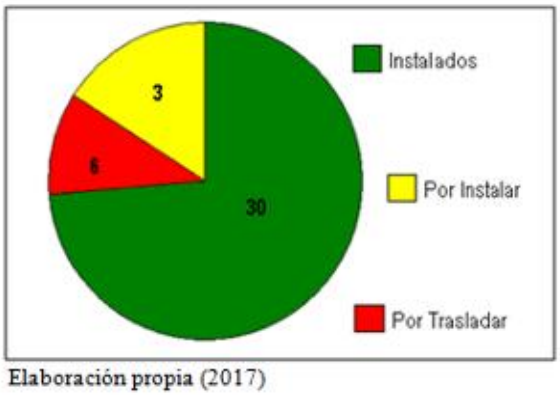


Figura 7. Cantidad de equipos asignados

Tomando en cuenta, el avance del proyecto, se consideró oportuno medir el nivel de satisfacción de los usuarios, representados por los prestadores de servicio turístico que han sido beneficiados hasta la fecha con la instalación de CSA. Esto permitirá identificar las fortalezas, tomar acciones correctivas en los puntos con mayor debilidad, así como sumar lecciones aprendidas para orientar al óptimo desempeño de las actividades contempladas.

METODOLOGÍA

Esta investigación fue de tipo descriptiva, modalidad de campo, establecida en un diseño de investigación no experimental transeccional. La población estuvo representada por un total 08 prestadores de servicio turístico de alojamiento, que han sido beneficiados con la ejecución del proyecto piloto para instalación de CSA.

En cuanto a la técnica de recolección de los datos fue seleccionada la encuesta, mediante la

aplicación de un cuestionario compuesto por 10 preguntas de selección con 5 alternativas. Para determinar la confiabilidad del mismo se aplicó el coeficiente de Alpha Cronbach referido por Chávez (2007), dando como resultado 0,70 considerado altamente confiable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la dimensión Servicio, se obtuvo una media igual a 4,50 lo cual se ubica en una categoría Alta según el baremo de interpretación de resultados, ver Tabla 2, significando una excelente satisfacción del usuario en relación a la atención brindada por el equipo técnico de la Gerencia Nacional de Fuentes Alternas de CORPOELEC, así como la asesoría ofrecida, calidad de servicio y respuesta a sus exigencias.

Por otra parte, el indicador Tiempo arrojó una media por debajo del rango de la dimensión en cuestión igual a 4,2; ubicándose en la categoría de buen cumplimiento del tiempo en el que se efectuó la gestión para la instalación de los sistemas de calentamiento solar de agua, lo cual representa un punto de mejora para fortalecer la metodología de gestión empleada.

Tabla 2 Baremo de interpretación de resultados

Media	Alternativa de Respuesta	Categoria
1,00-1,80	Deficiente	Muy Baja
1,81-2,60	Malo	Baja
2,61-3,40	Regular	Media
3,41-4,20	Bueno	Buena
4,21-5,00	Excelente	Alta

En relación a la dimensión tecnología ofrecida, se obtuvo una media de 4,67 lo cual refleja que el usuario considera excelente los equipos suministrados y la innovación implementada para el calentamiento de agua a partir de la fuente solar.

Por otro lado, desde el punto de vista de la aplicación del sistema por parte del usuario, se obtuvo una media de 4,61 lo cual demuestra su excelente adaptación hacia el uso de la nueva tecnología, promover su utilización y satisfacción hacia el proyecto.

En la Tabla 3, se puede observar que las dimensiones estudiadas presentan una media aritmética en el mismo rango de la categoría de la variable de estudio, significando un alto nivel de satisfacción hacia el proyecto piloto en cuestión.

Tabla 3 Descriptivos Nivel de Satisfacción

Satisfacción	X Dimensión	X Variable
Servicio	4,50	4,59
Tecnología	4,67	
Adaptación	4,61	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se evidencia un Alto Nivel de Satisfacción por parte de los usuarios beneficiados con el Proyecto Piloto para la Instalación de CSA en el municipio Falcón, espejo de un excelente desempeño por parte del equipo técnico involucrado en la materialización de los objetivos, así como también es indicativo de la adecuada integración y actuación de los interesados durante el desarrollo de cada una de las etapas del proyecto.

El modelo de gestión utilizado para implementar el proyecto, representa una herramienta útil para dar respuesta a la necesidad de calentamiento

de agua en los establecimientos que prestan servicio turístico de alojamiento, aumentando los niveles de confort al turista, mientras que al mismo tiempo se aprovecha la energía solar de la región.

Se recomienda establecer estrategias que permitan proyectar a nivel nacional las buenas prácticas registradas en el municipio Falcón, mejorando las debilidades identificadas, orientando acciones para optimizar el tiempo de respuesta en la gestión de la instalación de los equipos.

Se hace necesario destacar la importancia del seguimiento y control de las actividades asociadas con la ejecución de las adecuaciones, ya que el tiempo de respuesta se ve afectado directamente por factores externos como indisponibilidad de recursos por parte del beneficiario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allan y Grill Bridgewater (2009). Energías Alternativas Handbook. Editorial Paraninfo. Primera Edición. Madrid, España.

Cartay, I (2010). Gestión de Proyectos. Un enfoque de PDVSA. Editorial Torococo, Venezuela.

Chávez, N (2007). Introducción a la Investigación Educativa. Editorial Gráfica González, Maracaibo, Venezuela.

Ejecutivo Nacional (2013). Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013 – 2019. Caracas, Venezuela.

Project Management Institute, INC. (2013) Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). 5ta. Edición. Pennsylvania.

MODELO DE GESTIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN EÓLICA EN EL SECTOR ELÉCTRICO, REGIÓN OCCIDENTE

Fabiola Rodríguez *(1), Adolfina Amaya(2)

(1) Ingeniera de Proyectos de la Gerencia Nacional de Fuentes Alternas, CORPOELEC.

(2)Superintendente Desarrollo de Ingeniería, Complejo Petroquímico Ana Campos, PEQUIVEN. Comisión de Servicios para la Gobernación del Zulia, Gerente General del Instituto de Viabilidad del Zulia, INVEZ.

RESUMEN.-

La investigación tuvo como objetivo proponer un modelo de gestión para la implementación de proyectos de generación eólica en el sector eléctrico de la región occidente, considerando la situación actual, características, requerimientos y fases para su desarrollo. Tipo descriptiva de campo, bajo un diseño de investigación no experimental transeccional. Los resultados indicaron que los miembros del equipo de proyectos presentan debilidades en los aspectos de situación actual, requerimientos y fases, haciendo factible proponer un modelo para mejorar el desarrollo de los proyectos eólicos, atendiendo las necesidades identificadas, para llevarlos a un nivel de óptimo cumplimiento.

Palabras claves: Modelo, Gestión, Generación Eólica, Parques Eólicos.

WIND POWER PROJECTS IMPLEMENTATION MANAGEMENT MODEL FOR THE ELECTRICAL SECTOR IN VENENEZUELAN WEST REGION

ABSTRACT.

This research aimed to propose a management model for the implementation of wind power projects in the electrical sector in the Venezuela western region. The research considered the current situation of wind power projects, its characteristics, requirements and development phases. This investigation concerned to a feasible project. The method of research utilized in this descriptive research was the survey. The results showed weaknesses in some aspects of current situation, requirements and phases. Those deficiencies make viable to propose a project management model to improve the development of wind power projects.

Key words: Model, Management, Wind Power Projects, Wind Farms.

* Autor por correspondencia
Corre-e: Fkrodriguez@corpoelec.gob.ve (Fabiola Rodriguez)

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Rodriguez (2016), los proyectos de generación eólica se llevan a cabo con la finalidad de producir energía eléctrica a partir de la transformación de la energía cinética del viento, empleando para ello unidades de generación conocidas como aerogeneradores. Además resalta, que debe cubrir con un conjunto articulado y coherente de actividades orientadas a alcanzar uno o varios objetivos siguiendo una metodología definida, para lo cual precisa de un equipo de personas, así como de otros recursos cuantificados en forma de presupuesto, cuya programación responde a un cronograma con una duración limitada.

En este sentido, considerando que el territorio nacional presenta una serie de características favorables para el desarrollo de la energía eólica, el Gobierno Nacional ha tomado iniciativas en el aprovechamiento de este recurso para reducir los efectos de la dependencia con el sistema eléctrico nacional interconectado.

Lo antes mencionado se fundamenta con el Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013-2019, donde se reafirma la necesidad de promover ciudades energéticamente eficientes, mediante el uso de tecnologías ahorradoras de energía. Adicionalmente, con el quinto objetivo estratégico, resaltando el desarrollo de proyectos eólicos, enmarcados en la política de "Impulsar un cambio en la matriz de fuentes de generación de electricidad favoreciendo el uso de energías limpias".

Bajo este escenario, dentro del territorio nacional se están ejecutando dos proyectos de generación eólica en la región occidental del país, específicamente en la Península de Paraguaná del estado Falcón y La Guajira en el estado Zulia, los cuales están siendo desarrollados a través de Petróleos de Venezuela (PDVSA) y la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), respectivamente.

Sin embargo, tomando en cuenta lo planteado por Michelena (2016), la gestión de la calidad aplicada a la construcción de la infraestructura del Parque Eólico La Guajira, como proyecto vanguardista para el inicio de las energías renovables en Venezuela, ha presentado debilidades, con cambios en los costos y cronograma de ejecución, lo cual muestra puntos de mejora en los procesos de planificación, aseguramiento y control de calidad.

En este sentido, se presentó la oportunidad de proponer un modelo de gestión para la ejecución estandarizada de este tipo de proyectos, representando un aporte para mejorar las oportunidades de éxito en la futura implementación de proyectos de generación eólica dentro del sector eléctrico nacional, orientado con las necesidades actuales en cuanto a la definición del alcance, costos, gestión de riesgos, control de calidad, implementación de cambios, entre otros.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Según PMBOK (2013), el modelo de gestión lo concibe como el conjunto de acciones ordenadas, estructuradas en fases que van a ser aplicadas en función de las características y recursos disponibles con el propósito de cumplir sus objetivos, a través de los procesos de iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, así como cierre.

De acuerdo con Contreras (2013), el plan de implementación de un proyecto eólico es un proceso de varias etapas que se deben cumplir para asegurar el correcto aprovechamiento del recurso eólico, entre ellas estimar su variación

estacional, proyectar la estimación energética, identificar la proximidad a la red de transmisión eléctrica, disponibilidad de terreno, estudio de impacto ambiental, estudios de factibilidad técnico-financiera. Posteriormente se procede a la construcción del parque eólico, incluyendo obras civiles, mecánicas y eléctricas.

Según lo antes expuesto, el modelo de gestión para la implementación de proyectos eólicos se define como conjunto de acciones ordenadas, estructuradas en fases aplicadas para asegurar el correcto aprovechamiento del recurso eólico, a través de los procesos de iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, así como cierre; basado en parámetros claves incluyendo el alcance, la calidad, programa, presupuesto, los recursos, riesgos y la satisfacción de la dirección.

En este sentido, la investigación abarca las dimensiones situación actual, características, requerimientos y fases; considerando indicadores claves como el alcance, cronograma, costos, procura, calidad, riesgos, emplazamiento, aerogenerador, obras civiles, montaje electromecánico; así como aspectos técnicos, económicos y los relacionados con el talento humano involucrado.

SITUACIÓN ACTUAL

Para definir la situación actual de los proyectos de generación eólica, se consideraron los indicadores de alcance, cronograma, costos, procura, calidad y riesgos.

Según PMBOK (2013), la gestión del alcance incluye los procesos necesarios para garantizar la culminación del trabajo requerido con éxito, cumpliendo con la documentación de las necesidades de los interesados, desarrollando la descripción detallada de los productos, dividiendo el trabajo en componentes fáciles de manejar, definiendo el proceso para aceptación de entregables, la forma como se debe monitorear el proyecto, y la gestión de cambios a su línea base.

En relación al cronograma, Cartay (2010), lo refiere como un mecanismo integrador de todos los trabajos y sus costos; sirviendo como indicador de las relaciones secuenciales de los recursos asignados; además, refleja las fechas proyectadas de iniciación y terminación para cada actividad, derivando tanto las estrategias como las herramientas de control.

Por otro lado, los costos de todas las actividades del cronograma deben considerar los recursos requeridos en la ejecución, mano de obra, materiales, equipos, servicios e instalaciones, así como asignaciones especiales por inflación y contingencia.

Por tal motivo, PMBOK (2013) plantea, la información sobre los costos de los recursos involucrados genera una base de datos comercial como instrumento de seguimiento y evolución de los distintos recursos, en el mercado con respecto al tiempo.

Otro aspecto importante es el planteado por Palacios (2007), donde la procura abarca los procesos requeridos para adquirir tanto los bienes como servicios necesarios para la ejecución del proyecto eólico, entre los cuales se incluyen la planificación de las compras, la planificación del proceso de contratación, la solicitud de respuestas, selección de los proveedores, administración y cierre.

Adicionalmente, de acuerdo con Michelena (2016), la gestión de la calidad representa un proceso obligatorio que debe ser parte de la línea base del alcance del proyecto eólico dentro

de la planificación estratégica e inclusive aplicable como principio de la organización donde se desarrolle; por lo tanto la Calidad es parte fundamental para la ejecución adecuada.

Por lo tanto, según Díaz (2010), desde el inicio se debe establecer el nivel de calidad a aplicar, forma de documentar los resultados obtenidos, identificar las normas, códigos y regulaciones aplicables, definir los procesos de control y tratamiento de no conformidades, además de las acciones correctivas derivadas como consecuencia de las mismas.

Otro aspecto fundamental es el manejo de los riesgos; de acuerdo con Rodríguez y Mejías (2016), la variedad de riesgos presentes en un proyecto eólico, deja en evidencia la necesidad que le asiste a las partes involucradas determinar cuál será la gestión de riesgos necesaria para conseguir el menor impacto negativo sobre el alcance general del proyecto eólico.
Por lo tanto, según lo establecido por PMBOK (2013), existen riesgos tanto conocidos como desconocidos, para los cuales se desarrollan escenarios de respuesta y planes de contingencia; esto se logra considerando la gestión de los riesgos dentro de la ejecución del proyecto eólico.

CARACTERÍSTICAS

De acuerdo con Acevedo (2010), para la selección del emplazamiento eólico se debe considerar el análisis de los interesados, la determinación de las características de infraestructura, evaluación del recurso eólico y obtención de los permisos.

Adicionalmente, como elemento principal para desarrollar proyectos eólicos está el aerogenerador; tal como lo establece Polanco (2012), constituye la unidad de generación que permite aprovechar la energía contenida en el viento, para su conversión en energía eléctrica.

Entre las partes principales se encuentran el rotor, góndola y torre; además de componentes eléctricos como generador, inversor, sistema de control, servicios auxiliares, cableado general, transformador, compensador de potencia reactiva, dispositivos de seguridad, sistema de protección contra descargas atmosféricas.

De igual forma, para el montaje, se requieren de ciertas obras civiles. Al respecto Álvarez (2009) indica, el diseño de la fundación adaptado a las características geotécnicas del suelo, la plataforma de montaje habilitada en zona adyacente a la locación de cada unidad, así como área para el acopio de materiales. Además de la adecuación de vías de acceso, caminos internos, zanjas para cableado eléctrico y de comunicación, drenajes, entre otras obras.

En este sentido, el montaje electromecánico es una parte crítica del proyecto, tal como lo establece el Manual de Montaje y Mantenimiento Mecánico de Parque Eólico (2011), es necesario disponer de un esquema de trabajo, respetando el orden secuencial de las actividades, trabajando de forma sistemática de acuerdo con el programa de montaje de aerogeneradores, conexión del cableado eléctrico, centros de transformación y subestación para entrega de energía.

Como característica final se refiere la puesta en marcha de los equipos, definida por Polanco (2012) como el período desde el momento donde el aerogenerador se ha instalado hasta cuando es entregado para convertirse en responsabilidad exclusiva del operador.

Por lo tanto, requiere de una estrecha cooperación entre el fabricante y el operador, para cumplir con los criterios que deben aplicarse con el propósito de verificar su funcionalidad, hacer

chequeo físico independiente, realizar pruebas de funcionamiento, así como validar la conexión a la red eléctrica.

REQUERIMIENTOS

Miranda (2007), relaciona los requerimientos con todas a las actividades que adelantan y acompañan la etapa de ejecución. Dentro de los requerimientos para la implementación de proyectos de generación eólica se consideran los técnicos, económicos y talento humano.

Según Cartay (2010), el conocimiento técnico es la habilidad para usar el conocimiento teórico, las técnicas y el equipo necesario en la ejecución de las actividades en un proyecto, respondiendo a cómo se hacen las cosas, con qué se hacen y cuál es el resultado. Asimismo, Palacios (2007) indica, el análisis técnico implica contestar todas las preguntas fundamentales referentes al proceso requerido para obtener los productos, analizando la magnitud del proyecto, ubicación, equipos y organización necesaria.

Dentro del aspecto económico, Polanco (2012) establece, la estimación de la cantidad de energía que producirán los aerogeneradores de acuerdo con el potencial eólico disponible en sitio, como el insumo más importante para el cálculo económico en el cual se basará la decisión final de llevar a cabo el proyecto.

Los resultados determinarán la energía proyectada en un año normal de viento, lo cual en términos económicos permite determinar el retorno de la inversión; sin embargo, por la variabilidad del viento la estimación es sobre supuestos en proyección futura de energía, por lo tanto, el análisis económico debe ir seguido de un análisis de sensibilidad para mostrar los riesgos y oportunidades de inversión.

Por otra parte, es importante contemplar el requerimiento de talento humano; al respecto PMBOK (2013) establece, identificar y documentar los roles del proyecto, responsabilidades, relaciones de informe, y se cree el plan de gestión para adquirir el personal necesario considerando la cantidad de miembros del equipo de acuerdo con las exigencias requeridas en el tiempo.

FASES

Según PMBOK (2013), la estructuración en fases del proyecto representa divisiones lógicas dentro del mismo, para facilitar su dirección, planificación, control y ejecución, lo que permite gestionar eficazmente la conclusión de los entregables. De igual forma, establece cinco categorías conocidas como Planificación, Ejecución, Seguimiento y Control, y Cierre.

De acuerdo con Díaz (2010), en el proceso de iniciación se establece un compromiso con la dirección del proyecto, entendiendo qué se va a hacer, cuánto va a costar y cuándo se va a terminar; además se definen los objetivos generales, las expectativas de los participantes, el alcance general, así como también se establecen las normas necesarias para su desarrollo.

Por otra parte, Cartay (2010) refiere, la administración de proyectos requiere de una lógica de sistemas organizados para alcanzar los objetivos, considerando la planificación como un proceso gradual sometido a una dinámica constante, como consecuencia de la evolución de las dimensiones esenciales tiempo, costo y alcance.

En relación a la fase de ejecución, el PMBOK (2013) establece, los procesos realizados para completar el trabajo definidos implica coordinar personas, recursos, así como integrar y realizar las actividades del proyecto de conformidad

con el plan, realizando el aseguramiento de la calidad respectivo.

Según Gido y Clements (2012), en la fase de control de proyectos es necesario supervisar el avance de las actividades, con el propósito de asegurar el cumplimiento del plan, por lo cual se mide el progreso real y se compara con el planificado. Para determinar el avance real se debe hacer el seguimiento de cuáles actividades se han iniciado y/o terminado, cuándo se hizo, así como el costo asociado; en el caso de registrar una desviación con respecto al plan, se deben llevar a cabo acciones correctivas para reorientar al proyecto en el marco del plan.

De acuerdo con Díaz (2010), una vez concluida satisfactoriamente la puesta en marcha, es necesario aplicar un procedimiento de cierre en base a una lista de tareas, celebrando reuniones con los miembros del equipo de proyecto, así como con las empresas participantes para alcanzar el máximo consenso posible.

METODOLOGÍA

Esta investigación se refiere a un proyecto factible, la metodología de la investigación fue de tipo descriptiva, modalidad de campo, establecida en un diseño de investigación no experimental transeccional. La población estuvo representada por un total de diecinueve (19) sujetos del sector eólico de la República Bolivariana de Venezuela, que han participado en la ejecución del Parque Eólico Los Taques en el estado Falcón y Parque Eólico La Guajira en el estado Zulia.

En cuanto a la técnica de recolección de los datos fue seleccionada la encuesta, mediante la aplicación de un cuestionario compuesto por 97 preguntas de selección con 5 alternativas. El instrumento fue validado por 8 expertos en materia de proyectos; para determinar la confiabilidad del mismo se aplicó el coeficiente de Alpha Cronbach, dando como resultado 0,961 considerado muy altamente confiable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la dimensión Situación Actual, se obtuvo una media igual a 3,26 lo cual se ubica según el baremo de interpretación en una categoría moderada.

En la Tabla 1, se muestra que los aspectos medidos sobre la dimensión Situación Actual, los indicadores de Alcance, Costos y Riesgos se ubicaron por debajo de la media de la dimensión, siendo indicativo de debilidades determinación del alcance, estimado de costos y gestión de los riesgos en los proyectos de generación eólica.

Tabla 1 –Descriptivos Situación Actual.

Alternativas	Alcance		Cronograma		Costos		Procura		Calidad		Riesgos	
	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%
Siempre	2	10,5	5	26,3	0	0	9	47,4	3	15,8	3	15,8
Casi siempre	6	31,6	5	26,3	6	31,6	6	31,6	7	36,8	6	31,6
A veces	4	21,1	3	15,8	7	36,8	2	10,5	4	21,1	5	26,3
Casi nunca	3	15,8	6	31,6	2	10,5	1	5,3	4	21,1	3	15,8
Nunca	4	21,1	0	0	4	21,1	1	5,3	1	5,3	2	10,5
Total	19	100	19	100	19	100	19	100	19	100	19	100
X del Ind	3,02		3,36		2,79		3,89		3,29		3,20	
Desviación	1,06		1,02		1,03		0,90		0,90		1,00	
X de Dimen	3,26											
Desviación	0,80											

Elaboración Propia (2017)

En este sentido, de la valoración realizada sobre los indicadores considerados en la dimensión referida, se puede inferir que el equipo de proyectos de generación eólica presenta regular cumplimiento de las actividades requeridas, contando con fortalezas en el ámbito de procura en relación a gestionar los procesos de adquisición, evaluar las mejores opciones disponibles en el mercado y definir los hitos de pago.

De igual forma, cuenta con debilidades en términos de costos en cuanto a la aplicación del método de valor ganado, disponibilidad de un monto de contingencia y conocer los factores que producen cambios en la línea base.

Por otro lado se determinó la necesidad de fortalecer la metodología asociada a desarrollar de la estructura desagregada de trabajo, disponer de un sistema de control de cambios de alcance, establece las reglas de medición de desempeño, analizar la ruta crítica para verificar la correcta planificación del proyecto, disponer de un procedimiento para registrar el control de calidad, disponer de un procedimiento para implementar cambios en las actividades durante el control de calidad, planificar la gestión de riesgos.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de la dimensión Características, se obtuvo una media igual a 4,5 lo cual se ubica según el baremo de interpretación en una categoría alta significando el óptimo cumplimiento de las actividades.

En la Tabla 2, se observa que el indicador con media aritmética más cercana a la media de la dimensión fue Montaje Electromecánico, con 4,46. Además, los indicadores Emplazamiento y Obras Civiles presentaron media aritmética superior a la media de la dimensión, con 4,84 y 4,71; respectivamente.

Tabla 2 Descriptivos Características.

Alternativas	Emplazamiento		Aerogenerador		Obras Civiles		Montaje Electromecánico		Puesta en Marcha	
	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%
Siempre	18	94,7	12	63,2	17	89,5	14	73,7	10	52,6
Casi siempre	1	5,3	4	21,1	1	5,3	4	21,1	8	42,1
A veces	0	0,0	3	15,8	1	5,3	1	5,3	1	5,3
Casi nunca	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nunca	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	19	100	19	100	19	100	19	100	19	100
X del Ind	4,84		4,21		4,71		4,46		4,26	
Desviación	0,29		0,69		0,49		0,49		0,49	
X de Dimen	4,50									
Desviación	0,40									

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En contra parte, para los indicadores Aerogenerador y Puesta en Marcha se observó una media de 4.21 y 4.26, lo cual representa un valor cercano a la frontera inferior de la categoría alta del baremo de interpretación, acercándose al nivel de buen cumplimiento de las actividades, esto permite inferir la existencia de ciertas debilidades.

En este sentido, dentro de la dimensión se determinó la existencia de debilidades menores en las siguientes actividades: conocer los tipos de aerogeneradores existentes en el mercado, recomendar los materiales de fabricación para el aerogenerador, coordinar oportunamente las actividades con el equipo de montaje, gestionar la llegada oportuna de las partes de los equipos a la fecha planificada de montaje, disponer de los procedimientos para la puesta en marcha de los equipos, conformar un comité de arranque de los equipos y contemplar el acompañamiento del fabricante en el proceso.

En relación a la dimensión Requerimientos, se obtuvo una media igual a 3,72 lo cual se ubica según el baremo de interpretación en una categoría moderadamente alta significando el buen cumplimiento de las actividades.

En la Tabla 3, se observa que el indicador con media aritmética más cercana a la media de la dimensión fue el Técnico, con 3,77. Adicionalmente, el indicador Talento Humano presentó una media aritmética superior a la media de la dimensión, igual a 3,89; mientras que el indicador Económico fue el que más se alejó de la media de la dimensión, tomando un valor de 3,49.

Tabla 3. Descriptivos de Requerimientos.

Alternativas	Técnicos		Económicos		Talento Humano	
	Fr	%	Fr	%	Fr	%
Siempre	7	36,8	4	21,1	3	15,8
Casi siempre	5	26,3	5	26,3	12	63,2
A veces	5	26,3	9	47,4	2	10,5
Casi nunca	2	10,5	1	5,3	2	10,5
Nunca	0	0,0	0	0	0	0
Total	19	100	19	100	19	100
X del Ind	3,77		3,49		3,89	
Desviación	0,78		0,72		0,63	
X de Dimen	3,72					
Desviación	0,57					

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En este sentido, dentro de la dimensión Requerimientos se determinó mayor debilidad en los siguientes aspectos: aplicar la normativa nacional de parques eólicos pertinente durante la ejecución, utilizar la tecnología adecuada en la ejecución de las actividades, determinar las necesidades de financiamiento, calcular el valor presente neto como mecanismo de verificación de la rentabilidad de la inversión, estimar los costos operativos, disponer de procedimientos para la validación de las capacidades técnicas del personal, garantizar la capacitación necesaria para llevar a cabo los procedimientos de puesta en marcha y conocer las responsabilidades de los miembros del equipo para el logro de los objetivos.

En cuanto a la dimensión Fases, se obtuvo una media igual a 3,28 lo cual se ubica según el baremo de interpretación en una categoría moderada significando el regular cumplimiento de las actividades.

En la Tabla 4, se observa que el indicador con media aritmética más cercana a la media de la dimensión fue Iniciación, con 3.26. Además, tanto el indicador de Ejecución como Seguimiento y Control presentaron una media aritmética superior a la media de la dimensión, igual a 3,44 y 3,71, respectivamente; ubicándose en la categoría moderada, significando el regular cumplimiento de las actividades asociadas.

Tabla 4. Descriptivos Fases

Alternativas	Iniciación		Planificación		Ejecución		Seguimiento y Control		Cierre	
	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%
Siempre	2	10,5	0	0	2	10,5	7	36,8	1	5,3
Casi siempre	8	42,1	9	47,4	9	47,4	5	26,3	6	31,6
A veces	4	21,1	4	21,1	4	21,1	4	21,1	3	15,8
Casi nunca	2	10,5	3	15,8	4	21,1	3	15,8	6	31,6
Nunca	3	15,8	3	15,8	0	0	0	0	3	15,8
Total	19	100	19	100	19	100	19	100	19	100
X del Ind	3,26		3,02		3,44		3,71		2,95	
Desviación	1,01		1,05		0,79		0,91		1,04	
X de Dimen	3,28									
Desviación	0,84									

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Asimismo, los indicadores de Planificación y Cierre arrojaron valores de la media aritmética igual a 3,02 y 2,95; ubicándose por debajo de la media de la dimensión, tomando valores más cercanos a la frontera inferior de la categoría moderada. Igualmente, el indicador Cierre presentó el valor de media aritmética más baja de la dimensión igual a 2,95 demostrando debilidades importantes presentes en el proceso de cierre de los proyectos de generación eólica.

Por lo tanto, dentro de la dimensión Fases, el equipo de proyectos presenta fortalezas en los siguientes aspectos: verificar la disponibilidad de los recursos financieros, elaborar el acta de constitución del proyecto, participar en la supervisión de la ejecución de las actividades, mantener comunicación con los interesados, medir periódicamente el avance real de las actividades así como elaborar informes de gestión para presentar el desempeño del proyecto y verificar que los procesos de ejecución.

Por otra parte, se determinó mayor debilidad en identificar los interesados tanto internos como externos, definir la estructura desagregada de trabajo, establecer la interdependencia entre las actividades, involucrar en la planificación a los responsables, asignar los recursos necesarios

para cada actividad, incluir la gestión del riesgo. Además, existe oportunidad de mejoras en verificar los resultados obtenidos a partir de medidas de control de calidad, conocer las variables de control de avance, recomendar acciones para corregir posibles desviaciones, evaluar el rendimiento de los integrantes del equipo en relación con los objetivos, elaborar un listado con lecciones aprendidas y disponer de un archivo único del proyecto.

En cuanto al análisis de la variable Modelo de Gestión para la Implementación de Proyectos de Generación Eólica, se obtuvo una media de 3,69; esto representa un buen cumplimiento de las actividades según los parámetros de interpretación del baremo.

En la Tabla 5, se puede observar que la dimensión con media aritmética más cercana a la media de la variable fue Requerimientos, con 3,72. Además, se observó que el equipo de proyectos presenta óptimo cumplimiento de las actividades de Caracterización.

Tabla 5 Descriptivos Modelo de Gestión.

	X Dimensión	Desv. Dimensión	X Variable	Desv. Variable
Situación Actual	3,26	0,80	3,69	0,65
Características	4,50	0,40		
Requerimientos	3,72	0,57		
Fases	3,28	0,84		

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En contraparte, las dimensiones más débiles resultaron la Situación Actual y las Fases, con valores 3,26 y 3,28 respectivamente; ubicándose por debajo de la media de la variable, cayendo en la categoría moderada, significando el regular cumplimiento de las actividades asociadas.

PROPUESTA

El Modelo de Gestión propuesto representa una respuesta a la necesidad de cumplir eficientemente con las actividades asociadas a las fases de iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, así como cierre durante el desarrollo de proyectos de generación eólica, dentro del alcance, costo, duración además de la calidad esperada.

De igual forma, el Modelo propuesto busca orientar el desarrollo exitoso de los proyectos de generación eólica para disponer oportunamente de la energía eléctrica generada a partir del recurso eólico, aportando una cuota al sistema interconectado nacional que apoye a cubrir con la creciente demanda existente a partir de la diversificación de la matriz energética.

En tal sentido, el modelo integra una metodología que se adapta a la naturaleza de las actividades para dirigirlas hacia el óptimo cumplimiento, tomando en cuenta la planificación de los recursos, duración, adopción de decisiones, dirección del equipo y aseguramiento de la calidad.

INICIACIÓN

Esta fase se compone de los procesos que encaminan el comienzo de un nuevo proyecto de generación eólica, cubriendo con la necesidad de una buena preparación inicial, tomando en cuenta la criticidad para el desarrollo de las actividades del mismo.

De acuerdo con la necesidad identificada, se explora el entorno, se documenta su impacto, se determinan las características del proyecto, las necesidades de permisos, disponibilidad de emplazamiento, inicio de mediciones del recurso eólico y otros estudios de línea base para el análisis de viabilidad correspondiente, para finalmente elaborar el acta de constitución del proyecto.

Tal como se muestra en la Figura 1, abarca

la elaboración del enunciado del alcance, viabilidad y acta de constitución. La elaboración del enunciado describe de forma general la implementación de los proyectos eólicos, con lo cual se busca recopilar y organizar toda la información que será necesaria para el proyecto.

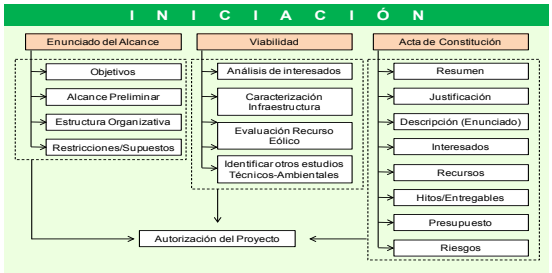


Figura 1. Fase Iniciación

Elaboración Propia (2017)

Por su parte la viabilidad, es un proceso fundamental para sentar las bases de toma de decisiones en el marco de aprobar o rechazar la implementación, donde sus conclusiones deben ser consideradas en la planificación, abarcando el análisis de los interesados, evaluación del potencial eólico disponible en el emplazamiento, factibilidad ambiental, infraestructura existente, evaluación de red eléctrica, entre otros.

Como paso final de esta fase se elabora el acta de constitución del proyecto eólico, la cual representa la autorización formal del mismo; documenta las necesidades actuales y del nuevo producto buscando satisfacer los requerimientos inicialmente planteados.

PLANIFICACIÓN

Representa una fase fundamental para el modelo de gestión, donde se desarrolla el plan de dirección, el cual consiste en documentar las acciones necesarias para definir, integrar y coordinar todos los planes necesarios para la implementación del proyecto de generación eólica, basado en el alcance, tiempo, costo, calidad, talento humano, comunicaciones, riesgos y adquisiciones involucradas.

Además, representa la fuente primaria de información para determinar la forma como el proyecto eólico será planificado a detalle, ejecutado, supervisado y controlado, así como hacer el cierre del mismo. En la Figura 2 se muestran las actividades que conforman dicha fase.

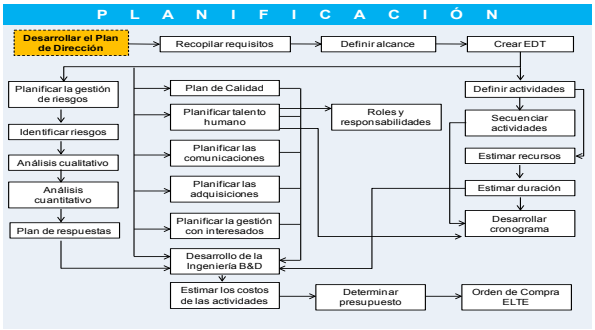


Figura 2. Fase de Planificación
Elaboración Propia (2017)

EJECUCIÓN

Este proceso consiste en llevar a cabo el trabajo definido en el plan de dirección para cumplir con los objetivos establecidos, llevando a cabo lo planteado en la Figura 3.

Abarca el aseguramiento de la calidad, talento humano necesario para el desarrollo de las actividades, desarrollar y dirigir el equipo, gestionar las comunicaciones incluyendo ciclos de retroalimentación que propicie la participación de los interesados, realizar las adquisiciones, verificar entregables, generar datos de desempeño, así como realizar solicitudes de cambio de ser necesarias.

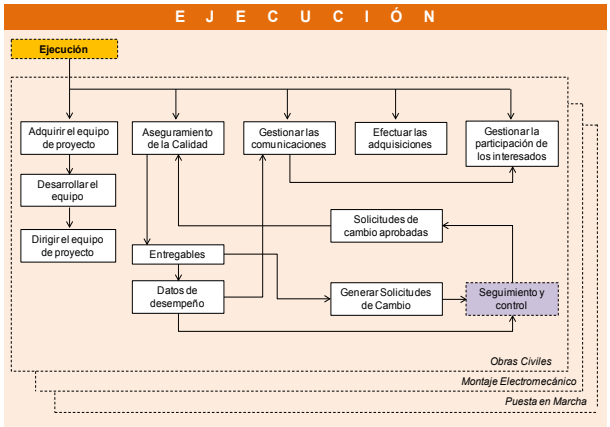


Figura 3. Fase de Ejecución

Elaboración Propia (2017)

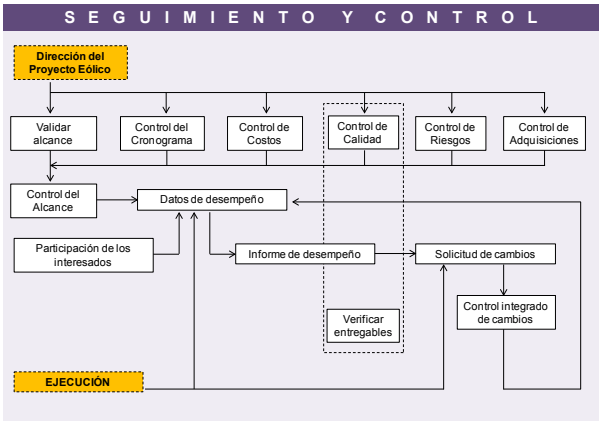


Figura 4. Fase de Seguimiento y control.

Elaboración Propia (2017)

SEGUIMIENTO Y CONTROL

Esta fase abarca dar seguimiento, revisar e informar el avance del proyecto eólico a fin de cumplir con los objetivos de desempeño definidos en el plan; permite a los interesados comprender el estado actual del proyecto, las medidas adoptadas, así como las proyecciones del presupuesto, cronograma y alcance. Principalmente se ocupa de comparar el desempeño real del proyecto eólico con respecto al plan de la dirección, identificar la necesidad de acciones, proponer recomendaciones pertinentes, identificar nuevos riesgos, implementar el plan de respuesta de manera oportuna, mantener una base de información actualizada para sustentar los informes de avance, así como pronósticos, monitorear la implementación de los cambios aceptados, informar a los interesados sobre el desempeño global.

A continuación, en la Figura 4 se muestran las actividades involucradas, así como su interrelación con los aspectos principales a monitorear en un proyecto eólico, tales como tiempo, costo, alcance, calidad, riesgos y el proceso de adquisiciones.

CIERRE

Con el propósito de asegurar el cierre completo del proyecto de generación eólica, es necesario hacer una revisión del cumplimiento de todos los objetivos para que refleje el cumplimiento de todos los requisitos inicialmente planteados.

Por tal motivo, abarca finalizar las actividades contempladas en el plan de dirección del proyecto, a fin de completar formalmente el mismo y las obligaciones contractuales establecidas.

Esta fase incluye todas las actividades planificadas para el cierre administrativo del proyecto, considerando las acciones y actividades necesarias para satisfacer los criterios de culminación, transferir el parque eólico a la fase de operaciones, así como las actividades necesarias para recopilar los registros de cada fase de la implementación del proyecto.

Inicialmente es necesario elaborar una lista de comprobación, con la finalidad de facilitar el trabajo de cierre, en donde se establezca lo que se tiene previsto comprobar, el responsable,

fechas de compromiso, considerando cierre contractual, organizativo, administrativo, operacional y tecnológico.

Finalmente se debe realizar un informe de cierre en donde se asiente el cumplimiento de todos los requerimientos, con el objeto de hacer el cierre formal de cada una de las fases del proyecto, así como a la aceptación final de la culminación del proyecto fundamentado por el cumplimiento del alcance, cronograma de ejecución real, costo incurrido y lista de entregables con su documento de validación respectivo.

RECOMENDACIÓN Y CONCLUSION

Aplicar el modelo de gestión propuesto para la implementación de proyectos de generación eólica, contemplando la fase de iniciación, conllevando a la planificación y posterior ejecución de las actividades asociadas al alcance planteado, con el debido seguimiento y control ajustado a un sistema integral de cambios, orientando el adecuado cierre de las fases.

Establecer estrategias que permitan al sector eléctrico de la región occidente orientar la gestión para la implementación de los proyectos de generación eólica hacia el logro de los objetivos tomando en cuenta la triple restricción de tiempo, costo y alcance, considerando la necesidad de una planificación detallada, así como la importancia del control de calidad en cada una de las etapas y adecuada gestión de los riesgos asociados, bajo una comunicación efectiva y oportuna.

Determinar en la fase de iniciación, la viabilidad de la implementación del proyecto de generación eólica, tomando en cuenta la caracterización del emplazamiento eólico, considerando el análisis de los interesados, caracterización de la infraestructura civil y eléctrica, evaluación del recurso eólico, estudios técnicos, así como ambientales requeridos, además del licenciamiento correspondiente.

Establecer durante la fase de planificación, una Estructura Desagregada de Trabajo que permita desarrollar el cronograma de actividades involucrando al personal responsable, así como elaborar los planes de gestión asociados, entre ellos plan de riesgos, plan de calidad, plan de talento humano, plan de comunicaciones, plan de adquisiciones y el plan de gestión con interesados.

Gestionar durante la ejecución, las adquisiciones tomando en cuenta la relevancia de la llegada oportuna de los equipos mayores al emplazamiento, como una actividad determinante para cumplir con los plazos establecidos en el montaje electromecánico. Además, se recomienda conocer la interrelación de las actividades, las variables de control de avance, así como el procedimiento para corregir posibles desviaciones en el alcance.

Gestionar el talento humano, evaluando el rendimiento de los integrantes del equipo en el cumplimiento de los objetivos, así como garantizando el desarrollo del personal involucrado en los procedimientos de gestión, montaje y puesta en marcha de los equipos; además se recomienda conformar un comité de arranque de los equipos, contemplando el acompañamiento del fabricante en durante el proceso.

Aplicar durante la fase de cierre del proyecto, una lista de comprobación con la finalidad de facilitar el trabajo de cierre, en donde se establezca lo que se tiene previsto comprobar, el responsable, así como las fechas previstas y

real, de cada una de ellas, abarcando el aspecto contractual, organizativo, administrativo, operativo, así como tecnológico.

Estandarizar el modelo de gestión propuesto como una herramienta que sirva de referencia para el sector eléctrico a nivel nacional, en relación a la adecuada administración y control de futuros proyectos eólicos, así como para la ampliación de los proyectos actualmente en desarrollo.

Establecer a nivel ministerial el modelo de gestión propuesto como una metodología a seguir dentro del sector eléctrico para la implementación de proyectos de generación eólica a nivel nacional, en el marco del quinto objetivo estratégico del Plan de La Patria, así como los planes de desarrollo del sistema eléctrico nacional para la diversificación de la matriz energética.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, H (2010). Guía para la gestión del desarrollo de proyectos eólicos en Centroamérica. Trabajo de Grado para optar al título de Máster en Administración de proyectos. Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). San José. Costa Rica.

Álvarez, N (2009). Proyecto de diseño, construcción y explotación de un parque eólico. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. España.

*Cartay, I (2010).*Gestión de Proyectos. Un enfoque de PDVSA. Editorial Torococo, Venezuela.

Contreras, D (2013). Plan de Negocios Parque Eólico Limarí. Seminario de Título para obtener grado académico de Ingeniero Comercial, Mención administración. Universidad de Chile. Chile

Díaz, A (2010). El arte de dirigir proyectos. Editorial Rama. Tercera Edición. Madrid. España.

Ejecutivo Nacional (2013). Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013 – 2019. Caracas, Venezuela.

Gido, J y Clements, J (2012). Administración Exitosa de Proyectos. Editorial Thomson. Cuarta Edición (verificar). México.

Manual de Montaje y Mantenimiento mecánico de parque eólico. (2011). Editorial vértice. Málaga, España.

Michelena, M (2016). Gestión de la calidad aplicada a la construcción de la infraestructura del Parque Eólico la Guajira. Trabajo de Grado para optar al título de Magister Scientiarium en Gerencia de Proyectos de Construcción. Universidad del Zulia. Maracaibo estado Zulia. Venezuela.

Miranda, J (2007). Gestión de Proyectos. MM Editores. Quinta Edición. Bogotá. Colombia.

Palacios, L (2007). Gerencia de Proyectos. Un

Enfoque Latino. Editorial Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.

Polanco, P (2012). Lineamientos para el desarrollo de parques eólicos en Guatemala. Trabajo de Graduación para optar al Título de ingeniero civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Rodriguez, F (2016). Factores que impulsan la implementación de proyectos de generación eólica para la diversificación de la matriz energética en Venezuela. Artículo arbitrado. Primer Congreso Internacional de Investigación de la URBE. Universidad Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.

Rodriguez, F y Mejias, D (2016). Análisis cualitativo de riesgos para la ejecución de parques eólicos en Venezuela. Artículo arbitrado. Primer Congreso Internacional de Investigación de la URBE. Universidad Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.

*Project Management Institute, INC. (2013)*Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). 5ta. Edición. Pennsylvania.

USO DEL SOFTWARE R PARA EL PRONOSTICO DE DEMANDA ELÉCTRICA DE CORTO PLAZO

César A. Yajure Ramírez *(1), **Héctor A. Briceño Garcia**(2)

(1) Dirección General de Modelaje y Estudios Eléctricos, MPPEE

(2) Dirección General de Modelaje y Estudios Eléctricos, MPPEE

RESUMEN.-

En la siguiente investigación se presenta un estudio para evaluar la utilidad del software estadístico R en la estimación de la demanda eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional para el corto plazo. Se trabaja con los modelos ARIMA a través de la metodología Box-Jenkins. Se consideran dos casos de estudio, uno estacional asociado a la serie de tiempo mensual de la energía eléctrica consumida, y otro no estacional asociado a la serie de tiempo anual de la energía eléctrica consumida. Los modelos encontrados resultaron satisfactorios en cuanto a los supuestos estadísticos y a la exactitud.

Palabras claves: Demanda eléctrica, Modelos ARIMA, Box-Jenkins, Software R

USING R FOR SHORT TERM ELECTRICAL LOAD FORECASTING

ABSTRACT.-

The following research presents a study to evaluate the usefulness of R Program in estimating the electricity demand of the National Electric System for the short term. It works with ARIMA models through the Box-Jenkins methodology. Two case studies are considered, one seasonal associated with the time series of monthly electricity consumed, and other non-seasonal associated with the time series of annual electricity consumed. The models were found satisfactory in statistical assumptions and accuracy.

KEY WORDS: Electrical demand, ARIMA Models, Box-Jenkins, R Program

* Autor por correspondencia
Corre-e: cyajure@mppee.gob.ve (César A. Yajure Ramírez)

INTRODUCCIÓN

Las estimaciones de demanda eléctrica de corto plazo son indispensables para realizar la planificación en el Sector Eléctrico, dentro de ese horizonte de pronóstico, razón por la cual es de suma importancia la selección de una metodología adecuada y un software estadístico que permita implementarla.

La metodología Box-Jenkins ha sido utilizada ampliamente para el pronóstico de corto plazo. En ese sentido, Hahn y otros (2009) plantean que los enfoques de serie de tiempo, y más específicamente los modelos ARIMA, han sido utilizados para el corto plazo, en series univariadas. De igual manera, Hong (2013) establece que los modelos ARIMA fueron introducidos por Box y Jenkins, y han sido uno de los enfoques más populares en la estimación de la demanda eléctrica. Igualmente, Taylor y McSharry (2008) siguieron la metodología Box-Jenkins, entre otros métodos, para pronosticar la demanda eléctrica en diez países europeos. De acuerdo con Pankratz (1983), la metodología incluye tres etapas iterativas para encontrar un "buen" modelo, la etapa de identificación, la etapa de estimación y la etapa de chequeo para diagnosticar la adecuación estadística del modelo.

Por la complejidad matemática involucrada, la implementación de la metodología requiere el uso de software estadístico. Actualmente se dispone tanto de software propietario como de software en formato libre, y debido a las disposiciones gubernamentales al respecto en nuestro país (Decreto Presidencial 3.390, 2004), se hace conveniente la utilización del software en formato libre, sin que esto desmejore la calidad de los resultados. Por tal razón, se propone la utilización del programa R (R Core Team, 2015) para el análisis de serie de tiempo, a través de la metodología Box-Jenkins, el cual ya ha sido utilizado en anteriores investigaciones, tal como lo proponen Shumway y Stoffer (2011).

Es así como en la presente investigación se plantea evaluar el software estadístico R para la estimación de la demanda eléctrica de corto plazo, a través de dos series temporales de la energía consumida a nivel nacional. Para tal fin, en la siguiente sección se plantea la problemática que nos lleva a realizar la investigación.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En las valoraciones de demanda eléctrica desarrolladas por el Equipo Técnico del Comité de Estimación de Demanda del Sistema Eléctrico Nacional, se utiliza la metodología de Box-Jenkins para las estimaciones de corto plazo. Dicha metodología se basa en los modelos ARIMA, para los cuales se requiere el uso de un software estadístico.

De acuerdo al decreto 3.390 de fecha 23/12/2004 (Decreto Presidencial 3.390, 2004), en las instituciones públicas venezolanas debe utilizarse software libre en todas las actividades que se realicen y que requieran el uso del computador. En las estimaciones de demanda usualmente se ha utilizado software propietario, sin embargo se debe avanzar hacia la transición del uso de software libre, por lo que luego de realizar una investigación al respecto, se ha decidido probar el software estadístico R (R Core Team, 2015) para el uso de desarrollo de modelos ARIMA en las estimaciones de demanda eléctrica de corto plazo, sin que esto desmejore la calidad de los resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

A efectos de verificar la conveniencia de utilizar el software R para el desarrollo de modelos ARIMA, se trabajará con dos casos de estudio, un primer caso no estacional, asociado a la serie de tiempo de la energía eléctrica consumida durante el período 1960-2015, con resolución anual. El segundo caso, está asociado a la serie de tiempo de la energía eléctrica consumida a nivel nacional durante el período 2003-2009, con resolución mensual.

A cada caso se aplica la metodología Box-Jenkins para el análisis de series de tiempo, la cual se aplica solo a series estacionarias, por lo que previo al uso de la metodología mencionada se deberá realizar un estudio de estacionariedad para así determinar el orden de integración de la serie de tiempo respectiva.

De igual manera, la serie de ambos casos de estudio se divide en dos partes, una serie de entrenamiento (anual 1960 - 2013 y mensual 2003 - 2008) para estimar los parámetros del modelo y evaluar la exactitud del mismo, y la otra de prueba (anual 2013 - 2015 y mensual 2009) para contrastar la calidad del pronóstico.

ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

Caso de Estudio 1

Corresponde a la serie temporal de la energía consumida en Venezuela durante el período 1960-2015, con resolución anual. En la figura 1 se puede observar como esta serie presenta una tendencia creciente hasta aproximadamente el año 2009, una caída en al año 2010 producto de la crisis eléctrica que sufrió Venezuela durante ese año, que obligó a la toma de medidas de gestión de la demanda. Luego, hay un repunte hasta el año 2012, cuando comienza una disminución en la energía eléctrica consumida en el país, que aún persiste debido principalmente a la situación económica del país. Luego para el análisis de estacionariedad, selección del modelo, verificación de los supuestos estadísticos y exactitud del modelo se consideraron los datos históricos 1960-2013, mientras que para evaluar la calidad del pronóstico se tomó el período 2014-2015.

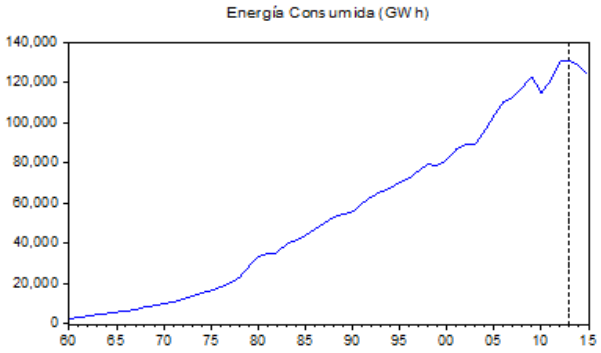


Figura 1. Energía consumida anualizada.

Análisis de Estacionariedad

Para realizar el análisis de estacionariedad, a través del test Dicky-Fuller Ampliado (ADF por sus siglas en Inglés), se utilizó el comando urdfTest del paquete "urca" (Pfaff, Zivot, & Stigler , 2016). Al aplicar el test ADF a la serie en niveles, considerando el caso con tendencia e intercepto, se obtuvo que la serie no es estacionaria puesto que el estadístico de Dickey-Fuller (tADF) es mayor a los valores críticos para el 1%, 5% y 10%.

Posteriormente, se aplicó el test ADF a la serie diferenciada, considerando el caso de la existencia de tendencia, y resultó que el tADF era menor a los valores críticos para el 1%, 5% y 10%, por lo que se obtuvo una serie estacionaria, y por consiguiente se dice que la serie es integrada de orden uno, I(1).

En la tabla 1 se presenta un resumen con los

valores más importantes del test DFA utilizando el software R.

Tabla 1. Valores resultantes del Test de Dickey-Fuller Ampliado.

Orden	t_{ADF}	Valores Críticios	Rezagos	Tipo
I (0)	-2,0715	1%: -4,04 5%: -3,45 10%: 3,15	k=2	C,t
I (1)	-6,2005	1%: -3,51 5%: -2,89 10%: 2,58	k=1	C

Selección del Modelo ARIMA

Inicialmente se gráfica en el plano temporal la serie estacionaria, en este caso la serie original diferenciada una vez. Esta información se presenta en la figura 2.

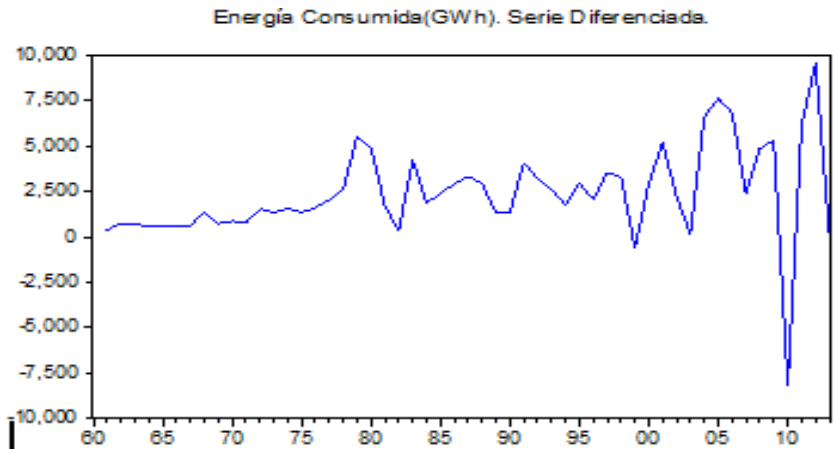


Figura 2. Serie anual de energía diferenciada.

De la figura 2 se puede observar que la serie presenta una alta variabilidad, por lo que es conveniente aplicar una transformación logarítmica (Hyndman, 2016).

El siguiente paso consiste en obtener el correlograma de la serie transformada, para así proponer un modelo inicial. Para obtener dicho correlograma se utiliza el comando tsdisplay del paquete "forecast" (Hyndman, 2016). Dicho correlograma se presenta en la figura 3, del cual se propone un modelo ARIMA(1,1,0) para esta serie de datos.

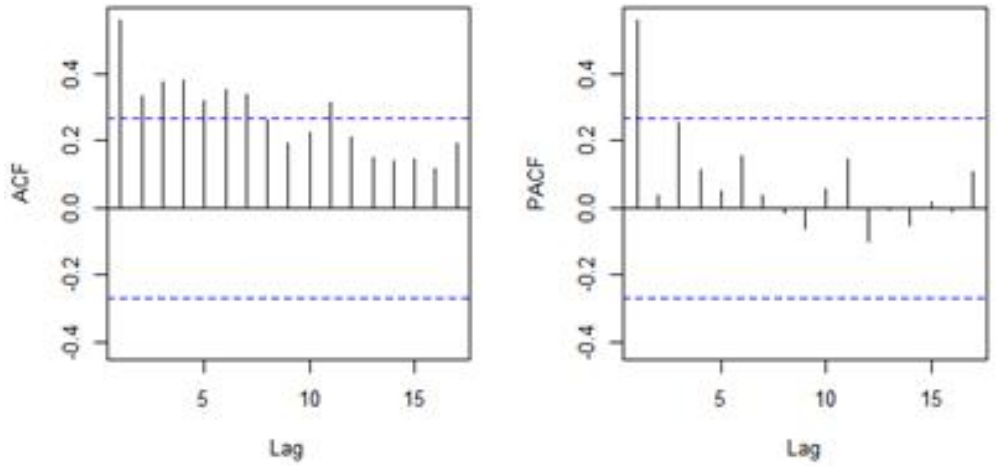


Figura 3. Correlograma de serie de energía anual diferenciada y transformada.

De igual manera, para obtener los parámetros del modelo se aplica el comando Arima del paquete "forecast" (Hyndman, 2016), obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del modelo ARIMA(1,1,0).

Variable	Coeficiente	Std. Error	t-Estadístico	p_valor
C	0,0726	0,0140	5,185714	0,0000
AR(1)	0,5795	0,1135	5,105727	0,0000

De la tabla 2 se puede observar que tanto el coeficiente del AR(1) como el del intercepto son estadísticamente significativos, por entre otras cosas presentar un p-valor menor al 5% (Pankratz, 1983), sin embargo, esta inferencia estadística quedará condicionada a la verificación de los supuestos estadísticos.

Verificación de los supuestos estadísticos

Los residuos deben cumplir con los supuestos de incorrelación serial, normalidad y homocedasticidad, antes de realizar cualquier tipo de pronóstico o inferencia estadística.

Para verificar la incorrelación serial de los residuos se utiliza el comando Box.test del paquete "stats" (R Core Team, 2015). La normalidad se verifica utilizando el comando jarque.bera.test del paquete "tseries" (Trapletti, Hornik & LeBaron 2016). Finalmente, para verificar la homocedasticidad de los residuos se utiliza el comando ArchTest del paquete "FinTS" (Graves, 2014).

En la tabla 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos al verificar los supuestos estadísticos, de la cual se puede observar que los residuos cumplen con cada una de las pruebas requeridas por presentar un p-valor mayor al 5% (Pankratz, 1983).

Tabla 3. Resultados supuestos estadísticos. Caso 1.

Test	Estadístico	p_valor
Ljung-Box	Q=24,346	0,4419
Jarque-Bera	JB=3,7945	0,1500
ARCH	2=0,013387	0,9079

Exactitud del Modelo

En este punto, se obtienen los indicadores de exactitud dentro de la muestra considerando el período 1960-2013, es decir, los residuos se calculan como la diferencia entre los valores históricos y los valores del modelo ajustado. Los indicadores obtenidos (Shumway & Stoffer, 2011) son la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), y el error porcentual absoluto medio (MAPE), los cuales se presentan en la tabla 4. En el cálculo de los indicadores con R se utiliza el comando accuracy del paquete "forecast".

Tabla 4. Indicadores de Exactitud. Caso 1.

Indicador	Valor
RMSE	3192,655
MAE	1709,562
MAPE	3,08

Estimaciones de Energía Consumida 2014-2015

Una vez obtenido el modelo que mejor se ajusta a los datos históricos (serie de entrenamiento), el siguiente paso consiste en realizar el pronóstico para el período 2014-2015. En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos, incluyendo un intervalo de predicción del 95%.

Cabe destacar que para realizar el pronóstico a través de R se utiliza el comando forecast.Arima del paquete "forecast".

Tabla 5. Resultados Estimaciones 2014-2015.

Período	Energía (GWh)				Error Absoluto
	Lim Inf 95%	Lim Sup 95%	Esti-mado	Real	
2014	123.447,7	147.230,2	134.815,50	128.542,30	4,88%
2015	120.018,7	166.834,1	141.503,40	123.998,60	14,12%
MAPE					9,50%

Caso de Estudio 2

Este caso corresponde a la serie de tiempo de la energía eléctrica consumida a nivel nacional, durante el período 2003-2009, con resolución mensual. En la figura 4 se puede observar que la serie presenta una tendencia ascendente con una estacionalidad cuasi periódica de resolución mensual, patrones que deberán ser incorporados al modelo seleccionado. Luego para el análisis de estacionariedad, selección del modelo, verificación de los supuestos estadísticos y exactitud del modelo se consideraron los datos históricos 2003-2008, mientras que para evaluar la calidad del pronóstico se tomó los meses del año 2009.

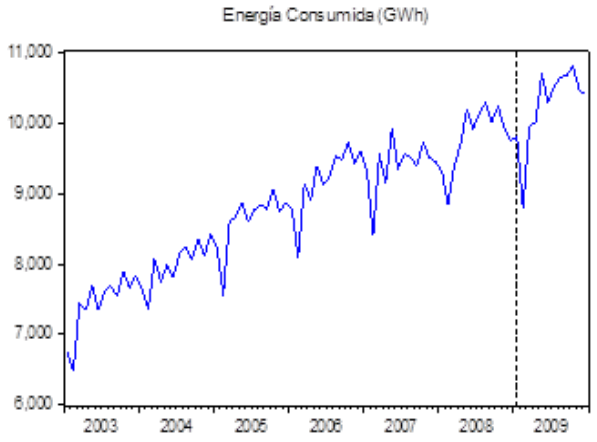


Figura 4. Energía consumida mensualizada.

Análisis de Estacionariedad

Al aplicar el test ADF a la serie en niveles, considerando el caso con tendencia e intercepto, se determina que la serie tiene al menos una raíz unitaria puesto que el estadístico de Dickey-Fuller (tADF) es mayor a los valores críticos para el 1%, 5% y el 10%.

Posteriormente, se aplica el test ADF a la serie diferenciada, considerando el caso de la existencia de tendencia, resultando que el tADF es menor a los valores críticos para el 1%, 5% y el 10%, por lo que se dice que la serie diferenciada es estacionaria.

En la tabla 6 se presenta un resumen con los valores más importantes del test DFA utilizando el software R.

Tabla 6. Valores resultantes del Test de Dickey-Fuller Ampliado. Caso 2.

Orden	t_{ADF}	Valores Críticos	Rezagos	Tipo
I(0)	-0,8435	1%:-4,04 5%:-3,45 10%:-3,15	k=12	C, t
I(1)	-3,383	1%:-3,51 5%:-2,89 10%:-2,58	k=11	C

Selección del Modelo ARIMA

Inicialmente se gráfica en el plano temporal la serie estacionaria, en este caso la serie de entrenamiento diferenciada una vez. Esta información se presenta en la figura 5.

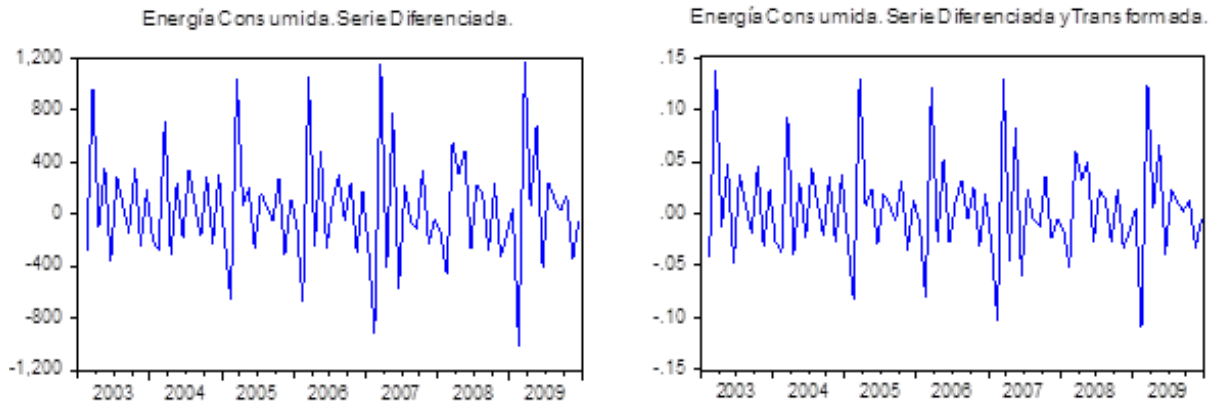


Figura 5. Serie mensual de energía diferenciada y transformada.

De la figura 5 se puede observar que la serie presenta una alta variabilidad, por lo que fue conveniente aplicar transformación logarítmica. El siguiente paso consiste en obtener el correlograma de la serie transformada, para así proponer un modelo inicial, el cual se presenta en la figura 6.

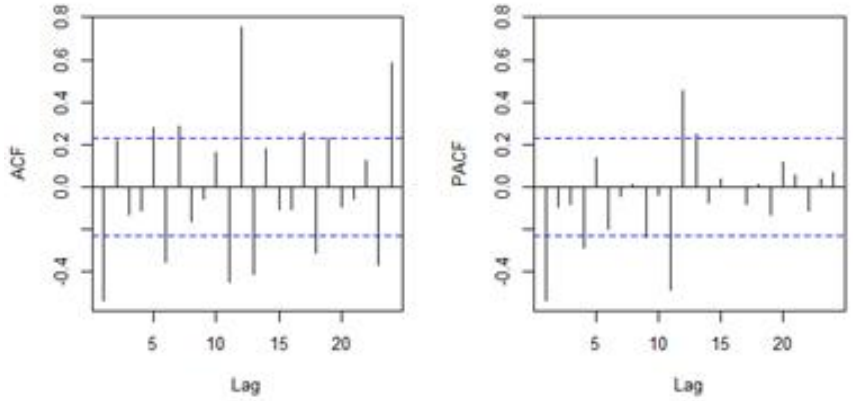


Figura 6. Correlograma de serie de energía mensual diferenciada y transformada.

Del correlograma se propone un modelo inicial ARIMA(1,1,0)(1,0,0)12, lo cual indica una componente AR(1), una diferencia convencional (no estacional), y una componente estacional SAR(12). Los parámetros estimados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros del modelo. Caso 2.

Variable	Coeficiente	Std. Error	t-Estadístico	p_valor
C	0,0061	0,0070	0,6363	0,3806
AR(1)	-0,3957	0,1086	-2,9447	0,0003
SAR(12)	0,8403	0,0519	13,8174	0,0000

De la tabla 7 se puede observar que a excepción de la constante C, los demás coeficientes resultaron estadísticamente significativos, por entre otras cosas presentar un p-valor menor al 5% (Pankratz, 1983), sin embargo, esta inferencia estadística quedará condicionada a la verificación de los supuestos estadísticos.

Verificación de los supuestos estadísticos

Los residuos del modelo deben cumplir con los supuestos de incorrelación serial, normalidad y homocedasticidad, antes de realizar cualquier tipo de pronóstico. La incorrelación serial se prueba a través del test Ljung-Box, para la normalidad se utiliza el test de Jarque-Bera, y para la homocedasticidad se utiliza el test de ARCH. En la tabla 8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos al verificar los supuestos estadísticos, de los que se puede observar que los residuos cumplen con cada una de las pruebas requeridas por presentar un p-valor mayor al

5% (Pankratz, 1983)..

Tabla 8. Resultados supuestos estadísticos. Caso 2.

Test	Estadístico	p_valor
Ljung-Box	Q=30,498	0,1688
Jarque-Bera	JB=3,5054	0,1733
ARCH	□2=0,42875	0,5126

Exactitud del Modelo

En este punto, se obtienen los indicadores de exactitud dentro de la muestra (serie de entrenamiento), es decir, los residuos se calculan como la diferencia entre los valores históricos y los valores del modelo ajustado. Los valores obtenidos en cada uno de los indicadores (Shumway & Stoffer, 2011) son la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), y el error porcentual absoluto medio (MAPE), los cuales se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Indicadores de Exactitud. Caso 2.

Indicador	Valor
RMSE	186,187
MAE	148,638
MAPE	1,72

Estimaciones de Energía Consumida 2009

Una vez obtenido el modelo que mejor se ajusta a los datos históricos, el siguiente paso consiste en realizar el pronóstico para el año 2009. En la tabla 10 se presentan los valores estimados, así como los valores reales, lo cual permite calcular el error absoluto para cada mes, y el MAPE para todo el año.

Tabla 10. Estimaciones de Energía Consumida 2009.

Período	Energía (GWh)		Error Absoluto
	Estimado	Real	
Ene-09	9.682,49	9.794,24	1,14%
Feb-09	9.264,60	8.787,72	5,43%
Mar-09	9.764,40	9.948,90	1,85%
Abr-09	10.041,25	10.011,10	0,30%
May-09	10.472,62	10.689,30	2,03%
Jun-09	10.248,32	10.283,50	0,34%
Jul-09	10.451,98	10.528,30	0,72%
Ago-09	10.592,08	10.640,60	0,46%
Sep-09	10.360,45	10.666,80	2,87%
Oct-09	10.570,57	10.807,60	2,19%
Nov-09	10.297,18	10.458,00	1,54%
Dic-09	10.166,85	10.401,60	2,26%
MAPE			1,76%

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Análisis de Resultados Caso 1

La serie anualizada de energía consumida presentó tendencia ascendente, lo cual se evidenció al aplicar el test de Dickey-Fuller, resultando ésta en una serie de orden de integración igual a uno – I(1), es decir, para obtener la serie estacionaria previo a la aplicación de la metodología Box-Jenkins hubo que diferenciar la serie original una vez.

A través del correlograma de la serie con transformación logarítmica y diferenciada, se pudo observar que el modelo inicial estaría compuesto por una componente autorregresiva de orden 1 – AR(1), y una constante. Este modelo propuesto fue evaluado, y los parámetros estimados fueron estadísticamente significativos, así como los residuos resultantes cumplieron con los supuestos estadísticos de normalidad, ho-

mocedasticidad, e incorrelación serial.

El modelo ARIMA propuesto presentó un MAPE de 3,08% dentro de los datos históricos (serie de entrenamiento), lo cual resulta adecuado de acuerdo al criterio empírico de mantener este indicador por debajo del 5%, cuando se evalúa dentro de la data histórica.

Los valores pronosticados para el período 2014-2015 (serie de prueba) presentaron un MAPE mayor al 5%, sin embargo, los valores reales de energía caen dentro del intervalo de predicción del 95%, lo cual resulta satisfactorio para resaltar la calidad del pronóstico.

Análisis de Resultados Caso 2

La serie mensualizada de energía consumida presentó tendencia ascendente así como estacionalidad cuasi periódica. Lo primero se evidenció al aplicar el test de Dickey-Fuller Ampliado en el que resultó que la nueva serie tenía un orden de integración igual a uno – I(1), es decir, para obtener la serie estacionaria previo a la aplicación de la metodología Box-Jenkins hubo que diferenciar la serie original una vez.

A través del correlograma de la serie diferenciada, se propuso un modelo inicial compuesto por una componente autorregresiva de orden 1, una componente autorregresiva estacional de orden 1, y una constante. Este modelo propuesto fue evaluado, y los parámetros estimados fueron estadísticamente significativos, así como los residuos resultantes cumplieron con los supuestos estadísticos de normalidad, homocedasticidad, e incorrelación serial.

El modelo ARIMA propuesto presentó un MAPE de 1,72% dentro de los datos históricos (serie de entrenamiento), lo cual resulta adecuado de acuerdo al criterio empírico de mantener este indicador por debajo del 5%, cuando se evalúa dentro de la data histórica.
Los valores pronosticados para los doce meses del año 2009 (serie de prueba) presentaron un MAPE 1,76%, lo cual indica que los valores estimados estuvieron cercanos a los valores reales de energía mensual, lo cual resulta satisfactorio para resaltar la calidad del pronóstico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El software estadístico R se uso satisfactoriamente para estimar demanda eléctrica para el corto plazo, considerando tanto el caso de serie estacional como el de serie no estacional. A través de R se pudo realizar el estudio de estacionariedad de las series, así como cada una de las etapas de la metodología Box-Jenkins.

Los modelos obtenidos utilizando el software R mostraron un buen desempeño en cuanto a cumplimiento de los supuestos estadísticos, y en cuanto a la exactitud de los resultados al compararlos con los datos históricos.

El modelo obtenido para la serie mensual de energía consumida presentó un MAPE menor al 5%, tanto en el período de datos históricos, como en el período de datos pronosticados. En cuanto al modelo de la serie anual energía consumida, ésta presentó un MAPE menor al 5% en el período de datos históricos, y mayor al 5% en el período de datos pronosticados.

Las características propias de R: implementación de software libre del lenguaje S, posibilidad de instalarlo en diferentes sistemas operativos, versatilidad en la obtención de los resultados en el ámbito de probabilidad y estadística, posibilidad de cargar diferentes bibliotecas o paquetes con innovaciones de contribuciones a nivel mundial, entre otras, merece

que sea evaluado en la elaboración de estudios de pronóstico en lugar de utilizar software privativo. Sin embargo, su implementación se ve limitada a que su constante evolución amerita una conexión continua a una red confiable de Internet sin restricciones para que los miembros de esta comunidad en crecimiento puedan compartir y consultar las contribuciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Decreto Presidencial 3.390. (2004, 23 de Diciembre). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.095. Diciembre 28, 2004. Recuperado: http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ve/ve052es.pdf

Everitt, B.S., Hothorn, T. A Handbook of Statistical Analyses Using R. Recuperado: https://cran.r-project.org/web/packages/HSAUR/vignettes/Ch_introduction_to_R.pdf.

Graves, S. (2014). Companion to Tsay (2005) Analysis of Financial Time Series. Versión R 0.4-5. Recuperado: https://cran.r-project.org/web/packages/FinTS/FinTS.pdf.

Hahn, H., Meyer-Nieberg, S., Pickl, S. (2009). Electric load forecasting methods: Tools for decision making. European Journal of Operational Research 199 (2009) 902–907. Recuperado en: http://fulltext.study/preview/pdf/481350.pdf.

Hong, W. (2013). Intelligent Energy Demand Forecasting. Lecture Notes in Energy 10, DOI 10.1007/978-1-4471-4968-2_2, Springer-Verlag London 2013.

Hyndman, R. (2016). Forecasting Functions for Time Series and Linear Models. Versión R 7.3. Recuperado: https://cran.r-project.org/web/packages/forecast/forecast.pdf.

Pankratz, A. (1983). Forecasting with Univariate Box-Jenkins Models. Concepts and Cases. New York. John Wiley & Sons.

P*faff, B., Zivot, E., Stigler, M. (2016).* Unit Root and Cointegration Tests for Time Series Data. Versión R 1.3-0. Recuperado: https://cran.r-project.org/web/packages/urca/urca.pdf.

R Core Team (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015.

Shumway, R., Stoffer, D. (2011). Time Series Analysis and Its Applications with R examples. New York, USA. Springer-Verlag.

Taylor, J.W., McSharry, P.E. (2008). Short-Term Load Forecasting Methods: An Evaluation Based on European Data. IEEE Transactions on Power Systems, 22, 2213-2219. Recuperado en: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.723.3313&rep=rep1&type=pdf.

Trapletti, A., Hornik, K., LeBaron, B. (2016). Time Series Analysis and Computational Finance. Versión R 0.10-35. Recuperado: ftp://cran.r-project.org/pub/R/web/packages/tseries/tseries.pdf.

CARTA AL EDITOR: IMPORTANCIA DE LAS POLÍTICAS DEL MPPEE PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DEL SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL.

Carlos Alfredo González *(1)

(1)Despacho del Viceministro para el Desarrollo del Sector y la Industria

Dirección General de Industrialización del Sector Eléctrico

Sr. Editor:

En esta 2da edición de la REVISEN, se exponen una serie de artículos que de acuerdo a sus particularidades, aportan en su medida al desarrollo de propuestas de soluciones para el sector eléctrico (SE) y su industria asociada; siempre que éstos se encuentren enmarcados en las políticas del MPPEE en materia industrial, y alineadas con las del Ejecutivo Nacional, podrán alcanzar la soberanía tecnológica y financiera que tanto demanda la patria Venezolana, considerando siempre las capacidades nacionales (talento humano, materia prima e infraestructura), la complementariedad y sinergia entre los sectores productivos asociados al principal motor del SE–La Corporación Eléctrica Nacional, pilar fundamental para la electrificación e industrialización del país.

Es de importancia mencionar que las políticas para la industrialización del SE diseñadas en el MPPEE para alcanzar la soberanía tecnológica y financiera, en consonancia con el Plan de la Patria 2013-2019 y las líneas del Ejecutivo Nacional, contemplan aspectos técnicos-administrativos y sociales; activar un proceso de industrialización, implica incrementos de puestos de trabajo, formación, capacitación profesional, y el mismo deberá alcanzar un equilibrio social, con una producción sostenible y eficiente para el bienestar nacional. Éste proceso, deberá estar encauzado para el desarrollo de tecnologías pertinentes y apropiadas, con la premisa fundamental del uso y procesamiento de materias primas nacionales; el cual conllevará a la revisión y adecuación de normativas tanto técnicas como administrativas, ajustada a las necesidades y particularidades que promuevan al desarrollo e inventiva nacional.

Por otra parte, de acuerdo al Plan de Desarrollo Industrial del Sector Eléctrico 2016-2021, las principales líneas estratégicas orientadas a fortalecer los encadenamientos productivos nacionales son las siguientes:

•Impulsar el uso y procesamiento del Aluminio como materia prima estratégica y transversal para el SE.

•Desarrollar la base normativa para promover el uso y procesamiento de materia prima e insumos de origen nacional, en todos los procesos productivos.

•Promover la fabricación de piezas y partes asociadas al encadenamiento industrial, comercializables en todas sus etapas, para el éxito de las fábricas de productos finales.

•Promover la recuperación, reciclaje y procesamiento de materias primas e insumos, para la manufactura de equipos y materiales eléctricos.

•Promover la interrelación entre la industria nacional y el sector de investigación, ciencia y tecnología para el desarrollo de soluciones tecnológicas industrializables con alto valor agregado nacional (VAN).

•Promover la compra de equipamiento y material eléctrico con alto VAN directamente a la industria nacional.

Cabe destacar, que un desarrollo industrial genera un incremento en la demanda de energía eléctrica, por tal razón, es de vital importancia la interrelación entre la planificación del servicio eléctrico y el sector industrial nacional. Un servicio eléctrico confiable, transversal para todos sectores productivos es un factor fundamental para sostener el funcionamiento de todas las cadenas productivas... y en consecuencia obtener una dinamización de la economía, reducción de la tasa de desempleo, estabilidad política, social y financiera de un país. El principal motor del SE–Corpoelec, depende tanto de un sector industrial en constante producción, y viceversa, para que el operador y prestador del servicio eléctrico pueda acceder a los productos nacionales requeridos para la operatividad y mantenibilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

Ahora bien, la puesta en marcha de las políticas del MPPEE a través de los lineamientos antes mencionados, ha dado como resultado la sustitución progresiva de importaciones, bien sea en equipos finales, como en productos intermedios... logrando así, la disminución del uso de divisas, y la soberanía tecnológica que tanto demanda la patria Venezolana.

Por último, es de importancia señalar que la implementación de instrumentos como la REVISEN... ha abierto un espacio estratégico para la sinergia entre la investigación aplicada y el SE nacional, como portal para la divulgación de artículos y otros, que aportan a soluciones tecnológicas demandas por el sector y a la industrialización del país.

¡Industrialización socialista, eficiente y soberana!.

---

* Autor por correspondencia
Corre-e: cagonzalez@mppee.gob.ve (Carlos Alfredo González)