

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

Igor José Gavidia León
Viceministro de Servicio Eléctrico

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

Antonio José Leggio Rojas
Viceministro de Finanzas, Inversiones y Alianzas Estratégicas

ISSN 2542-3118

Depósito legal: DC2016001554

Editor Jefe:

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

Asesores al Editor Jefe:

Dra. Rebeca Sánchez, Universidad Central de Venezuela.
Dr. Honmy Rosario, Universidad de Carabobo.

Comité Editorial:

Ing. Francisco Marchena, Director General de Normalización del Sector Eléctrico, MPPEE.
Ing. José Amaranto Vargas, Coordinador del área de elaboración de documentos normativos, MPPEE.
Lic. Flaminio Cordido Sánchez, Coordinador de Investigación, MPPEE.

Comité Técnico:

Ing. Ángel Daniel Fuentes Segura M. Sc., Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

Dr. José Silva, CORPOELEC.

Lic. Ruben Vásquez, CORPOELEC.

Ing. Carlos González, MPPEE.

Ing. Nestor Moya, MPPEE

Ing. Gustavo Carrasco, MPPEE.

Lic. Patricia Polachini, MPPEE.

Diagramador: Ing. Julian Lovera.

Diseño y Publicidad: Mariana Matos, Darwin Garcia, Elvis Perez y Julio Moros.

MPP^E



INDICE DE CONTENIDO

Editorial	v
NOTA TÉCNICA: OPTIMIZACIÓN DEL TALLER MECÁNICO DEL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO JOSÉ ANTONIO PÁEZ Anabel Sandoval, Freddy Brito y Sharif El Masri	7
DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN LA DEMANDA ELÉCTRICA DEL ESTADO ZULIA César A. Yajure Ramírez y Héctor A. Briceño Garcia	13
ESTADO DEL ARTE: POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN VENEZUELA: RETOS Y OPORTUNIDADES EN LA DIVERSIFICACIÓN DEL PARQUE ENERGÉTICO NACIONAL José A. Silva C, Manuel Alvarado y Vitriago Simón	23
GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS: APLICACIÓN EN EDIFICACIONES DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA NACIONAL Freddy Brito, Flaminio Cordido y José Silva	35
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE PARQUES SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA Juan José Vásquez Bompart	45
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS FORESTALES EN EL BOSQUE DE UVERITO Richard José Pérez Matos	61
ASPECTOS HUMANOS EN EL DESEMPEÑO DE PROCESOS FUNCIONALES DEL PERSONAL. CASO: DIVISIÓN DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE GENERACIÓN - CORPOELEC Cruz Viera	71

MPP^E



Editorial

La Revista de Investigación para el Sector Eléctrico Nacional (REVISEN), constituye un espacio virtual para dar a conocer las investigaciones en el área de ingeniería, ciencias aplicadas y tecnología para el desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), así como temas relacionados a las ciencias naturales, matemáticas y ciencias sociales que generen aportes al SEN. La REVISEN, es un compromiso con el acceso abierto a la información, al conocimiento existente, como también a innovaciones orientadas a soluciones que responden a diferentes fenómenos eléctricos que se presentan en el SEN. Cabe destacar que el producto final de los procesos de investigación, desarrollo e innovación que acá se publican, están a disposición de los pueblos que buscan su soberanía e independencia tecnológica, a fin de fortalecer el crecimiento del parque industrial, principalmente al venezolano.

El sector eléctrico con la REVISEN, contará con la ventaja de tener un espacio académico virtual que contribuirá en la mejora del SEN, donde los trabajadores e investigadores tendrán la posibilidad de publicar sus estudios científicos. Este primer número del volumen uno, correspondiente a diciembre de 2016 cuenta con 7 artículos. Abrimos la revista con una nota técnica de parte de la Ingeniera Anabel Sandoval quien realizó su trabajo especial de grado para la optimización de los espacios de un taller mecánico ubicado en el Complejo Hidroeléctrico José Antonio Páez y sigue ese trabajo de investigación desde la Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano, a través de la nota técnica se busca mostrar un breve diagnóstico de la situación actual y de lo que requeriría para su optimización, siguiendo metodologías referentes a factibilidad y diseño de espacios de trabajo. La revista continua con un segundo artículo que aborda, a través de modelos econométricos, el impacto de la temperatura ambiente en la demanda eléctrica del estado Zulia. Lejos de ser un estudio trivial y por el contrario con rigor científico-metodológico los investigadores Yajure y Briceño determinan el peso de las demás variables influyentes como los son la actividad económica y la tarifa real.

El Dr. José Silva, inicia con un estado del arte, de un total de cuatro artículos vinculados a las energías alternativas, tema principal que se brinda como homenaje al primer innovador Venezolano por excelencia en energías alternativas como lo fue Don Luis Zambrano. El estado del arte, antes nombrado, muestra el potencial de energías renovables en Venezuela, describiendo los retos y oportunidades en la diversificación del parque energético nacional. El cuarto artículo, fue trabajado por el Dr. Freddy Brito en conjunto con los físicos Flaminio Cordido y José Silva, éste plantea la generación distribuida de energía eléctrica utilizando paneles solares fotovoltaicos, los cuales pueden ser instalados en los techos de las edificaciones de la Administración Pública Nacional (APN), se muestran mapas nacionales con el recurso solar definido y las posibles demandas a cubrir para los estados priorizados por la investigación. El 2016 fue un año con déficit de energía debido al impacto climático del fenómeno de El Niño, esto ha hecho que investigadores se apliquen mucho más en la resolución de este problema, es por ello que el Ing. Juan José Vásquez Bompart



M. Sc. nos aporta otra investigación acerca de la energía solar, definiendo una metodología para la determinación de factibilidad para instalar parques solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. El sexto artículo de la REVISEN y el último de los artículos sobre energías alternativas, el Ingeniero Richard José Pérez Matos presenta su investigación acerca del aprovechamiento energético de residuos forestales en el bosque de Uverito, dicha investigación es pertinente y coherente con el Quinto Objetivo del Plan de la Patria, ya que presenta una solución al problema de la disposición final de los residuos que no son aprovechados y además son incinerados al aire libre por parte de la empresa Maderas del Orinoco.

El último artículo, es más enfocado a ciencias sociales pero que igualmente tiene influencia en el SEN, escrito por Cruz Viera de la División Nacional de Gestión Administrativa, Gerencia de Generación, se presentan los aspectos humanos en el desempeño de procesos funcionales del personal. Caso: división de gestión administrativa de generación.

Cerramos reiterando la invitación a publicar sus artículos de investigación aplicada en la REVISEN, un espacio creado para la participación de todas las personas con aportes al SEN. Tenemos como principio el trabajo colectivo por encima del trabajo individual, es por ello que la REVISEN nace del esfuerzo común de personal de la Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano (FIDELZ), personal del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y personal de CORPOELEC, todos apuntando a una misma meta... ¡Hacer Patria!.

Comité Editorial



NOTA TÉCNICA: OPTIMIZACIÓN DEL TALLER MECÁNICO DEL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO JOSÉ ANTONIO PÁEZ

Anabel Sandoval ⁽¹⁾, Freddy Brito ⁽²⁾ y Sharif El Masri ⁽³⁾

⁽¹⁾ Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano, Caracas-Venezuela.

⁽²⁾ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Caracas, Venezuela.

⁽³⁾ Viceministerio para el Desarrollo del Sector y la Industria Eléctrica del MPPEE, Caracas-Venezuela.

RESUMEN.-

Esta investigación detalla las propuestas para optimizar el taller Mecánico del Complejo Hidroeléctrico José Antonio Páez, el cual se dedica a dar respuesta oportuna a los requerimientos de mantenimiento menor. Así mismo, la investigación comprende la especificación de los procesos para la realización de las operaciones de manera generalizada en el taller, se definen las máquinas y herramientas seleccionadas para el cumplimiento de los procesos. Igualmente, el estudio precisa la organización conveniente para el buen funcionamiento de la unidad en estudio y el análisis de la distribución.

Palabras clave: Optimización, Taller Mecánico, mantenimiento menor.

TECHNIC NOTE: OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL WORKSHOP OF THE JOSÉ ANTONIO PÁEZ HYDROELECTRIC COMPLEX

ABSTRACT.-

This research details the proposals to optimize the Mechanical workshop of the José Antonio Páez Hydroelectric Complex, which is dedicated to providing timely response to the requirements of minor maintenance. Also, the investigation includes the specification of the processes for carrying out the operations in a generalized way in the workshop, the machines and tools selected for the fulfillment of the processes are defined. Likewise, the study specifies the organization suitable for the proper functioning of the unit under study and the analysis of the distribution.

Keywords: Optimization, Mechanical Workshop, minor maintenance.

*Autor por correspondencia

Correo-e: asandoval@mppee.gob.ve, sandoval.anabel@yahoo.es (Anabel Sandoval)

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una actividad vital en los procesos que involucran maquinarias y equipos, podría definirse como un servicio que agrupa una serie de actividades realizadas a un sistema, equipamiento o componente,

las cuales al ser ejecutadas brindan mayor confiabilidad y aseguran que el elemento continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado, por ello se puede aseverar que el mantenimiento asegura la disponibilidad de los equipos o componentes necesarios para la producción de



bienes o servicios.

Esta investigación busca garantizar la optimización de las operaciones en el Taller mecánico del Complejo Hidroeléctrico José Antonio Páez, taller que debe encargarse principalmente en el mantenimiento y recuperación de rodetes, los cuales se ven afectados por la sedimentación que se genera en el río Aracay principal afluente al embalse Santo Domingo, embalse que alimenta el complejo hidroeléctrico (MPPEE, 2015).

La optimización de estos espacios deben permitir aumentar la confiabilidad de generación de 240 MW instalados, y de esta manera apoyar al Sistema Eléctrico Nacional, logrando una disminución de horas indisponibles de las unidades de generación y por ende una ganancia en producción de energía eléctrica, según (Anuario Estadístico MPPEE, 2014). Igualmente se reducirían los inconvenientes vinculados a la vulnerabilidad técnica-operativa que surge al no disponer de las herramientas para afrontar averías de emergencia o mantenimientos programados. Tener operativo el taller mecánico equivale a economizar 1 millón USD anuales a país, que es lo que actualmente son invertidos en reparaciones de rodetes en el extranjero.

SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad realizar las labores de recuperación de rodetes, implica que las unidades generadoras dejen de funcionar durante la ejecución de los trabajos, afectando la disponibilidad de las mismas. En el caso del año 2015 se dejó de generar en promedio 19,03 GWh y para el caso del año 2016 (Enero-Junio) se dejó de generar en promedio 39,42 GWh.

Las condiciones actuales del taller mecánico son restringidas por diversos factores que van desde:

- Ausencia de conceptualización de procesos.
- Mala distribución de máquinas y herramientas.
- Falta de capacitación del personal.

Según dos primeros diagnóstico ya realizados a Planta Paez, en los años 2015 y 2016, se identificaron las actividades que se realizan en el taller y su periodicidad (donde baja es mayor a un mes, medio es mensual y alta es menor o igual a una semana.):

- Mantenimiento de las unidades de generación con periodicidad media.
- Circuito hidráulico y válvulas mariposa con periodicidad baja.
- Mantenimiento de plantas diésel emergentes con periodicidad media.
- Reparaciones a rodetes e inyectores con periodicidad alta.

METODOLOGÍA

Las técnicas implementadas en el trabajo investigación consistieron en la encuesta y la observación directa. Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información, según Arías (2006), Para su posterior análisis documental. La encuesta y observación directa que se implementó buscaba:

- Revisión detallada del área donde funciona el taller.
- Toma de fotografías de la situación actual y recolección de información relevante al objeto en estudio.
- Entrevista a los trabajadores para conocer los principales problemas que afectan al taller según sus vivencias y experiencias laborales.
- Levantamiento de procesos que se llevan a cabo en el taller.
- Estudio de las maquinarias existentes y de los perfiles de cargo de los trabajadores del

taller.

- Requerimientos y necesidades del taller.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los procesos que actualmente se llevan a cabo en el taller son puntuales, es decir, reparaciones que solo satisfacen las necesidades surgidas en el Complejo, sin ningún orden en específico ni repetición, siendo su operatividad de carácter intermitente, lo que hace imposible realizar un diagnóstico que establezca tiempos en que se ejecutan los procesos.

- **Proceso General de Diagnóstico:** para conocer el estado actual del elemento a tratar y las condiciones en la que se encuentra el equipo. Posteriormente se toma la decisión de qué tipo de operación se realizará.
- **Proceso General de Mantenimiento Predictivo/Preventivo de Elementos:** para conservar los equipos o elementos, mediante la revisión, que garantice el buen funcionamiento y fiabilidad.
- **Proceso General de Reparaciones o Mantenimiento Correctivo:** para corregir los defectos observados en los elementos y consiste en localizar averías y corregirlos.
- **Proceso de Sustitución de una Pieza:** para reemplazar algún componente dañado que el elemento presente y no pueda ser reparado.
- **Proceso de Fabricación de Piezas o Partes:** para determinar si la pieza a sustituir puede ser elaborada en el taller, por medio del uso de tornos, fresadoras y/o máquinas de soldar.

En base a los diagnósticos realizados y a el trabajo espacial de grado (Sandoval, A., 2015) se puede establecer que el objetivo del taller debe enfocarse en la coordinación y suministro del mantenimiento y reparación menor de los

equipos y sistemas mecánicos, principales y auxiliares. Así mismo, el abastecimiento suficiente de maquinarias, equipos e insumos es un aspecto vital para la optimización del taller. Se debe tomar en cuenta los dispositivos existentes que se encuentren operativos:

- Torno.
- Maquinas de soldar.
- Cortadora manual.
- Puente grúas.
- Segueta mecánica.
- Prensa y tronzadora.

Las maquinarias idóneas a adquirir para el buen funcionamiento del taller siguiendo la metodología consultada (Sagñay y Pilamunga, 2012) son:

- Torno con un volteo de hasta 1600 mm.
- Máquina de soldar en proceso TIG.
- Fresadora universal.
- Camión plataforma con brazo hidráulico.
- Esmeril de banco
- Esmeril angular
- Taladro de banco.
- Taladro de impacto.
- Vernier.
- Micrómetro.

Las maquinarias mencionadas anteriormente serán organizadas siguiendo una distribución por procesos, donde las máquinas y puestos de trabajo estén distribuidos por familias homogéneas clasificadas las maquinarias similares en una misma área de trabajo (Niebel, 2009). Se muestra la distribución actual de maquinarias dentro del taller, en la figura 1:

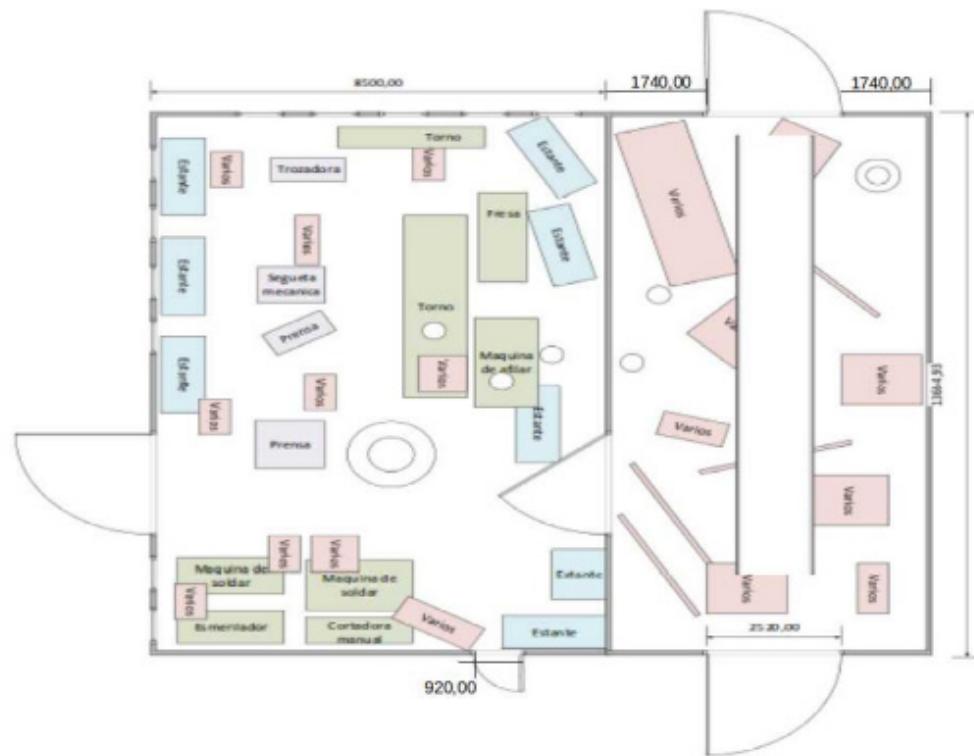


Figura 1. Distribución actual que entorpece operaciones del taller mecánico

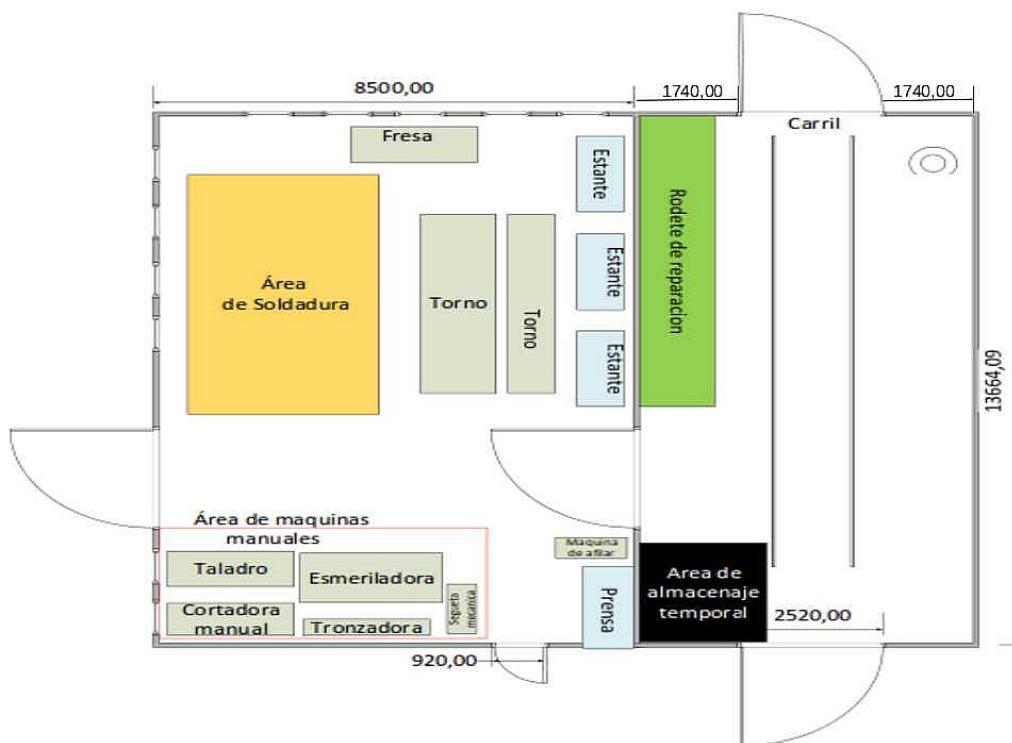


Figura 2. Distribución propuesta que optimiza las operaciones del taller mecánico

Organización del personal del taller mecánico propuesto:

- **Jefe del Taller:** debe planificar, coordinar, aprobar y supervisar los trabajos realizados dentro del taller.
- **Supervisor:** dirige, supervisa y verifica las actividades de reparación o fabricación, a su vez garantiza la disponibilidad de los equipos, entre otras responsabilidades.
- **Mecánico Industrial- Soldador- Tornero:** quienes son los encargados de realizar análisis de fallas, efectuar reparaciones de emergencia, y se especializan en el manejo de máquinas- herramientas y soldaduras; y el
- **Almacenista Interno:** quien entre otras responsabilidades debe recibir materiales, repuestos y equipos, suministrar herramientas en calidad de préstamo dentro del taller y elaborar inventarios parciales y periódicos dentro del taller.

CONCLUSIONES

La situación actual en que se encuentra la distribución de los espacios es inadecuada, existiendo elementos ajenos al área que generan dificultad para la fluidez de los operarios y elementos tratados, por lo que se propone su redistribución óptima para obtener mayor eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS, F.* (2006). El Proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. Caracas Venezuela.
- ANUARIO ESTADÍSTICO MPPEE* (2014). Recuperado de <http://mppee.gob.ve/anuario-estadistico/>
- NIEBEL, B.* (2009). Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño de trabajo. 12ma Edición. México: Alfaomega.
- SAGÑAY, B. Y PILAMUNGA, L.* (2012). Estudio De Factibilidad Para el Diseño de una Planta Industrial de Mecanizado para la Reconstrucción de Turbinas Francis y Pelton de Generación Eléctrica para La Empresa Celec E.P. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador.
- SANDOVAL, A.* (2015) Rediseño de procesos, optimización de los espacios y selección de máquinas y herramientas del taller mecánico del Complejo Hidroeléctrico José Antonio Páez. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre, Caracas.
- MPPEE* (2015). Recuperado de <http://mppee.gob.ve/proyectos-de-rehabilitacion-y-modernizacion-a-planta-paez-garantiza-30-anos-de-vida-util/>

DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN LA DEMANDA ELÉCTRICA DEL ESTADO ZULIA

César A. Yajure Ramírez *(1) y Héctor A. Briceño García (1)

(1) Dirección General de Modelaje y Estudios Eléctricos, Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Caracas, Venezuela

RESUMEN.-

En el siguiente estudio se determina el impacto de la temperatura ambiente en la demanda eléctrica del Estado Zulia, a través de un modelo econométrico que además emplea la tarifa promedio real, y el índice de valor de ventas, como variables explicativas del modelo. Los datos históricos utilizados tienen resolución mensual y corresponden al período comprendido entre los años 2010 – 2015. Como resultado principal se evidencia el impacto considerable de la temperatura ambiente en la demanda eléctrica.

Palabras clave: Demanda eléctrica, Temperatura ambiente, Modelo econométrico, Tarifas eléctricas.

DETERMINING THE IMPACT OF AMBIENT TEMPERATURE IN ZULIA STATE'S ELECTRICITY DEMAND

ABSTRACT.-

In the next study the impact of ambient temperature on the Zulia State's electrical demand is determined, through an econometric model that also uses the actual electricity tariff, and the rate of sales value (IVV), as explanatory variables in the model. The historical data used monthly resolution for the period between 2010 - 2015. The main result is evident the considerable impact of ambient temperature on the electrical demand.

Keywords: Electrical demand, Econometric model, Residential Sector, Electrical tariff.

*Autor por correspondencia

Correo-e: cyajure@mppee.gob.ve (César A. Yajure Ramírez)

INTRODUCCIÓN

La estimación de la demanda eléctrica consiste en determinar la cantidad de energía eléctrica requerida en un área determinada para un período de tiempo finito. De igual manera, se puede decir que consiste en el nivel de demanda

máxima que se espera ocurra en un momento determinado, en un área específica del país. En ambos casos, la información estimada es necesaria para efectos de realizar la planificación del sistema eléctrico nacional.

Así mismo, es importante conocer las variables



que en menor o mayor medida tienen un efecto determinado sobre la demanda eléctrica. Con el fin de establecer un conjunto de políticas adecuadas de Gestión de la Demanda Eléctrica, es deseable saber cuáles variables tienen un impacto sobre ésta, de forma que la incrementen o decrementen significativamente. Es así como se plantea realizar el estudio para determinar el impacto de la temperatura ambiente en la demanda eléctrica del Estado Zulia. Sin embargo, además de las variables climáticas hay otras variables explicativas para la demanda eléctrica, por ejemplo en (Soliman y Al-Kandar, 2010) se plantea que entre los factores que explican la demanda máxima se encuentran el producto interno bruto (PIB), la población y el costo del kilovatio-hora (kWh). De igual manera en (International Atomic Energy Agency, 1984) se plantea que se debe considerar a las variables climáticas como explicativas de la demanda eléctrica, sin obviar que hay un enlace entre la actividad económica y la demanda de electricidad. Por otra parte en (Seifi y Sepasian, 2011) se plantea que desde el punto de vista econométrico, la demanda eléctrica es una función del ingreso per cápita, la población, y los precios de la electricidad.

Por lo anterior, en el presente trabajo se propone formular y estimar un modelo econométrico que explique la variable endógena, “energía eléctrica” en Gwh, en función de las variables exógenas: temperatura ambiente, el precio promedio de la energía, y la actividad económica del estado, con una resolución mensual en el período 2010-2015. Esto permitirá determinar el impacto de la temperatura ambiente en la demanda eléctrica del estado Zulia.

Los datos históricos de energía eléctrica fueron obtenidos del Centro Nacional de Despacho (CND); los de temperatura se obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH); los precios promedios,

de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC); mientras que los datos de actividad económica se obtuvieron del Banco Central de Venezuela (BCV).

En ese sentido, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación planteada.

EL PROBLEMA

El Estado Zulia está ubicado en el occidente de Venezuela y es uno de los más importantes del país desde el punto de vista de actividad económica, cantidad de población, y consumo de energía eléctrica.

De acuerdo con el censo 2011 del Instituto Nacional de Estadística de Venezuela (INE, s.f.), en el estado hay 3.704.404 habitantes, lo que representa aproximadamente el 13,6% del total nacional. De igual manera, alrededor del 83%, se encuentra en edad productiva, es decir, tiene menos de 50 años de edad. En cuanto a la actividad económica, y de acuerdo a las estadísticas del Banco Central de Venezuela (BCV, s.f.), el valor de las ventas al mayor creció en el estado 44,1% durante el año 2011, con respecto al 2010, y 36,2% en el año 2012 con respecto al 2011.

Por otra parte, la energía eléctrica requerida creció 8,57% durante el año 2012 con respecto al 2011, y 3,45% en el año 2013 con respecto al 2012. Durante los años 2014 y 2015, los crecimientos fueron de 0,43% y 0,34%, respectivamente.

De igual manera, de acuerdo a las mediciones realizadas por (INAMEH, s.f.), el estado Zulia en el período 2011-2015, la temperatura ambiente máxima promedio presentó una tendencia ascendente, con un valor máximo registrado en el 2014, lo cual coincide con el valor máximo

de energía consumida que también ocurrió en el mismo año.

Por lo anterior, se plantea como hipótesis en la presente investigación que la temperatura ambiente es una de las variables que explican el comportamiento del consumo eléctrico en el estado Zulia.

MATERIALES Y METODOS

Estructura Económica

En esta sección, se presenta la estructura económica que se considera en la presente investigación para llevar a cabo el estudio.

Se parte del supuesto tradicional aplicado en análisis de la demanda, en el cual se asume que la cantidad consumida de un bien o servicio es una función del nivel de ingresos, el precio del bien o servicio, y los precios de otros bienes de consumo (Taylor, 1975).

Adicionalmente, y específicamente para el caso de la demanda de energía eléctrica, se considera que existen otras variables que explican parte de dicha demanda, tales como: variables climatológicas, demográficas, sociales, entre otras. En ese sentido, en (International Atomic Energy Agency, 1984) se considera que en los modelos econométricos utilizados para estimar la demanda eléctrica, se deben tomar en cuenta el nivel de ingresos de los usuarios, el precio de la electricidad, el precio de los combustibles que compitan con la energía eléctrica, variables climatológicas, así como la saturación de equipos grandes que utilizan electricidad.

De igual forma en (Taylor, 1975) se plantea que para el corto plazo, la demanda de electricidad depende del nivel de ingresos de los usuarios, el precio de la electricidad, y cualesquiera otros factores que se consideren podrían ser

relevantes, entre los que nombra: factores económicos, sociales o demográficos. En cuanto al largo plazo, (Taylor, 1975) considera que se debe tomar en cuenta la variabilidad de la existencia de los equipos que consuman electricidad, por lo que incorpora en el modelo la tasa de interés del mercado, así como la tasa de depreciación de los equipos.

En su investigación (Villalobos, 1999) plantea que los factores fundamentales que se utilizan para precisar la demanda de electricidad a corto plazo son el precio de la electricidad, el nivel de actividad económica y los factores climáticos. Ahora, debido a lo ya expuesto, en la presente investigación se consideraron como variables explicativas de la Demanda Eléctrica, a la Temperatura Ambiente, la Tarifa Real (precios promedio reales de la electricidad), y el Índice del Valor de Ventas (actividad económica). Por lo que la relación funcional es:

$$q_t = f(Temp_t, Tar_t, IVV_t, e_t) \quad (1)$$

Donde q_t es la energía requerida, $Temp_t$ es la temperatura ambiente, Tar_t es la tarifa real, IVV_t es el índice de valor de ventas y e_t son los residuos, todos para el período t .

Ahora, como se aplica la técnica de Regresión Lineal Simple, la expresión matemática sería:

$$q_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot Tar_t + \beta_2 \cdot IVV_t + \beta_3 \cdot Temp_t + e_t \quad (2)$$

Donde las β_i , $i = 0,1,2,3$, son los parámetros a estimar.

Metodología empleada

Se aplica la metodología de los modelos econométricos, la cual requiere que previamente se realice un análisis de estacionariedad de las variables para así determinar su orden

de integración, puesto que la técnica de los mínimos cuadrados ordinarios supone que la media y la varianza de las variables que están siendo probadas sean constantes en el tiempo (Glynn, Perera, y Verma, 2007). El análisis de estacionariedad se realiza a través de las pruebas de raíces unitarias, siendo el test de Dickey-Fuller Ampliado (DFA) uno de los más empleados. De acuerdo con (Gujarati y Porter, 2010), esta versión ampliada del test, considera el caso en el que los errores sí están correlacionados y los corrige agregándole tantos rezagos de la variable explicada como sean necesarios.

Al modelo planteado se le verifican los supuestos estadísticos para los residuos: homocedasticidad, normalidad e incorrelación serial. Para verificar la homocedasticidad se aplica la prueba de White con un nivel de significancia del 5%. En cuanto a la normalidad, se trabaja con el test de Jarque-Bera, cuyo indicador JB engloba tanto la simetría como el apuntamiento de la distribución de los datos. Mientras que para verificar la incorrelación serial, se utiliza la prueba de Ljung-Box con un nivel de significancia del 5%. Adicionalmente, se chequea la estabilidad del modelo a través del test de Ramsey. El incumplimiento de alguno de los supuestos debe ser razón suficiente para reformular el modelo.

Una vez verificado el cumplimiento de los supuestos estadísticos, se chequea la significancia estadística de los coeficientes de la relación funcional, así como su coherencia práctica de manera tal que una variación determinada de la variable explicativa que se esté considerando tenga el efecto adecuado en la variable dependiente, de acuerdo con la lógica económica.

En paralelo a las verificaciones mencionada anteriormente, se chequearon el estadístico de

Durbin-Watson (valor óptimo cercano a 2), y la bondad de ajuste del modelo a través del R^2 ajustado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez determinada la relación funcional entre las variables, el siguiente paso consistió en recolectar los datos necesarios para realizar el estudio, haciendo el tratamiento correspondiente a los mismos. Posteriormente, se desarrolló el análisis de estacionariedad a cada una de las series de datos involucradas, para finalmente obtener el modelo de regresión lineal por medio de la técnica de los mínimos cuadrados ordinarios.

Tratamiento de los Datos

A continuación se presenta el tratamiento que fue necesario hacerle a los datos de manera tal que cumplieran con las características requeridas, en cuanto a resolución y período de estudio.

Energía

Los datos de energía se obtuvieron del Centro Nacional de Despacho (CND) del Sector Eléctrico. Originalmente estaban disponibles con resolución diaria, y para obtener el valor de un mes específico, se sumaron todos los valores diarios correspondientes a dicho mes.

Temperatura ambiente

Los datos históricos de temperatura se tomaron de tres estaciones de medición del INAMEH, ubicadas en Maracaibo, Mene Grande y La Cañada. La información estuvo disponible con resolución diaria, teniéndose para cada día el valor mínimo, el máximo y el promedio.

Luego, se tomaron los valores máximos

de cada una de las estaciones, y para éstos, se seleccionó el valor máximo del mes determinado, creando las series mensuales para cada estación. Posteriormente, para un mes determinado, se toma la media de los tres valores correspondientes a las estaciones de medición, obteniéndose así el valor del estado para dicho mes. Con este procedimiento se obtuvo la serie mensual de temperatura del estado Zulia, en el período enero 2010 – diciembre 2015.

Tarifa real

La Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) suministró para la construcción de variables, las ventas de energía en kWh y la facturación correspondientes al estado Zulia, con resolución mensual para el período 2010 – 2015.

Luego, la tarifa promedio en Bs/kWh se obtuvo dividiendo la facturación en bolívares entre las ventas de energía en kWh. Seguidamente, para obtener la serie definitiva (tarifa promedio real en Bs/kWh), los resultados previamente obtenidos se deflactaron con el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) (BCV, s.f.).

Índice de Valor de Ventas (IVV)

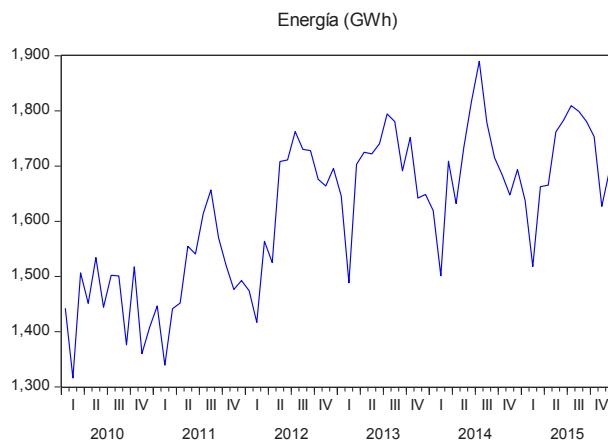
Debido a que esta serie contaba con datos hasta septiembre del 2013 (BCV, s.f.), fue necesario obtener inicialmente la serie IGAEM (Índice General de Actividad Económica Mensual) (BCV, s.f.), para luego hacer una regresión dinámica que permitió obtener la serie de datos completa del IVV. Sin embargo, la serie IGAEM sólo tenía información hasta diciembre del 2013, por lo que se tuvo que emplear una regresión dinámica, utilizando el Producto Interno Bruto real (PIBr) como variable exógena que estaba disponible en el período de estudio, enero 2010 – diciembre 2015 (BCV, s.f.).

Análisis de Estacionariedad

Se realizó el análisis de estacionariedad a las series: energía eléctrica en GWh, temperatura, tarifa real e índice de valor de ventas, sin embargo, antes de realizar este análisis se le aplicó a cada una de éstas una transformación logarítmica que permitió disminuir la variabilidad en los datos, trayendo como beneficio adicional la simplificación de la interpretación de cada uno de los coeficientes de la regresión.

Energía

La serie de datos de la variable endógena, energía en GWh, se presenta en la figura 1, de la cual se puede notar que dichos datos presentan intercepto, así como tendencia ascendente.



Luego, se aplicó el test de Dickey-Fuller Ampliado (DFA) en niveles a esta serie de datos, obteniéndose para los tres niveles de riesgo ($\alpha = 1\%, 5\%, 10\%$), que el estadístico de decisión era mayor que el valor crítico ($t_{ADF} > t_a$), por lo que se concluye que la serie en niveles tiene al menos una raíz unitaria, es decir, la serie no es estacionaria.

Seguidamente, se aplica el test DFA a esta serie de datos diferenciada, y se obtiene que para

los tres niveles de riesgo ($\alpha=1\%, 5\%, 10\%$) se cumple que $t_{ADF} < t_\alpha$. Por consiguiente, la energía eléctrica es una serie integrada de orden uno, es decir, $I(1)$.

Temperatura

La serie de datos de la temperatura se muestra en la figura 2, de la que se puede observar que la serie tiene intercepto pero sin una tendencia clara.

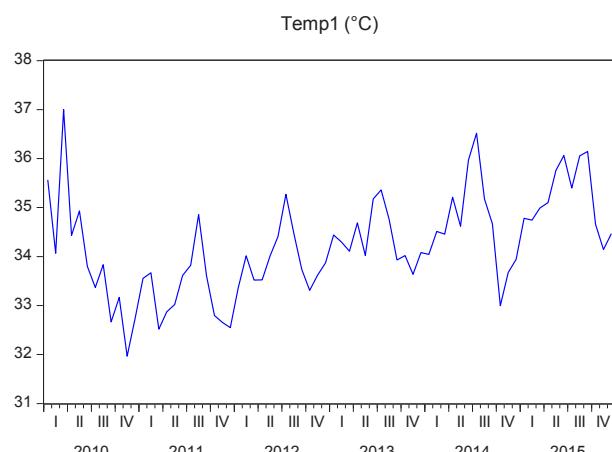


Figura 2. Serie temporal de la Temperatura Ambiente

Se aplica el test DFA y se obtiene que para los tres niveles de riesgo ($\alpha=1\%, 5\%, 10\%$), se cumple que $t_{ADF} < t_\alpha$, por lo que la temperatura ambiente es estacionaria, es decir, es una serie con orden de integración igual a cero - $I(0)$.

Tarifa Real

Al graficar la serie de datos de la tarifa real, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 3, de la que se observa que los datos presentan, tanto intercepto como tendencia, y un cambio estructural alrededor de Agosto del 2014.

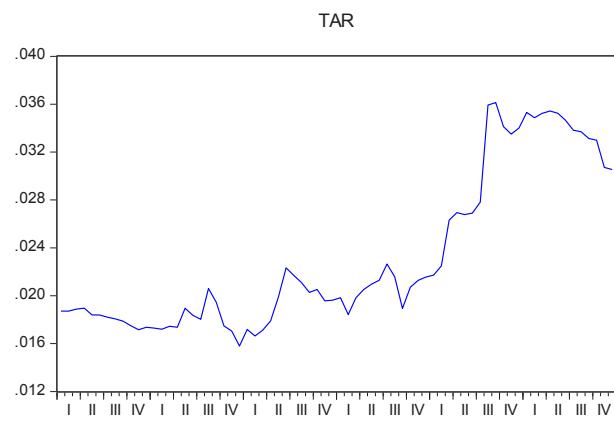


Figura 3. Serie temporal de la Tarifa Real

A esta serie se le aplicó el test DFA en nivel y se obtuvo que para los tres niveles de riesgo ($\alpha= 1\%, 5\%, 10\%$) el estadístico de decisión era mayor que el valor crítico ($t_{ADF} > t_\alpha$), concluyéndose que la serie tenía al menos una raíz unitaria. Seguidamente, se aplica de nuevo el test DFA pero esta vez a la serie diferenciada, obteniéndose que para los tres niveles de riesgo ($\alpha=1\%, 5\%, 10\%$) se cumple que $t_{ADF} < t_\alpha$, es decir, que la nueva serie es estacionaria, por lo que se concluye que la serie es $I(1)$.

Índice de Valor de Ventas

En la figura 4 se presenta el gráfico temporal de esta serie, de la que se observa que los datos presentan una tendencia ascendente, más un intercepto no nulo.

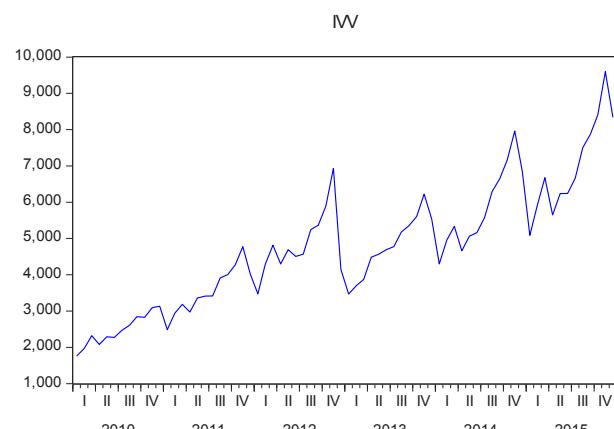


Figura 4. Serie temporal del Índice del Valor de Ventas

Luego, a esta serie en niveles se le aplicó el test DFA, obteniéndose que la serie en niveles presentaba al menos una raíz unitaria. Seguidamente, se aplicó el test DFA a la serie diferenciada, y de los resultados obtenidos se puede observar que para todos los niveles de riesgo (1%, 5% y 10%), se cumple que $t_{ADF} <$

t_α , por lo que se concluye que la nueva serie es $I(1)$.

Finalmente, en la tabla 1 se presenta un resumen de los parámetros del test DFA aplicado a las series requeridas en el modelo causal de la demanda eléctrica.

Tabla 1. Resumen del test DFA.

Hipótesis Nula	Variables				
	GWh	MW	Tarifa	IVV	Temp
I(0)	$t_{ADF} = -0,05$ (k=11) p-valor=0,9947 C, t	$t_{ADF} = -3,46$ (k=2) p-valor=0,0524 C, t	$t_{ADF} = -2,19$ (k=6) p-valor=0,4879 C, t	$t_{ADF} = -2,00$ (k=10) p-valor=0,5963 C, t	$t_{ADF} = -4,80^{**}$ (k=6) p-valor=0,0012 C, t
I(1)	$t_{ADF} = 4,77^{**}$ (k=10) p-valor=0,0000 Ninguno	$t_{ADF} = -5,05^{**}$ (k=3) p-valor=0,0000 Ninguno	$t_{ADF} = -3,35^{**}$ (k=5) p-valor=0,0011 Ninguno	$t_{ADF} = -6,26^{**}$ (k=9) p-valor=0,0000 C	

**Se rechazo la hipótesis nula.

Desarrollo del Modelo Causal

Para determinar el modelo matemático que explica el comportamiento de la demanda eléctrica en el estado Zulia, se aplicó la metodología de la Regresión Lineal Múltiple.

Partiendo de un modelo base, que incluyó tanto las variables “dummies” estacionales como los rezagos correspondientes, se llevó a cabo un proceso iterativo en el que en cada iteración se verificó, tanto la validez estadística como la validez económica del modelo propuesto.

El objetivo de este proceso iterativo fue encontrar el modelo lo más parsimonioso posible, que a su vez cumpliera con los supuestos estadísticos teóricos y tuviera la validez económica necesaria desde el punto de vista práctico.

El modelo considerado tuvo como variables explicativas: Temperatura Ambiente, Tarifa Real, e Índice de Valor de Ventas. Como variable representativa de la demanda eléctrica, la cual correspondió a la variable endógena, se consideró a la Energía Eléctrica Requerida.

Modelo Econométrico

Debido a los resultados del análisis de estacionariedad, la temperatura se incluyó en el modelo en niveles, mientras que el resto de las variables se incluyeron diferenciadas.

Luego de aplicar la metodología de regresión, la expresión matemática encontrada fue:

$$\begin{aligned} \Delta \log(GWh_t) = & C + \beta_1 \cdot \Delta \log(GWh_{t-1}) + \beta_2 \cdot \Delta \log(GWh_{t-2}) + \beta_3 \cdot \Delta \log(TAR_{t-2}) + \dots \\ & \dots \beta_4 \cdot \Delta \log(IVV_{t-1}) + \beta_5 \cdot \Delta \log(IVV_{t-5}) + \beta_6 \cdot \log(Temp_t) + \beta_7 \cdot \log(Temp_{t-1}) + \dots \\ & \dots \beta_8 \cdot D_{15M03} + \beta_9 \cdot D_{13M02} + \beta_{10} \cdot S_3 + \beta_{11} \cdot S_5 + \beta_{12} \cdot S_6 + \beta_{13} \cdot S_7 + \beta_{14} \cdot S_{11} \end{aligned} \quad (3)$$

Este modelo cumplió tanto con los supuestos estadísticos para los residuos, así como con la validez económica de los coeficientes encontrados. Se obtuvo un R^2 ajustado de 0,863, y un valor para el estadístico de Durbin-Watson de 2,17.

Validez Estadística

El modelo encontrado cumplió con los supuestos estadísticos para los residuos,

tales como: incorrelación, normalidad y homocedasticidad. Para la incorrelación se aplicó el test de Ljung-Box, para la normalidad se aplicó el test de Jarque-Bera, mientras que para la homocedasticidad se aplicó el test de White y luego el test de Ramsey. En la tabla 2 se muestra un resumen de los resultados los tests mencionados.

Tabla 2. Resultados supuestos estadísticos.

Supuesto	Prueba	Estadístico	p-valor
Incorrelación	Ljung-Box	17,654	0,935
Normalidad	Jarque-Bera	1,1630	0,559
Homocedasticidad	White	1,5912	0,117
Estabilidad	Ramsey	0,6222	0,537

Validez Económica

En la tabla 3 se presentan los coeficientes del modelo encontrado así como los niveles de significancia de cada uno de ellos.

Se puede observar, que la tarifa tiene un efecto negativo sobre la demanda eléctrica, pero tal impacto se sentiría dos períodos después de implementado algún ajuste. Un aumento de 1% en la tasa de variación de la tarifa, disminuirá la tasa de variación de la demanda eléctrica en aproximadamente 0,082%.

Tabla 3. Coeficientes del Modelo Econométrico.

Variable	Coeficiente	t-estadístico	p_valor
Dlog(GWh(-1))	-0,4007	-5,6664	0,0000
Dlog(GWh(-2))	-0,3287	-3,9473	0,0003
Dlog(TAR(-2))	-0,0817	-1,6236	0,1112
Dlog(IVV(-1))	0,1391	5,9370	0,0000
Dlog(IVV(-5))	0,1094	2,9656	0,0047
Log(TEMP)	0,7600	4,4493	0,0001
Log(TEMP(-1))	-0,6549	-4,0168	0,0002
C	-0,3935	-1,0220	0,3120
D15M03	-0,0479	-2,1371	0,0378
D13M02	0,0589	2,8880	0,0058
S3	0,0866	7,1190	0,0000
S5	0,1468	9,2300	0,0000
S6	0,0530	3,3979	0,0014
S7	0,0581	4,7248	0,0000
S11	-0,0439	-4,4632	0,0001

De igual forma, de la tabla 3 se observa que la actividad económica fue significativa en el modelo, para los rezagos 1 y 5. El efecto global fue positivo, por lo que un aumento de 1% en la tasa de variación de la actividad económica, aumentará la tasa de variación de la demanda eléctrica en aproximadamente 0,25%.

En cuanto a la temperatura, tiene significancia estadística la variable, en el período actual y con un rezago. El efecto global fue positivo, lo que indica que un aumento de 1% en la temperatura ambiente incrementará la tasa de variación de la demanda eléctrica (energía en GWh) del Estado Zulia en 0,1051%.

CONCLUSIONES

El modelo econométrico encontrado describe la demanda eléctrica en función de la actividad económica, la tarifa real y la temperatura, y además cumple con la consistencia económica de las variables y con la rigurosidad estadística requerida.

Todas las variables endógenas y exógenas tienen orden de integración uno, a excepción de la temperatura que es cero.

El coeficiente de determinación indica que el modelo recoge el 86 % de la variabilidad de los datos.

La construcción del modelo se utiliza con carácter explicativo, y además podría ser utilizado para la previsión de la demanda mensual.

En el período de estudio considerado, entre los años 2010-2015, se evidenció que la temperatura ambiente tiene un impacto significativo y

positivo en la demanda eléctrica, es decir, a medida que la temperatura aumentó en 1% la energía eléctrica consumida se incrementó en 0,1051%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BCV.* (s.f.). Información Estadística del BCV. Recuperado de Banco Central de Venezuela: <http://www.bcv.org.ve/c2/indicadores.asp>
- GLYNN, J., PERERA, N., Y VERMA, R.* (2007). Unit root test and structural breaks: a survey with applications. *Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration*, 3 (1), 63-79.
- GUJARATI, D., Y PORTER, D.* (2010). *Econometría* (4ta ed.). México: McGraw-Hill.
- INAMEH.* (s.f.). Estadísticos de Precipitación, Temperatura y Humedad. Recuperado de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: <http://www.inameh.gob.ve/web/climatologia/estadistica.php>
- INE.* (s.f.). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2011. Recuperado de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.redatam.ine.gob.ve/Censo2011/index.html>
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.* (1984). Expansion Planning for Electrical Generating Systems: A Guidebook. Vienna.
- SEIFI, H., Y SEPASIAN, M. S.* (2011). *Electric Power System Planning*. Berlin: Springer-Verlag.
- SOLIMAN, S., Y AL-KANDAR, A.* (2010). *Electrical Load Forecasting: Modeling and Model Construction*. Elsevier.
- TAYLOR, L.* (1975). The Demand for Electricity: A Survey. 6 (1), 74-110.
- VILLALOBOS, R.* (1999). Pronóstico de Potencia y Energía del Sistema Interconectado Venezolano. I Conferencia Internacional del Área Andina de IEEE. Porlamar, Venezuela.

ESTADO DEL ARTE: POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN VENEZUELA: RETOS Y OPORTUNIDADES EN LA DIVERSIFICACIÓN DEL PARQUE ENERGÉTICO NACIONAL

José A. Silva C *(1), Manuel Alvarado (1) y Vitriago Simón (1)

(1) División de Formación y Desarrollo de CORPOELEC, Carabobo, Venezuela.

RESUMEN.-

El objetivo es presentar una panorámica general de retos y oportunidades para Energías Renovables (ER's) en Venezuela a fin de ampliar la matriz energética. Se muestra una recopilación de datos recientes sobre ER's partiendo de reportes estadísticos (mundial y nacional). La situación actual del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y el fenómeno “el Niño” fueron consideradas. Entre los resultados más importantes está la implementación de sistemas de ER's, principalmente solar y eólico, gracias a la ubicación geográfica de Venezuela que brinda un potencial energético renovable para un SEN robusto y de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: Energías Renovables (ER's), Fotovoltaico, Eólico, Hidroeléctrico.

STATE OF THE ART: RENEWABLE ENERGY POTENTIAL IN VENEZUELA: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE NATIONAL ENERGY PARK DIVERSIFICATION

ABSTRACT.-

The aim is to present an overview of challenges and opportunities for Renewable Energies (ER's) in Venezuela to expand the energy matrix. A compilation of recent data based on ER's from statistical reports (global and national) is shown. The current situation of the National Electricity System (SEN) and the climatic phenomena called “El Niño” (The Child) were considered. Among the most important results is the implementation of systems of ER's, mainly solar and wind, thanks to the geographical location of Venezuela providing a renewable energy potential for a robust SEN and low environmental impact.

Keywords: renewable energy (RE's), Photovoltaic, wind, hydroelectric.

*Autor por correspondencia

Correo-e: joalsilva@corpoelec.gob.ve (José A. Silva C.)

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es presentar una panorámica general de los retos y oportunidades de ER's en Venezuela como una oportunidad para ampliar la matriz de diversificación energética en

Venezuela. En la literatura se pueden encontrar diferentes clasificaciones sobre las opciones de energías no fósil, sin embargo una clasificación completa es presentada por (Posso, 2002), definiendo el término “Energías Alternativas” (EA) (figura 1).



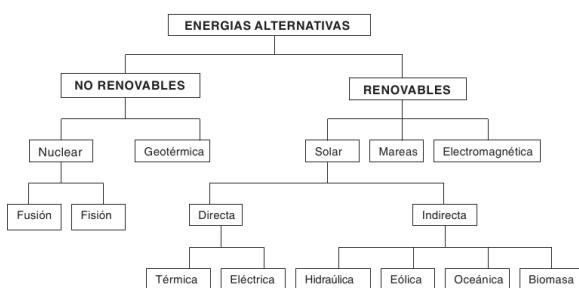


Figura 1. Clasificación de las Energías Alternativas (EA). Fuente: (Posso, 2002)

Para el 2014, las ER's constituyeron un 27,7% de la capacidad en generación eléctrica mundial, porcentaje que podría abastecer el 22,8% del consumo de electricidad mundial (REN21, 2015). Para este mismo año, las ER's generaron un 19.2% del consumo final mundial de energía y en 2015 se evidenció el crecimiento en capacidad y generación (REN21, 2016). Dentro de las aplicaciones de ER's se puede encontrar varias tecnologías para obtener calefacción, climatización solar, biocombustibles, agua caliente sanitaria (ACS) y electricidad. En el caso de la energía térmica solar se encuentra la capacidad de calentamiento solar de agua que puede ser obtenida con captadores solares.

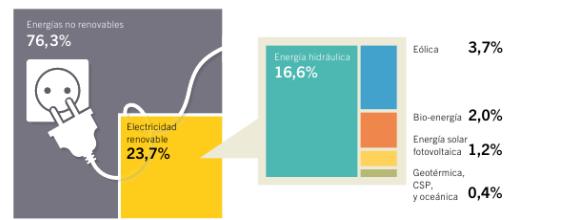


Figura 2. Estimación de la producción mundial de electricidad con ER's para el 2015.

Fuente: (REN21, 2016)

A nivel mundial se generó 86 GWth en 2004, incrementando significativamente en 340% (2014) y 10% (2015) (REN21, 2015).

Otra aplicación importante de las ER's es la producción de electricidad, la cual puede ser obtenida por diferentes tipos de ER's, predominando las de tipo hidráulica, eólica, bioenergía y solar fotovoltaica (SF). La figura 2 presenta el aporte de ER's para la generación de electricidad mundial alcanzando el 23.7% (REN21, 2016). Este aporte se debe en parte al crecimiento de políticas en ER's que se vienen generando en los últimos años (figura 3).

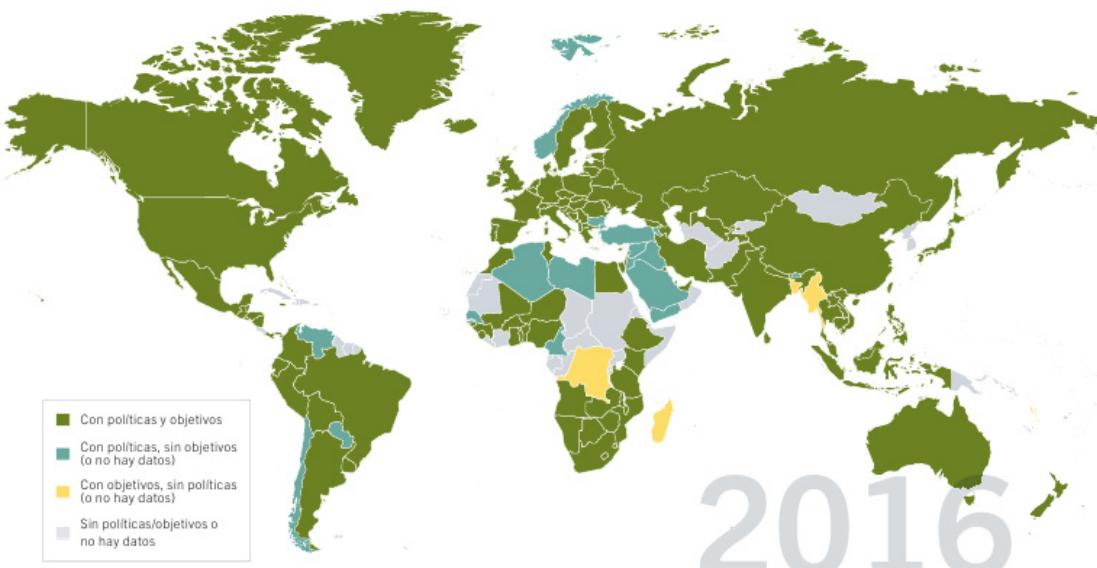


Figura 3. Mapas de países con políticas de ER a nivel mundial para el 2015. Fuente: (REN21, 2016)

Según este reporte (REN21,2016) muestra a Venezuela en la categoría de países con políticas de ER's y sin objetivos (o no hay datos). Efectivamente existen leyes vigentes que contienen elementos de ER's como la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (LOSSE) y la Ley del Uso Racional de la Energía Eléctrica (UREE). Adicionalmente, el plan de la patria 2013-2019, especifica objetivos de ER's a fin de consolidar el papel de Venezuela como potencia energética mundial, preservar la vida en el planeta y salvar a la especie humana.

Otro elemento que aportó crecimiento a las ER's es la reducción de los costos en varias tecnologías, en especial de energía eólica y

SF. Esto ha generado que en muchos países las ER's son competitivas con los costos de combustibles convencionales y en particular dentro del sector eléctrico (REN21, 2015). Con respecto a los costos de generación eléctrica de ER's se observó un descenso entre 2010 al 2014 hasta un 80% y predominando eólica, termosolar (potencia de concentración solar Contrared Solar Power, CSP en sus siglas en inglés) y SF (REVE, 2015). En este escenario algunas ER's como la hidráulica, la eólica, SF y geotérmica se sitúan e incluso por debajo de los costos de combustibles fósiles. En la figura 4 se observa el costo de la electricidad de las tecnologías renovables de servicios públicos (IRENA, 2014).

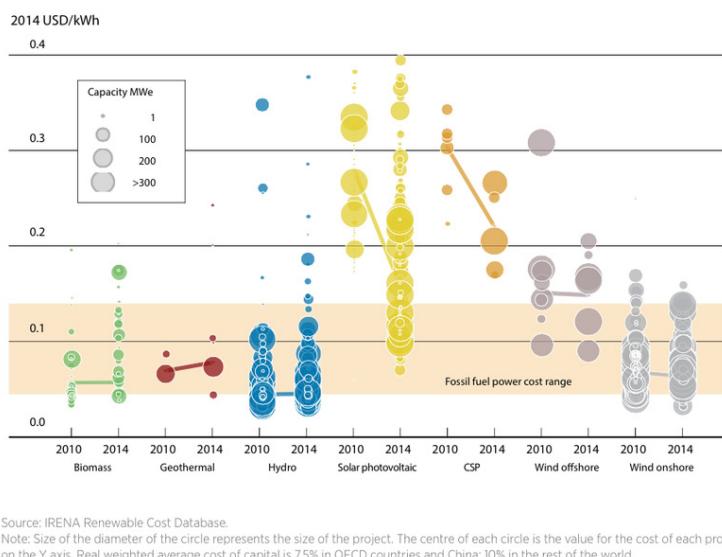


Figura 4. Costos de electricidad por ER's a nivel mundial para el 2014. Fuente: (REN21, 2016)

A nivel mundial las inversiones en electricidad y combustibles de ER's, específicamente en el sector eléctrico, han superado con creces las inversiones realizadas en las plantas de energía de los combustibles fósiles (REN21, 2016). En la tabla 1 se presenta el caso de la inversión de ER's a nivel del continente Americano (excluyendo Estados Unidos y Brasil) en la década de 2005-2015, creciendo en un factor

de 4 veces entre 2013- 2015 en comparación al 2005.

Tabla 1. Inversión mundial de en energías y combustibles renovables en América, 2005–2015. fuente (REN21, 2016)



Para el caso de Venezuela, cabe mencionar que cuenta con clima y recursos renovables que brindan altas potencialidades energéticas, dada su ubicación geográfica. Los estudios de estimación indican las ER's representan el 1,2 % (Buroz, 2013) y estas a su vez distribuidas en 7 tipos de ER's ordenadas de mayor a menor proporción: solar, hidráulica, eólica, mareomotriz, bioenergía, geotérmica

y mini-hidráulicas (figura 5). Dentro de las potencialidades energéticas para las ER's, como se muestra en la figura 6, se puede visualizar que la energía solar es la predominante, ubicándose hasta el 50,7 %. Para estas energías se incluyen las energías térmicas y eléctricas, asociadas a los sistemas de captadores solares, paneles fotovoltaicos y CSP.

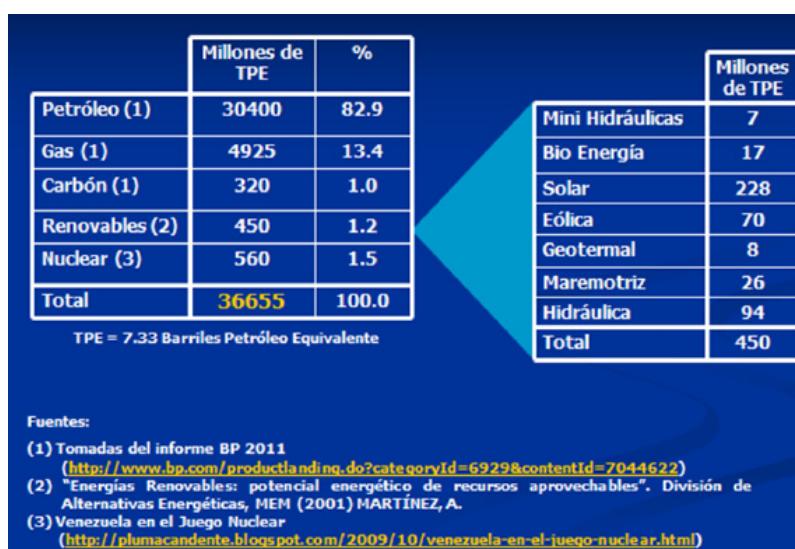


Figura 5. Potencial energético aprovechable en Venezuela, 2010. Fuente: (Buroz, 2013)

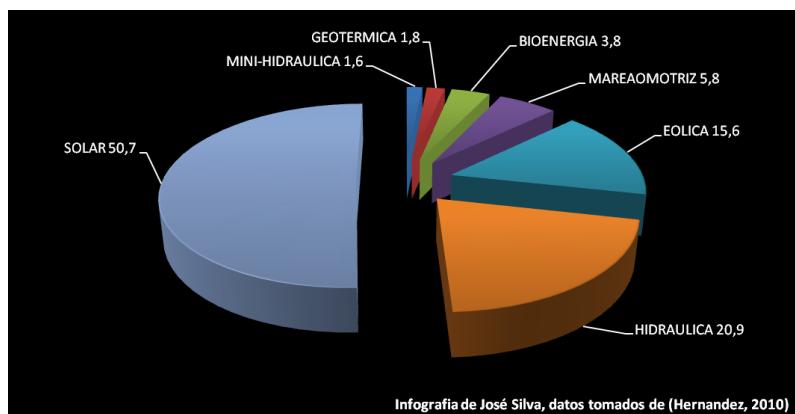


Figura 6. Porcentaje de las potencialidades energéticas de ER's de Venezuela, 2010.

Fuente: Datos tomados (Buroz, 2013)

Un estudio sobre prospectivas energéticas en Venezuela visualiza los escenarios energéticos hasta el 2040 fue realizado por (Hernández, 2014). Dentro de este trabajo se presenta el

consumo de energía del mercado interno en kBDPE (Miles de barriles diarios de petróleo equivalente). Aquí, las ER's presentan una proyección de crecimiento de 8 veces entre

2011 al 2020 y luego al 2030 con 1,2% y 8,6%, 14,3%, (tabla 2 y figura 7). y finalmente 2 veces entre 2030 al 2040 con

Tabla 2. Consumo energético del mercado interno Venezuela, prospectivas hasta el 2040. fuente (Hernández, 2014)

	2011		2020		2030		2040	
	Base	15%	Base	15%	Base	15%	Base	15%
Hidr. Líquidos								
Transporte	362	275	401	310	444	345	458	355
Industrial	117	114	137	133	152	156	172	175
Domestico	31	31	32	32	29	29	10	10
Electricos	25	25	25	25	25	25	25	25
Total	535	445	595	500	650	555	665	565
Gas								
Transporte	8	8	16	14	35	30	76	63
Industrial	282	282	330	330	374	374	421	421
Domestico	10	10	24	24	58	58	138	138
Electricos	165	70	205	95	208	81	255	114
Total	465	370	575	463	675	544	890	736
Hidroelectr.								
Electricidad	445	445	550	550	550	550	550	550
Renovables								
Electricidad	0	0	8	8	62	62	115	115
TOTAL	1445	1260	1780	1521	1990	1711	2220	1966
Electricidad								
Hidr. Liquidos	25	25	25	25	25	25	25	25
Gas	165	70	205	95	208	81	255	114
Hidroelectr.	500	500	550	550	550	550	550	550
Renovables	0	0	8	8	62	62	115	115
TOTAL	700	595	840	678	898	718	945	804
%	48.4	47.2	47.2	44.6	45.1	42.0	42.6	40.9

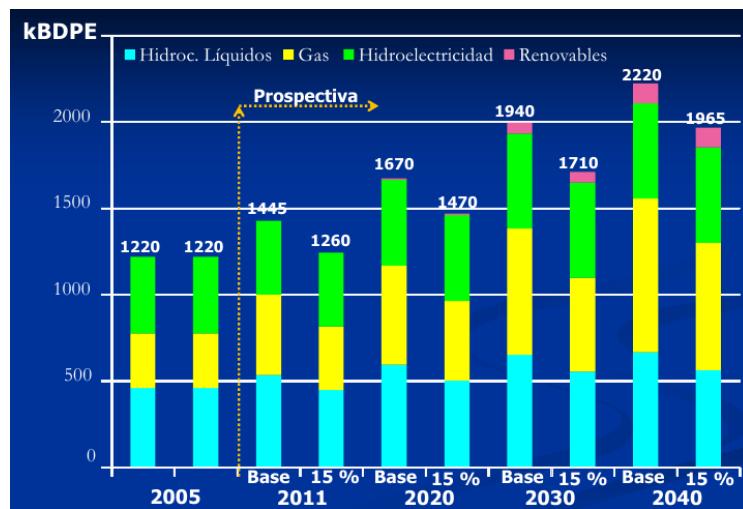


Figura 7. Prospectiva del consumo de energía del mercado interno de Venezuela.

Fuente: Datos tomados (Hernández, 2014)

A continuación se presenta una panorámica de ER's asociadas a los sistemas de energía solar, hidráulica, eólica e híbridas presentes en Venezuela. Posteriormente se analizan los

datos y resultados con el objetivo de identificar las oportunidades para ampliar el potencial energético y considerar los retos y oportunidades de la implementación de las ER's en Venezuela.

LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR ELÉCTRICO VENEZOLANO

Las cifras del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) presentan una capacidad instalada de 24000 MW y entre todas sus infraestructuras cuenta con un gran número de complejos hidroeléctricos. Los complejos son capaces de ofrecer un 62% de generación eléctrica y 35% por plantas termoeléctricas (diesel, vapor y/o gas) 35% y 3% por sistemas de generación distribuida (grupos electrógenos) (CORPOELEC, 2016).

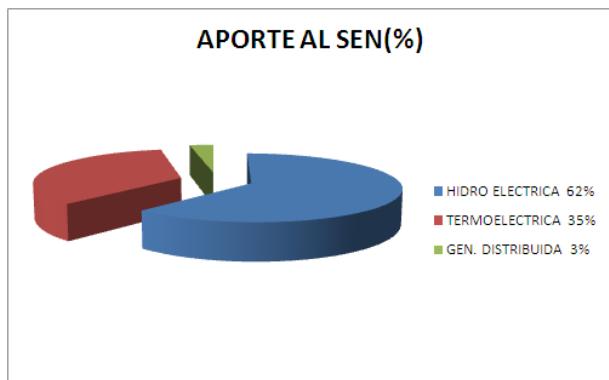


Figura 8. Cuotas de generación por tecnología en Venezuela .Infografía de Alvarado Manuel, datos tomados de : (MPPEE-CORPOELEC 2016)

De acuerdo a datos del MPPEE, el sector residencial venezolano registra el mayor consumo de energía eléctrica con 37,37%, sector comercial 13,88%, industrial 12,95%, sector público 12,89% y 22,9% en actividades agropecuarias (NOTICIAS 24, julio 16, 2014). También, presenta el consumo de energía eléctrica en el hogar: climatización 32% (aires acondicionados), refrigeración 20%, iluminación 13%, calentador de agua eléctrico 11%, cocina 7%, lavado y secado de ropa 5%, televisores 6%, planchado 2, informática 2% (computadoras), audio 1% (equipos de sonido) y otros 1%.

Un efecto a considerar dentro de la situación actual del SEN es el fenómeno climatológico

“El Niño”, el cual ha provocado escenarios de crisis energética dentro de éstos complejos hidroeléctricos, principalmente la central hidroeléctrica Simón Bolívar (Guri) llevándolo a niveles mínimos de operación. Este fenómeno viene afectando al país en los últimos 16 años, siendo entre 2015-2016 unos de los más fuertes (INAMEH, 2015), afectando los servicios de generación de energía eléctrica y al mismo tiempo el suministro de agua potable a nivel nacional. En el caso de los servicios de generación eléctricas se generó descenso significativo de electricidad por hidroeléctrica inclusive debajo del 50 % y se establecieron racionamientos eléctricos a nivel nacional..

ENERGÍAS RENOVABLES EN VENEZUELA

Solar Fotovoltaica (SF)

La generación de electricidad con energía SF representa una oportunidad para diversificar la matriz energética. Aquí se pueden encontrar políticas del (MPPEE, 2015) para desarrollar un proyecto a fin de realizar estudios de factibilidad para el aprovechamiento de la energía solar.. Un estudio realizado por (Hernández, 2014) afirma que en Venezuela la generación de electricidad por renovable predominan los sistemas eólicos, solares y mini hidráulicas. Para el año 2013 se contemplaron 100 MW eólicos. Asimismo, se proyecta 200 MW con eólica al 2020 y 100 MW por cada año a mini-hidráulicas y 100 MW para solar (eólica o híbridas PV-eólica). En 2014 se instalaron 2 sistemas fotovoltaicos para desalinización y potabilización de agua potable a comunidades aisladas, indígenas y fronterizas (MPPEE, 2015). Estas instalaciones están inscritas en un proyecto de electrificación rural (3840 Wp), con el fin de electrificar centros de interés social de éstas comunidades mejorando en sus habitantes su calidad de vida. También se desarrollaron 2 proyectos nacionales con

instalación de SF y el otro de mantenimiento. El proyecto de instalación fue dirigido a comunidades indígenas (Estados Amazonas, Delta Amacuro, Zulia y Apure) para apoyar el área médico asistencial, el régimen alimenticio y la eficiencia educativa. El proyecto de mantenimiento fue preventivo y correctivo buscando garantizar el funcionamiento.

Solar térmicos

Dentro de las políticas de (MPPEE, 2015) existe un proyecto de estudios del potencial y factibilidad dirigido al aprovechamiento de las EA en Venezuela, el cual permitió evaluar la posibilidad para el aprovechamiento energético de la energía solar-térmica. En un trabajo presentado por (Silva, 2016) afirma que en Venezuela la tecnología CSP, representa una gran oportunidad para la generación eléctrica, de acuerdo al mapa solar (figura 9). Venezuela

posee una radiación solar promedio de 5.4 kWh/m²d y una franja de radiación solar de 6,7 kWh/m² que representa el 20% del territorio nacional (TN), según el estudio soportado por (Posso et al, 2014). En esta dirección, las regiones de Puerto Cabello (estado Carabobo) y Chichiriviche (estado Falcón) presentan un potencial entre (6.3-7.3) kWh/m²d. Estas radiaciones se pueden categorizar de acuerdo a una clasificación internacional presentada en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación internacional de radiación solar (Posso et al, 2014)

Radiación Solar (Kwh/m ² dia)	Clasificación
<4.7	Marginal
4.7 - 4.9	Regular
4.9 - 5.2	Bueno
5.1 - 5.5	Excelente
5.5 - 6.1	Premium
>6.1	Supremo

FUENTE: La Cruz, 2005

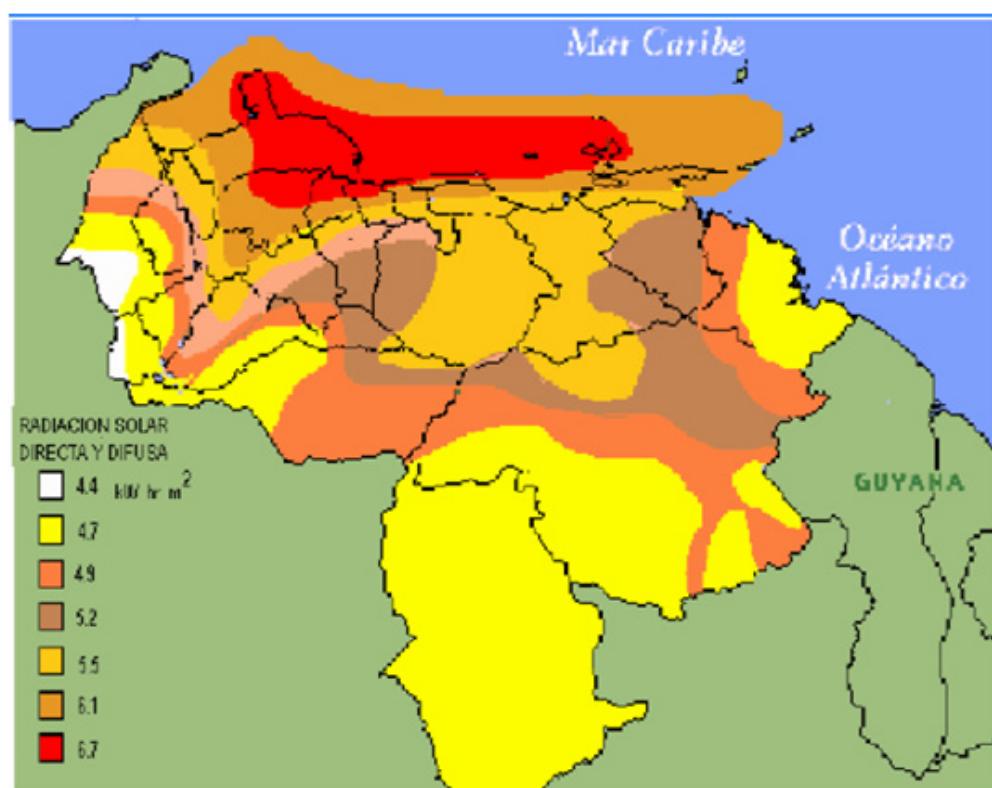


Figura 9. Mapa de radiación solar de Venezuela, fuente: Fundelec, 2011

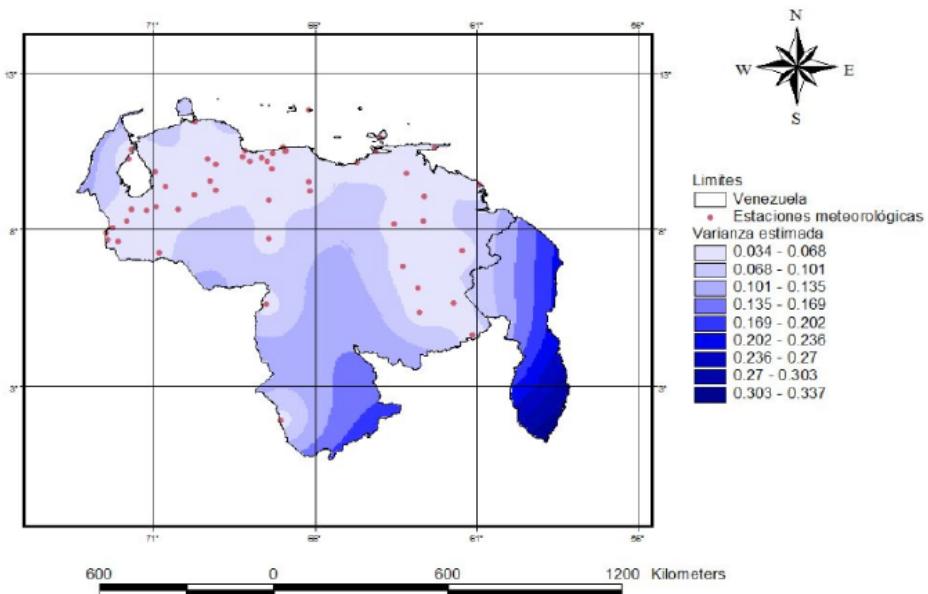


Figura 10. Varianzas estimadas de la radiación solar en Venezuela. fuente: (Posso et al, 2014)

En la figura 10 se muestra un estudio sobre la radiación solar en Venezuela realizado por (Posso et al, 2014) donde aplicó un método estadístico (Kriging) para calcular las varianzas de la radiación usando los datos de 35 estaciones meteorológicas.

En este mismo estudio (Posso et al, 2014) calcula la variación espacial de la radiación solar en Venezuela, oscilando entre (2,73-7,39 kWh/m²d) tal como se muestra en la figura 11.

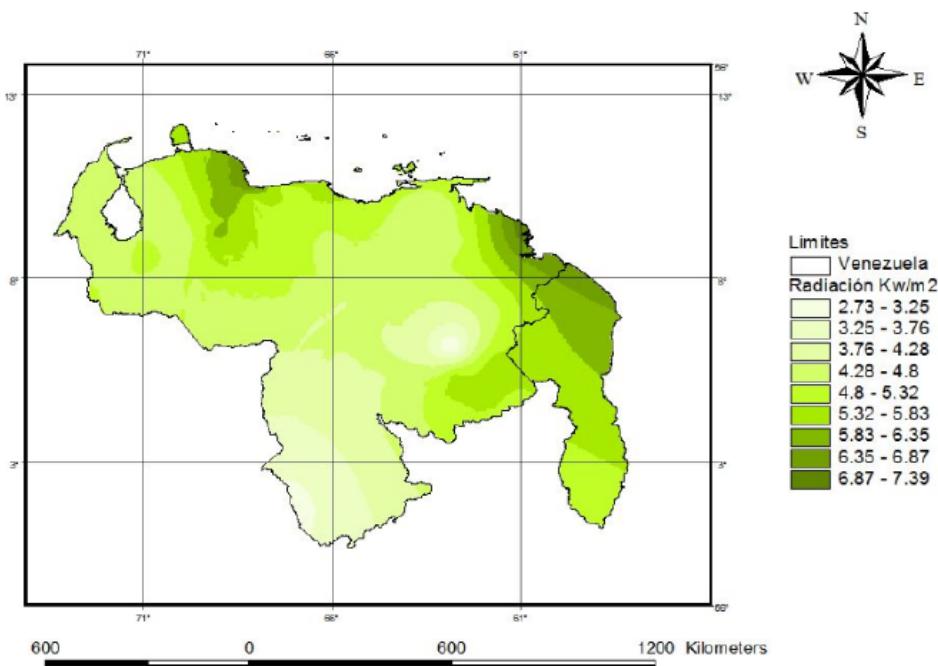


Figura 11. Variabilidad espacial de la radiación solar en Venezuela. fuente: (Posso et al, 2014)

Hidroeléctricos

La Agencia IRENA (2016), presentó un reporte estadístico mundial de ER's. En el caso de Venezuela se pudieron totalizar la capacidad (MG) y la producción (GW). La capacidad instalada en Venezuela para la generación eléctrica por ER's asciende a 15200 MW (2015), aquí se incluye la energía hidráulica que ocupa la mayor generación (figura 12).

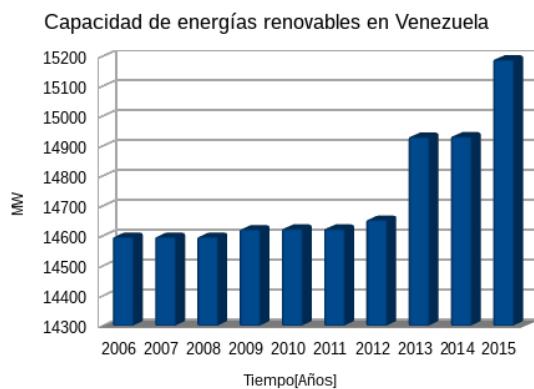


Figura 12. Capacidad de ER's en Venezuela. Infografía de José Silva. Datos tomados de (IRENA, 2016)

Para el 2014, MPPEE y CORPOELEC realizó modernizaciones a los diferentes complejos hidroeléctricos del país, aumentando de esta manera la capacidad de generación eléctrica hasta un 65% (MPPEE, 2015) beneficiando a 30.206.307 habitantes (Estados Amazonas, Anzoátegui, Apure, Aragua, Barinas, Bolívar, Carabobo, Cojedes, Delta Amacuro, Distrito capital, Falcón, Guárico, Lara, Mérida, Miranda, Monagas, Nueva Esparta, Portuguesa, Sucre, Táchira, Trujillo, Vargas, Yaracuy y Zulia).

Entre 2014-2019 se presentan planes de acción a ser ejecutados por CORPOELEC, con objetivos de culminar la puesta en servicio de Tocoma, modernización y 765 kV (Complejo hidroeléctrico Uribante Caparo). Asimismo, se realizó el proyecto para el estudio de factibilidad de la construcción de centrales

mini-hidroeléctricas (Mérida) construyéndose 7 estaciones hidrométricas (Inversión 7 MM Bs.F), que logró realizar mediciones de caudal y evaluación del potencial. Este proyecto benefició 2.380 habitantes y se pretende seguir realizando estos estudios en las zonas donde pueda existir este potencial energético.

Eólicos

En Venezuela esta energía representa el tercer lugar en el potencial energético renovable y segundo en la generación de electricidad. En este sentido, se desarrolla un proyecto por (MPPEE, 2015) a fin de realizar estudios de factibilidad de este tipo de energía en el país. Este estudio, apoya los esfuerzos acometidos por CORPOELEC-PDVSA, tal como lo reseña (Alvarado, 2015), con la construcción y puesta en marcha de Parques Eólicos en la zona de Paraguaná con 100 MW y CORPOELEC (La Guajira) con 50,4 MW; proyectos que parcial o totalmente aportan potencia al SEN a partir del 2012 y 2014 respectivamente.

Híbridos

Para el 2014 se instalaron 7 sistemas híbridos de generación alternativa (eólicos-fotovoltaicos), de los cuales 4 dirigidos a comunidades aisladas, indígenas y fronterizas de Venezuela (MPPEE, 2015), beneficiando 824 habitantes (Estados Falcón, Mérida, Sucre y el estado Zulia (inversión 19,57 MM Bs.F). Los otros 3 sistemas híbridos fueron instalados en las comunidades Congrio y José María (Estado Sucre). En el 2015, se instalaron 4 sistemas híbridos de ER's, suministrando servicio eléctrico y agua potable a comunidades aisladas, indígenas y fronterizas, beneficiando a 422 habitantes de comunidades (Bolívar y Monagas, inversión de 4,6 MM Bs.F). También, se realizaron 723 mantenimientos preventivos y correctivos a sistemas híbridos y SF a nivel nacional (MPPEE, 2016).

Finalmente, el MPPEE (2016) presenta sus objetivos estratégicos para impulsar la ejecución de políticas públicas relacionadas con la generación y gestión de la energía eléctrica y se tiene que las ER's está orientada principalmente en promover el uso de otras fuentes de EA, la nueva cultura para el uso de la energía eléctrica y el uso racional y eficiente de la energía, diversificar la matriz energética nacional incorporando EA con prioridad de ER's, aplicar medidas de ahorro energético a nivel nacional, aprovechar los acuerdos con Brasil, Argentina, China, Portugal, Vietnam, Cuba, entre otros.

ANÁLISIS DE DATOS

Los costos de generación eléctrica a nivel mundial han descendido significativamente con énfasis en SF, eólicas e hidráulicas incluso teniendo valores por debajo de los costos de combustibles fósiles. En este escenario existe también un descenso apreciable de los costos de CSP que entrará en la competencia posteriormente.

En el estudio del potencial energético renovable en Venezuela predomina en orden decreciente de la siguiente manera: la energía solar, hidráulica y eólica. Considerando este orden, no es precisamente la energía solar la que aporta mayor producción de electricidad sino la hidráulica y prácticamente inexistente en el resto de ER's. En este orden de ideas, se aprecia baja aplicabilidad de sistemas térmicos solares para la producción de climatización solar, refrigeración u otras aplicaciones que pueden sustituir a la climatización por aires acondicionados, refrigeración y calentadores eléctricos que actualmente representan consumos de electricidad sustraídos del SEN de 12,8%, 8% y 4,4% respectivamente, sumando 1/4 del consumo de electricidad total..

La mayor proporción de generación eléctrica por ER's en Venezuela es dado por energía

hidráulica, siendo afectada fuertemente por fenómenos como "El Niño", inclusive llevando a los principales complejos hidroeléctricos a niveles de mínima operación. Respecto a los resultados obtenidos en la instalación de sistema SF (2014-2015) se aprecia su aplicación en regiones aisladas, fronterizas e indígenas en una proporción poco significativa, al igual que no existe fabricación de estos tipos de sistemas. Aunque estos resultados han impactado en los habitantes de esas regiones a fin de satisfacer necesidades de agua potable, alimentos y servicios médicos, el potencial energético de estas zonas estaría ubicado en un nivel regular a bueno (figura 9) que en comparaciones a otras regiones (premium a supremo) ubicadas en la región insular y costera del país.

CONCLUSIONES

El descenso de los costos de generación eléctrica a nivel mundial brinda gran oportunidad en Venezuela de realizar inversiones e implementaciones para utilizar las energías de tipo fotovoltaica, mini-hidráulica eólica y CSP.

La energía solar en Venezuela tiene el mayor peso en potencial energético renovable siendo factible su implementación considerando que Venezuela presenta zonas de mayor radiación solar (nivel premium a supremo) situado hacia la parte costera e insular (20% del TN). Por lo cual, la energía que debería aportar a la producción de energía eléctrica al SEN como primera prioridad es la energía solar, pudiéndose implementar sistemas térmicos y SF. Ahora, el reto de ésta implementación y aplicaciones radica en desarrollar la investigación y desarrollo tecnológico nacional. Adicionalmente, las tecnologías de sistemas térmicos solares representan gran oportunidad de sustituir otros sistemas convencionales con aplicación de climatización solar, refrigeración y ACS disminuyendo hasta un 25% del

suministro de SEN.

Una vez que se logre incluir otros tipos de ER's integrados al SEN como las energía SF y CSP, se logrará evitar estados de crisis energéticas por efectos de fenómenos climáticos. Los sistemas SF presentan también una gran posibilidad para diversificar la matriz energética con implementaciones en zonas donde exista la necesidad y el potencial energético desde niveles excelente a supremo de acuerdo al mapa solar del país.

Finalmente es fundamental establecer metas y objetivos para la implementación de leyes específicas de ER's en Venezuela que consideren el consumo del mercado interno de energía y los horizontes 2020, 2030 y 2040 para obtener un SEN robusto y de bajo impacto ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, M. (2015). Energías Alternativas en Venezuela: Perspectivas presentes y tendencias futuras. IX Jornadas Nacionales y I Internacionales de Investigación del IUT VALENCIA. Valencia, Venezuela.
- BUROZ, E. (2013). Propuestas sobre desarrollo energético de Venezuela, El Escenario Mundial, Nuestra Riqueza Energética, Energía Fósil. Academia nacional de la ingeniería y el hábitat. Recuperado de http://prof.usb.ve/jaller/PPI_papers/LIBRO_INTERACADEMICO_2013-COMPLETO4.pdf
- CORPOELEC. (2016). Procesos medulares, generación. Recuperado de <http://www.corpoelec.gob.ve/procesos-medulares>.
- HERNANDEZ, H. (2014). Venezuela: Prospectivas Energéticas (2011-2040). Recuperado de http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/DOCS_ENERGIA/Prospectivas_Energeticas_%282011-2040%29.pdf
- INAMEH. (2015). Fenómeno “El Niño” durará hasta finales del primer semestre 2016. Recuperado de <http://www.inameh.gob.ve/web/prensa/noticias>.
- php?n=VmtjMWQxVnNRbEpRVkRBOSTQ
- IRENA. (2014). Renewable power generation cost in 2014. Recuperado de https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf
- IRENA. (2015). Estadísticas de energías renovables 2016. Recuperado de http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2016.pdf
- MPPEE. (2015). Memorias 2014. Recuperado de http://mppee.gob.ve/download/memoria_y_cuenta/memoria_y_cuenta_2014/1%20-%20Tomo%20I%20Memoria%202014.pdf
- MPPEE. (2016). Memorias 2015. Recuperado de http://mppee.gob.ve/download/memoria_y_cuenta/memoria_y_cuenta_2014/1%20-%20Tomo%20I%20Memoria%202014.pdf
- NOTICIAS 24 VENEZUELA. (2014). Subsidio eléctrico en Venezuela: ¿Irracionalmente barato o económicamente justificable?. Recuperado de <http://www.noticias24.com/fotos/noticia/17181/subsidio-electrico-en-venezuela-irracionalmente-barato-o-economicamente-justificable/>
- PASSO, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. parte dos: sistema energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, 7(1-2), p.54-73.
- PASSO F., GONZÁLEZ J., GUERRA F. & GÓMEZ H. (2014). Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica, Revista Geográfica Venezolana, 55, 1, 27-43.
- RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, REN21. (2015). Reporte de la situación mundial de las energías renovables 2015. Recuperado de http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf
- RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, REN21. (2015). Reporte de la situación mundial de las energías renovables 2016. Recuperado de http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf

REVE. (2015). Costes de energías renovables, eólica y energía solar, caen y compiten con gas natural, petróleo, carbón y energía nuclear. Recuperado de <http://www.evwind.com/2015/02/06/energias-renovables-eolica-y-energia-solar-reducen-hasta-un-80-sus-costes-desde-2010/>

SILVA, J. (2016). Introducción a los sistemas térmicos solares: una oportunidad en Venezuela. Encuentro de experiencias y saberes de ahorro energético y energías renovables. MPPEE, Corpoelec, Valencia, Venezuela.

GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS: APLICACIÓN EN EDIFICACIONES DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA NACIONAL

Freddy Brito ⁽¹⁾, Flaminio Cordido ^{*(2)} y José Silva ⁽³⁾

⁽¹⁾ Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano, Caracas, Venezuela.

⁽²⁾ Dirección General de Desarrollo e Investigación del Sector Eléctrico, MPPEE, Caracas, Venezuela

⁽³⁾ Gerencia de Planificación de Expansión del Sistema Eléctrico, CORPOELEC, Caracas, Venezuela

RESUMEN.-

La investigación aborda la tecnología de paneles fotovoltaicos a instalar en las edificaciones de la administración pública nacional, adicionalmente se evidencia el ahorro en recursos hídricos para la generación hidroeléctrica en el bajo Caroní, en tiempos de impacto climático recurrentes como el fenómeno de El Niño. La investigación se lleva a cabo para tres estados del país, priorizados por tener radiación solar por encima de 5,5 kWh/m²-día. Se determinan las características de las edificaciones para la instalación de los paneles fotovoltaicos, además se estima la operación de los paneles y su aporte de energía al Sistema Eléctrico Nacional.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, fenómeno de El Niño, Sistema Eléctrico Nacional.

DISTRIBUTED GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY USING SOLAR PHOTOVOLTAIC PANELS: APPLICATION IN BUILDINGS OF THE NATIONAL PUBLIC ADMINISTRATION

ABSTRACT.-

The research addresses the technology of photovoltaic panels to install in the buildings of the national public administration, Additionally, the saving in water resources for the hydroelectric generation in the low Caroní is evidenced, in times of climatic impact recurrent as the El Niño phenomenon. The research is carried out for three states of the country, prioritized to have solar radiation above 5,5 kWh /m²-day. The characteristics of the buildings for the installation of the photovoltaic panels are determined, in addition the operation of the panels and their contribution of energy to the National Electricity Grid is estimated.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, El Niño phenomenon, National Electricity Grid.

*Autor por correspondencia

Correo-e: f.cordido@gmail.com (Flaminio Cordido)

INTRODUCCIÓN

Un panel o módulo fotovoltaico está constituido por un conjunto de celdas fotovoltaicas o

células fotoeléctricas que son capaces de transformar la energía lumínica del sol (fotones) transformándola en energía eléctrica (solar fotovoltaica) a través del efecto fotovoltaico



(Tiwari, Mishra y Solanki, 2011). Este efecto fue desarrollado desde 1905 por el trabajo presentado por Einstein (1905). Diferentes módulos fotovoltaicos han demostrado mejoras y transformaciones sustanciales en los últimos 40 años y se espera que experimenten un desarrollo en próximas décadas (Photovoltaic technology platform, 2011).

El informe de la Agencia Internacional de Energía proyecta que la participación de la energía solar fotovoltaica en la electricidad mundial llegará al 16% para el 2050, lo que representa un aumento significativo con respecto al objetivo que se tenía en el 2010 del 11% (IEA, 2014). En este mismo informe se menciona que la industria para paneles fotovoltaicos ha demostrado que se pueden reducir los costos mientras se incrementa la eficiencia y durabilidad de estos sistemas (IEA, 2014). En este mismo sentido, un estudio sobre el precio de las celdas u obleas solares fotovoltaicas muestran que han descendido entre un 65% y un 75% entre 2009 y 2013, y desde 2008 el precio de la energía lo ha hecho un 80%, y con una tendencia marcada en bajar hasta el 2020 (IRENA, 2014).

Existen diferentes experiencias importantes en instalación de paneles fotovoltaicos en el mundo. El Ministerio de Energía de Chile (2015) presentó una experiencia respecto a la generación distribuida con energía renovable, llamada “Programa de Techos Solares Públicos (PTSP)”. El programa se orienta a instalar sistemas fotovoltaicos (SFV) en los techos de los edificios públicos, con el objeto de contribuir al autoconsumo. Esta iniciativa en Chile tendrá una duración de 4 años a partir del 2015 y cuenta con un presupuesto de USD 13 millones.

Otra experiencia a señalar son los proyectos realizados en las dos islas del Caribe de Antigua y Barbuda, donde se exploró el desarrollo de energías alternativas como SFV, para lograr

independencia energética y cumplir con su objetivo de mitigar emisiones de gases de efecto invernadero (Roca, 2016). Se instaló una planta de 3 MWp, ubicada en el Aeropuerto Internacional de Antigua y ha comenzado la construcción de otra planta solar de 4 MWp en la zona de Bethesda. Estas islas tienen un proyecto para suministrar 10 MWp de instalaciones solares y otro proyecto para equipar a más de 50 escuelas y edificios públicos con sistemas fotovoltaicos en sus azoteas.

Cuba viene desarrollando políticas en energías alternativas y el uso eficiente de energía y desde el 2014 viene construyendo parques solares con el objetivo de instalar 700 MW de nueva potencia eléctrica para 2030 (UNEF, 2016). Para el 2016, Cuba tiene 22 MW de potencia fotovoltaica instalada, representando 4% del total de potencia generada (AmericaEconomica, 2016).

La Empresa Nacional de Electricidad (Ende) de Bolivia, presenta experiencias fotovoltaicas, estipulando construir una planta de 60 MW (Ende, 2016). El plazo de desarrollo del proyecto solar se estima en 1 año. La planta se construirá en un terreno de 180 hectáreas utilizando 200.000 módulos fotovoltaicos con una inversión de 95 millones de USD.

En Venezuela se cuenta con personal que tiene experiencia en la instalación de paneles fotovoltaicos en zonas aisladas, fronterizas e indígenas (MPPEE, 2015)(MPPEE, 2016), para brindar un servicio eléctrico a zonas donde no se plantea expandir las líneas de transmisión del SEN. Sin embargo esta basta experiencia se debe considerar para realizar futuros avances con dicha tecnología.

Las edificaciones de la administración pública nacional son un objetivo para instalar sistemas fotovoltaicos, ya que el servicio eléctrico en

éstas fueron las más afectadas ante el impacto climático de El Niño 2016, reduciendo sus horas de producción hasta tres días hábiles a la semana.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

En Venezuela, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se ha visto vulnerado por los efectos del fenómeno de El Niño, debido a una matriz energética poco diversificada y sustentada en su mayoría por la generación eléctrica de energía hidroeléctrica. CORPOELEC (2016) informa que el 62% de generación eléctrica proviene de este tipo de energía. Esto ha traído como consecuencia una alta dependencia a mantener óptimo el nivel del agua en los embalses de las principales complejos hidroeléctricas. Para el caso del Complejo Hidroeléctrico Simón Bolívar (Guri), la cota mínima ha logrado descender a niveles mínimos de operación, debido a un déficit en el caudal de aporte al embalse desde el año 2014 y principalmente entre enero y abril de 2016. La solución más expedita ha sido la de incrementar la quema de hidrocarburos líquidos o gaseosos para generación termoeléctrica, sin embargo una solución consona con el 5to objetivo histórico del Plan de la Patria, se hace necesario en tiempos de impactos climáticos severos.

METODOLOGÍA

POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR EN VENEZUELA

Se elabora un mapa con la radiación solar diaria de plano inclinado, utilizando la data georeferenciada dispuesta en la página de The Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA, 2016), resultando algunas zonas donde podríamos aprovechar en gran medida el potencial solar mediante paneles solares con inclinación.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está constituida por los estados Falcón, Sucre y Vargas, específicamente sus capitales o ciudades más pobladas.

- Estado Falcón: Su capital es Coro, coordenadas 11°24'00"N 69°41'00"O, está al sur del istmo de los médanos de Coro, pertenece al municipio Miranda, tiene una superficie total de 1805 km² con una población aproximada de 284.266 habitantes. La ciudad de punto fijo está en las coordenadas 11°43'00"N 70°11'00"O, está al norte de la capital, pertenece al municipio Carirubana, tiene una superficie 684 km². Tiene una población aproximada de 277.017 habitantes.
- Estado Vargas: Su capital La Guaira, coordenadas 10°36'00"N 66°55'59"O, está al norte de la región capital de Venezuela, pertenece al municipio Vargas, tiene una superficie aproximada de 1500 km² con una población aproximada de 60.792 habitantes.
- Estado Sucre: Su ciudad capital Cumaná, coordenadas 10°27'00"N 64°10'00"O, está en la región Nor-Oriental del país, pertenece al municipio Sucre, tiene una superficie total de 598 km² con una población de 374.706 habitantes.

Cada edificación debe ser caracterizado bajo la siguiente metodología:

- Descripción de la unidad en estudio (UE): se refiere al detalle de la ubicación, latitud y longitud, ángulo de azimut, servicio que presta, entre otros aspectos considerados necesarios.
- Generación en la zona y sistema de distribución: debe indicarse el circuito al cual se encuentra interconectado la UE

y el sistema de distribución asociado, especificando los niveles de tensión.

- Mediciones: describe el equipo y la periodicidad con el que la UE cuenta para llevar el histórico de energía y demanda, principales o secundarios desagregando por tipo de consumo de energía (Iluminación interna, climatización, entre otros.)
- Infraestructura: detalla el objetivo de la infraestructura donde funciona la UE, describiendo adecuaciones realizadas con el apoyo de registros fotográficos del área. En esta sección también se debe detallar el área en m^2 del techo donde se instalará el SFV.

GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Se determina el rango de radiación solar en estas localidades, según tabla 1:

Tabla 1. Rango de radiación solar (La Cruz, 2005).

RADIACIÓN SOLAR (kWh/m ² -día)	CLASIFICACIÓN
<4,7	MARGINAL
4,7 a 4,9	REGULAR
4,9 a 5,2	BUENO
5,1 a 5,5	EXCELENTE
5,5 a 6,1	PREMIUM
>6,1	SUPREMO

Tomando en cuenta la eficiencia, el área y un coeficiente de pérdida podríamos dar una estimación de cuánta energía se podría aprovechar en estas ciudades, siguiendo la ecuación (Naik, Kalkar, Kulkarni y Ukidve, 2015):

$$E = A \cdot \eta \cdot H_s \cdot C_0 \quad (1)$$

Donde, E es la energía a obtener mediante el panel solar, A es el área que ocupa el panel, η es la eficiencia del panel solar, H_s es la energía

por metro cuadrado proveniente del sol, y C_0 viene siendo un coeficiente de pérdidas (polvo, inclinación errónea, etc.) por lo general va de 0,5 a 0,9. Se hacen una serie de consideraciones para estimar la energía aprovechable por los paneles solar en dichas regiones, las cuales se comentan a continuación:

- El área la definimos como toda el área a ocupar por los paneles solares.
- La eficiencia del panel solar es de 15%.
- Se estima la mínima clasificación de radiación para la región (kWh/m^2) proveniente del sol en un día y se divide entre 8 horas de sol, es decir, para Vargas, Falcón y Sucre ($0,7875 kWh/m^2$).
- Se toma un coeficiente de pérdidas de 0,7.

DEMANDA DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

Se solicita el dato preciso a la administración pública del consumo de energía por edificaciones de la administración pública. Estos datos los suministra CORPOELEC a través de su Gerencia Nacional Gestión de Planificación de Distribución y Comercialización.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV Y DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS

Se refiere a precisar la cantidad de Paneles FV que deben instalarse para alcanzar la capacidad instalada desarrollada en el estudio de la demanda utilizando la ecuación (1).

ESTIMACIÓN PARA EL ACOPLAMIENTO DE LA POTENCIA GENERADA POR LOS PANELES FV Y EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO SIMÓN BOLÍVAR.

Conocido el volumen del embalse, podemos determinar, mediante un balance hídrico básico, un volumen estimado siguiente (3):

$$V_{(t+1)} = V_t + V_e ; \quad (2)$$

$$V_e = \frac{\sum_{i=1}^{24} Qe_i - \sum_{j=1}^{24} Qs_j}{86400 s} \quad (3)$$

Donde V_t es el volumen conocido en (m^3) del embalse en un tiempo (día) t , Qe_i es el caudal de entrada promedio en (m^3/s) que ocurre en una hora y Qs_j es el caudal de salida (turbinado) promedio en (m^3/s), se divide entre 86400 segundos para conocer el volumen por cada día,

se hace una sumatoria de: volumen conocido V_t y volumen estimado V_e pasada 24 horas, según (2), para hallar el volumen resultante $V_{(t+1)}$ pasado un día (24 horas).

Este volumen resultante se relaciona con la cota (nivel de metros sobre el nivel del mar) utilizando la curva que se muestra en la gráfica que se muestra en la figura 1:

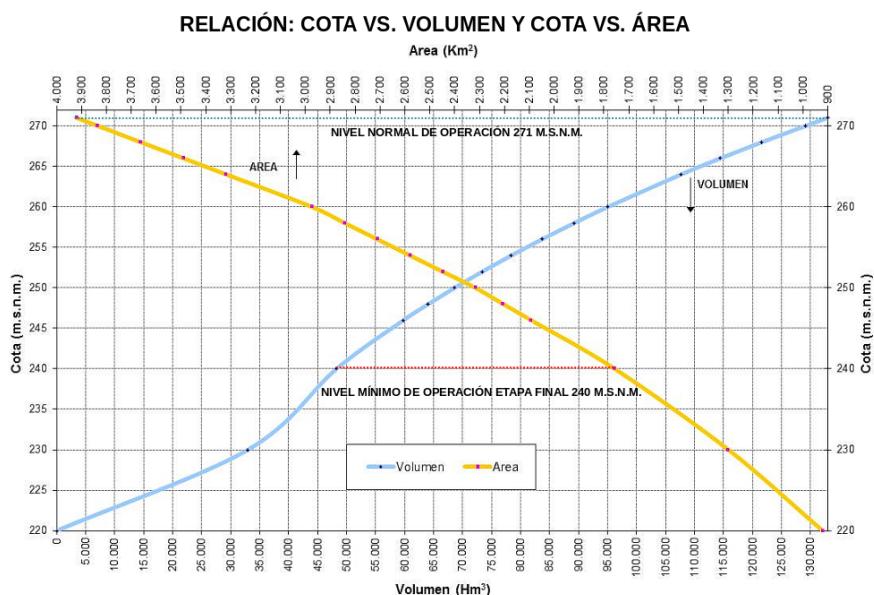


Figura 1. Curva que relaciona volumen (Hm^3) y cota (msnm), igualmente relaciona cota (msnm) y área (km^2).

Fuente: CORPOELEC

Determinando las variables, se puede calcular con (3) el caudal de salida y poder simular la potencia que se dejaría de generar en la hidroeléctrica, es decir, que cantidad de agua representaría el aporte de una potencia generada desde las 8:00 a.m. a las 4:00 p.m. mediante paneles fotovoltaicos. Para ello se utilizaron ecuaciones básicas para determinar la energía hidráulica en (4):

$$E_H = m \cdot g \cdot h \quad (4)$$

$$\text{donde } m = \rho \cdot V \therefore \quad (5)$$

$$E_H = \rho \cdot V \cdot g \cdot h \quad (6)$$

Donde E_H es la energía hidráulica, m (kg) es la masa del agua, g la gravedad m/s^2 , h (m) la diferencia de altura entre la cota medida y la toma de agua, ρ es la densidad del fluido (kg/m^3) y V es el volumen (m^3). Se conoce que:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (7)$$

Donde Q (m^3/s) es caudal y t (s) es tiempo, entonces la potencia hidráulica (W) se estima con (8):

$$P_H = \frac{E_H}{t} = \frac{\rho \cdot V \cdot g \cdot h}{t} \quad (8)$$

$$P_H = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (9)$$

Esta potencia se ve afectada por las eficiencias propias del sistema, se nota en (10):

$$P_e = Q_s \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \eta_h \cdot \eta_e \cdot \eta_m \quad (10)$$

Donde η_h , η_e y η_m son coeficientes que definen eficiencia hidráulica, eléctrica y mecánica respectivamente, y al ser multiplicado con P_H estiman una potencia característica al complejo hidroeléctrico.

P_e es la potencia eléctrica en (W) y 1 W equivale a 0,101971621298 kg· m/s.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Utilizando la herramienta de un Sistema de Información Geográfica de acceso libre como es QGIS, se pudieron georeferenciar los datos disponibles en SWERA (2016) para el recurso en radiación solar para plano con inclinación. En figura 2, se pueden observar las regiones con mayor recurso solar constatando lo estudiado por Posso, F. (2014), quien determinó que el 20% del territorio venezolano (205.921 km^2) tienen una radiación mayor a $5,1 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$, esto en la escala de posibles potenciales aprovechables clasifica de excelente. Este 20% del territorio se encuentra en la región norte costera norte e insular:

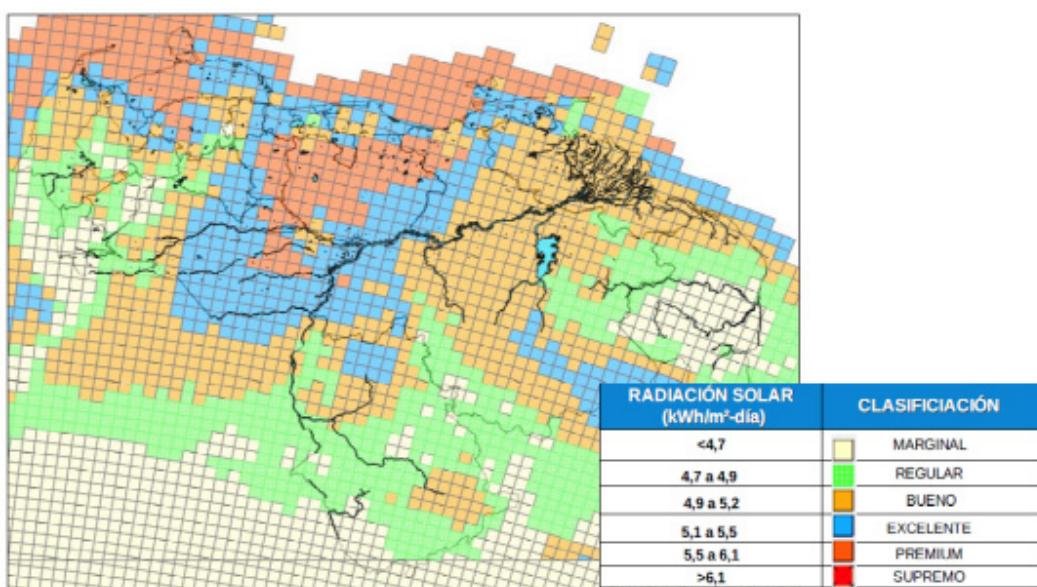


Figura 2. Mapa con recurso solar de Venezuela con plano inclinado
(Elaboración propia)

Se puede observar claramente que los estados han priorizado son: Falcón, Guárico, Vargas, Nueva Esparta y Sucre. Para nuestra investigación se tomaron como prioritarios solo 3 estados y sus capitales los cuales tienen mayor recurso solar, se muestran a continuación (ver tabla 2): En Venezuela, según el estudio, los estados con mayor potencial son Vargas, Sucre y Falcón.

Tabla 2. Estados priorizados por recurso solar en [kWh/m²-día].

Estado	Capital	Radiación kWh/m ² -día
Falcón	Coro	5,5 – 6,1
Sucre	Cumana	5,5 – 6,1
Vargas	La Guaira	5,5 – 6,1

Igualmente se priorizaron los municipios que contienen las capitales y aquellas ciudades de mayor población, esto para tener el mayor consumo de energía y las superficies con más edificaciones en donde haya posibilidad de colocar paneles solares. Una vez definidos los estados a abordar para hacer un estudio

detallado, siguiendo la metodología descrita se solicitó la medición del consumo en energía eléctrica a través de CORPOELEC en las edificaciones de la administración pública concernientes a la región, dicho consumo se transformó a demanda, (ver tabla 3):

Tabla 3. Se muestran el total de demanda de las edificaciones de la administración pública nacional en los estados y municipios señalados, así mismo se precisa el área a ocupar y el número de paneles fotovoltaicos.

ENERO A JUNIO 2016					
USUARIO	ALCALDIAS	GOBERNACIÓN	TOTAL DEMANDA EN MW	ÁREA A OCUPAR EN [km ²]	Paneles Fotovoltaicos
FALCON			4,11		
ALCALDIA DEL MUNICIPIO CARIRUBANA	3,33				
ALCALDIA DEL MUNICIPIO MIRANDA	4,06				
VARGAS		3,72			
ALCALDIA DEL MUNICIPIO VARGAS	1,37				
SUCRE		4,38			
ALCALDIA DEL MUNICIPIO SUCRE	7,22				
TOTAL GENERAL	15,98	12,21	28,19	0,326	280.000

Si quisiéramos suplir una demanda de 28 MW en estos estados, con sistemas solar fotovoltaico, teniendo un recurso mínimo de 5,5 kWh/m²-día se necesitarían menos de 1 km². Igualmente esto se traduce a instalar aproximadamente unos 280 mil paneles fotovoltaicos de 100 W de promedio y 195 W pico.

Utilizando la herramienta HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) Se pudo replicar este estudio a otros estados de Venezuela a tal forma de ser suplidos, a través de energía solar fotovoltaica, unos 2000 MW del Sistema Eléctrico Nacional en un horario desde las 8:00 a.m. a las 4:00 p.m. lo que resultó:

- Dejar de consumir de 47 gandolas de 32 mil litros, esto equivale a 1.500.000

Tabla 4. Disminución en CO₂ emitido a la atmósfera.

DEJAR DE GENERAR 2000 MW POR UN AÑO COMPLETO ENTRE LAS 8:00 AM A 4:00 PM A TRAVÉS DE TERMOELÉCTRICA				
TIPO DE PLANTA	TCO ₂ ANUALES	HECTAREAS CON ÁBOLES SEMBRADOS	ÁREA OCUPADA DEL TERRITORIO NACIONAL EN %	EQUIVALENTE A ESTADOS
Fuel-oil/Gas-oil	5.022.400	1.434.971	1,5	COJEDES
GAS	2.219.200	634.057	0,4	CARABOBO, DTTO CAPITAL Y VARGAS



Igualmente en la tabla se muestra la cantidad de hectáreas sembradas con árboles que se requerirían para mitigar las toneladas de CO₂ que se emiten a la atmósfera por concepto de generación termoeléctrica.

2000 MW generados por sistemas fotovoltaicos, en un horario desde las 8:00 a.m. a las 4:00 p.m., equivaldrían a:

- Dejar de turbinar cantidades significantes de agua en el embalse de mayor importancia

para el Sistema Eléctrico Nacional, Guri.

- Haber experimentado mejores escenarios hídricos, ya que si desde el 1 de enero de 2016, se hubiese suplido la demanda de la administración pública nacional, con energía solar fotovoltaica, la cota mínima del embalse del Guri no hubiese sido menor a 246 msnm, es decir, 6 metros por encima del mínima cota de operaciones, como se muestra en la gráfica (ver figura 3):

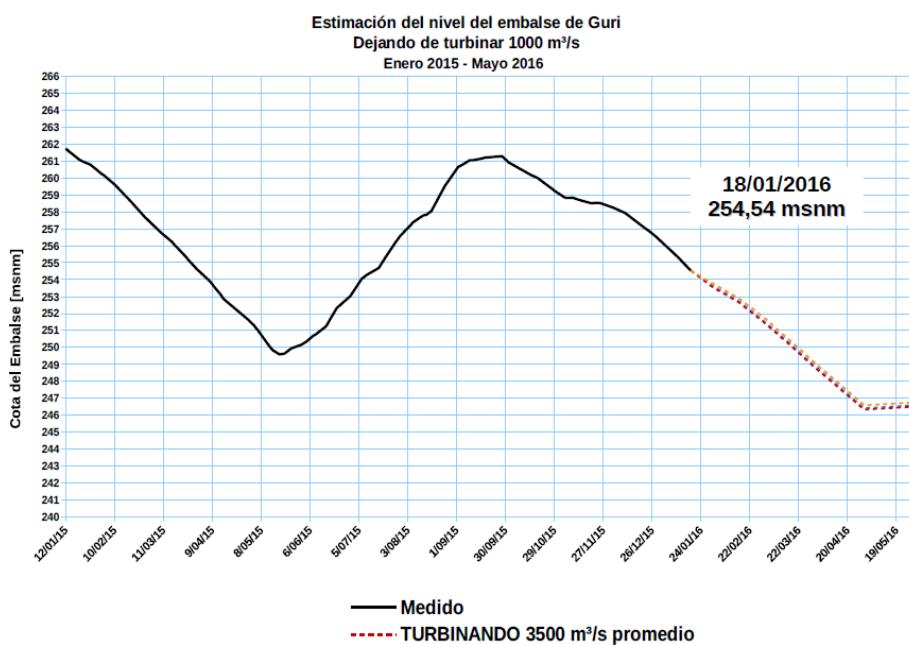


Figura 3. Comportamiento de la cota del embalse desde enero de 2016, turbinando lo equivalente al ahorro que representaría instalar paneles solares fotovoltaicos en edificaciones de la administración pública nacional

Se puede notar en la figura 3, lo que representa en ahorro de agua almacenada en el embalse del Guri, instalar una potencia de 2000 MW en paneles fotovoltaicos. Esta gráfica se estima a partir de (10), (2) y (3).

CONCLUSIONES

El territorio Venezolano contiene fuentes primarias de energía alternativa y de alto recurso para su aprovechamiento. Con menos de un

1 km² de techo de la administración pública nacional en los estados Falcón, Sucre y Vargas, se podría suplir la demanda de energía en picos del medio día, esto llevaría consigo la instalación de 280 mil paneles fotovoltaicos. La instalación de semejante potencia acarrea la inversión, a costo internacional, de aproximadamente 50 millones de USD.

Cerca del 75% de la población de Venezuela ocupa 20% del territorio nacional (lo cual

concuerda con la fachada costa montaña del país) y el porcentaje restante de la población (25%) se asienta en el resto de la superficie nacional (Los Llanos y Guayana) según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2014), al cruzar este dato con la investigación acá expuesta, da como resultado que el 20% del territorio más ocupado es el territorio que mayor recurso solar tiene. Lo que da alta probabilidad de factibilidad en alcanzar la instalación útil de 2000 MW mediante paneles fotovoltaicos, extrapolando la metodología que se expuso en el trabajo para la instalación de 28 MW.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAECONOMICA. (2016). Cuba firma con la UNEF una alianza estratégica para el desarrollo de la energía fotovoltaica. Recuperado de <http://www.americaeconomica.com/cuba/23568/cuba-firma-unef-fuentes-renovables.html>
- ANUARIO ESTADÍSTICO MPPEE (2014). Recuperado de <http://mppee.gob.ve/anuario-estadistico/>
- CORPOELEC. (2016). Procesos medulares, generación. Recuperado de <http://www.corpoelec.gob.ve/procesos-medulares>.
- EINSTEIN, A. (1905). The photoelectric effect. Ann. Phys, 17(132), 4.
- ENDE. (2016). La boliviana Ende construirá una planta fotovoltaica de 60 MW y una geotérmica de 5 MW en Potosí. Recuperado de <http://elperiodicodelaenergia.com/la-boliviana-ende-construira-una-planta-fotovoltaica-de-60-mw-y-una-geotermica-de-5-mw-en-potosi/>
- INE. (2014). XIV Censo Nacional De Población Y Vivienda Resultados Total Nacional de la República Bolivariana De Venezuela. Recuperado de <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensoDePoblacionyVivienda/pdf/nacional.pdf>
- IRENA. (2014). Rethinking Energy. Recuperado de http://www.irena.org/rethinking/IRENA_Rethinking_fullreport_2014.pdf
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). (2014). Technology RoadmapSolar Photovoltaic Energy. Recuperado de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf
- LA CRUZ, E. (2005) Desarrollo en Venezuela de las Fuentes Alternas Renovables de Energía. Primeras Jornadas sobre las FARE en Venezuela. Puerto Ordaz. Venezuela.
- MINISTERIO DE ENERGIA DE CHILE.(2015). Programa Techos Solares Públicos. Recuperado de <http://www.minenergia.cl/techossolares/>
- MPPEE. (2015). Memorias 2014. Recuperado de http://mppee.gob.ve/download/memoria_y_cuenta/memoria_y_cuenta_2014/1%20-%20Tomo%20I%20Memoria%202014.pdf
- MPPEE. (2016). Memorias 2015. Recuperado de http://mppee.gob.ve/download/memoria_y_cuenta/memoria_y_cuenta_2014/1%20-%20Tomo%20I%20Memoria%202014.pdf
- NAIK, A., KALKAR, D., KULKARNI, K. y UKIDVE, G. (2015). Solar Power Based Thermoelectric Cooling. Savitribai Phule Pune University. Pune. India.
- PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY PLATFORM. (2011). A strategic research agenda for photovoltaic solar energy technology. European Communities; 2007. Recuperado de ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/technology-platforms/docs/pvtp-sra-2011-2_en.pdf
- PASSO F. (2014) Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica, Revista Geográfica Venezolana, p 27
- ROCA. J. (2016). Antigua y Barbuda recurre a PV Energy para que le suministre soluciones de almacenamiento solar. El periódico de la Energía. Recuperado de <http://elperiodicodelaenergia.com/antigua-y-barbuda-recurre-a-pv-energy-para-que-le-suministre-soluciones-de-almacenamiento-solar/>
- UNIÓN ESPAÑOLA FOTOVOLTAICA (UNEF).(2016). Cuba y España firman una alianza estratégica para el desarrollo de la energía fotovoltaica. Recuperado de <http://unef.es/2016/08/cuba-y-espana-firman-una-alianza-estrategica-para-el-desarrollo-de-la-energia-fotovoltaica/>

- ROCA, J. (2016b). El Vaticano estudia la instalación de sistemas solares en los colegios católicos de todo el mundo. El periódico de la Energía. Recuperado de <http://elperiodicodelaenergia.com/el-vaticano-estudia-la-instalacion-de-sistemas-solares-en-los-colegios-catolicos-de-todo-el-mundo/>
- ROCA, J. (2016c). Alemania instala solo 81,6 MW fotovoltaicos en julio. Recuperado de <http://elperiodicodelaenergia.com/alemania-instala-solo-816-mw-fotovoltaicos-en-julio/>
- TIWARI, G., MISHRA, R. & SOLANKI, C. (2011). Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modelling. *Applied Energy*, 88(7), 2287-2304.
- THE SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT (SWERA). (2016). Recuperado de <https://maps.nrel.gov/swera>.

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE PARQUES SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Juan José Vásquez Bompart *

Dirección General de Energía Alternativa

RESUMEN.-

El presente trabajo propone emplear una metodología para la selección de zonas o espacios para la instalación de parques solares fotovoltaicos, tomando en cuenta cinco criterios: Aspectos geográficos, técnicos, ambientales, económicos y como último criterio, la incorporación del criterio social. Es muy importante resaltar que el criterio social toca aspectos de orden cualitativo lo cual dificulta su integración con las variables cuantitativas al momento de tomar una decisión. Para solucionar eso, se emplea una matriz multicriterio que pueda conformar una estructura de selección sólida, insertando los criterios descritos y de distinta índole para responder al problema planteado en la toma de decisión.

Palabras clave: fotovoltaica, solar, criterio, energía, cualitativas.

METHODOLOGY FOR DETERMINING FEASIBILITY OF SOLAR FARMS PHOTOVOLTAIC PROJECTS CONNECTED TO THE MAINS IN THE REPUBLIC OF VENEZUELA

ABSTRACT.-

The present work proposes to use a methodology for the selection of zones or spaces for the installation of solar photovoltaic parks taking into account five criteria, such as: geographical, technical, environmental and economic aspects. The last criterion is the incorporation of the criterion. It is very important to emphasize that the social criterion touches aspects of qualitative order which makes difficult its integration with the qualitative variables at the moment of making a decision. In order to solve, a multi-criterion matrix is used that can form a solid selection structure, inserting the criteria described and of different nature to answer the problem posed in the decision making.

Keywords: photovoltaics, solar, criterion, energy, qualitative.

*Autor por correspondencia

Correo-e: jvasquez@mppee.gob.ve (Juan José Vásquez Bompart)



INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la aplicación de las energías renovables (en este caso la energía solar), se aplica la técnica de evaluación y estimación del recurso para diseñar parques fotovoltaicos de gran escala, para ello hasta el momento, entran en juego las variables técnicas, geográficas, ambientales y económicas al momento de elegir zonas para instalar estos sistemas; sin embargo, se ha dejado a un lado el análisis de variables sociales, comonatalidad infantil, índice de desempleo, analfabetismo entre otras; las cuales, de ser tomadas en cuenta pueden influir en la toma de decisión al momento de planificar el desarrollo de instalaciones de energías renovables. Con este tipo de métodos que se plantea se logrará solucionar el problema de toma de decisión al momento de integrar variables sociales al análisis multicriterial, y que al integrar una quinta variable, en este caso la variable social se podrá lograr el desarrollo integral de la nación al incluir aquellas zonas que históricamente han sido excluidas de la planificación energética.

Descripción del Método y Técnicas

En la elaboración de mapas se toma en cuenta la información y criterios suministrados por diferentes trabajos de investigación de varios países como España, Estados Unidos y Canadá. De acuerdo a la investigación realizada por Domínguez (2003), se establece que la energía solar posee una distribución muy precisa en zonas cercanas a los puntos de medición y que las variables geográficas y morfológicas como valores de pendiente orientación del terreno influyen en la incidencia de la radiación solar en la superficie terrestre. De igual forma Hung (2011) indica que existen múltiples factores geográficos que permiten realizar una valoración de sitios disponibles para la selección de parques fotovoltaicos entre los que se pueden

citar: pendientes, irradiación solar, red vial y red eléctrica donde la pendiente y la orientación del terreno tienen un papel importante en la selección de un terreno para el fin propuesto; adicionalmente Marcos Castell (2011) plantea los mismos criterios dados por los anteriores estudios.

Al incluir variables de diferente índole en la toma de decisión, Fernández Roa (2011) indica qué los procesos de toma de decisiones han sido analizados y modelados matemáticamente para permitir a los tomadores de decisiones abordar los problemas de forma analítica y visualizar todos los factores que intervienen tanto en los procesos como en las preferencias.

En el mismo orden de ideas, Contreras (2008) indica que existen dos métodos fundamentales para la toma de decisión, ellos son:

Método monocriterio

Es un método desarrollado en los años 60 se basa en la utilización de un solo criterio para la selección de alternativas o proyectos, de forma general se priorizan los criterios técnicos y en los económicos se emplea VAN y TIR.

Método multicriterio

Este tipo de método se aplica en condiciones de incertidumbre y trata de determinar la opción óptima para un determinado proyecto o selección de proyectos en condiciones de incertidumbre y dominancia entre proyectos desde el punto de vista de los resultados esperados.

En la formalización matemática del problema para la toma de decisiones, se distinguen los siguientes elementos comunes a todos los métodos multicriterios:

- Criterios (atributos): corresponden a las

normas intelectuales para juzgar o decidir.

- Alternativas: acciones u objetos de decisión que componen soluciones para el problema planteado. También suelen ser llamadas opciones, escenarios, planes, candidatos, etc. Formalmente se definen con un conjunto de elementos.

Estos métodos de decisión también son empleados para la selección de la ubicación de parques fotovoltaicos. De forma general según la “Association Of New Jersey Environmental Commissions Solar Siting and Sustainable Land Use (2012)”, los criterios que se toman en cuenta para la definición de emplazamientos de energía solar son:

- Criterios técnicos.
- Criterios económicos.
- Criterios ambientales.
- Criterios geográficos.

Método Propuesto

La metodología propuesta se desarrollará teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1) Criterios geográficos: Elaboración de mapas para la ubicación geográfica de las diferentes propuestas de parques fotovoltaicos.

2) Criterios técnicos:

- a. Determinación de los aspectos técnicos:

- i. Estimación de la radiación solar sobre una superficie horizontal. Confección de mapas de radiación solar.
- ii. Cálculo de la radiación solar sobre una superficie inclinada.
- iii. Estimación de la producción de energía de las diferentes propuestas y cálculo del número de paneles necesario.
- iv. Cálculo del combustible fósil evitado.

3) Criterio de ambiental:

a. Determinación de los aspectos ambientales:

- i. Estimación de la cantidad de CO₂ evitado.

4) Criterio económico:

a. Cálculo Económico:

- i. Determinación del Valor Actual Neto (VAN).
- ii. Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR).
- iii. Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión.

5) Criterio social

a. Valoración de aspectos sociales:

- i. Confección de la entrevista.
- ii. Aplicación de entrevista.
- iii. Análisis de las entrevistas aplicadas.
- iv. Plan de desarrollo territorial.

6) Aplicación de la matriz multicriterial de priorización para la selección.

Validación de la metodología. Aplicación para la selección de la ubicación de los parques fotovoltaicos en el estado de Sucre

Para la validación de la metodología se propone su aplicación en la selección de la ubicación de parques fotovoltaicos en el estado Sucre, se conoce que es una zona con condiciones favorables para la generación de energía eléctrica mediante la utilización de la energía solar.

Aspectos geográficos

El estudio de validación se realizó en el estado Sucre, el cual dispone de altos valores de radiación solar medidas en un plano horizontal, para ello se tomaron los datos disponibles

de características geográficas del espacio en estudio. A continuación se presentan en las figuras 1 y 2 los mapas del estado Sucre de: inclinación y pendiente del terreno, y orientación geográfica.

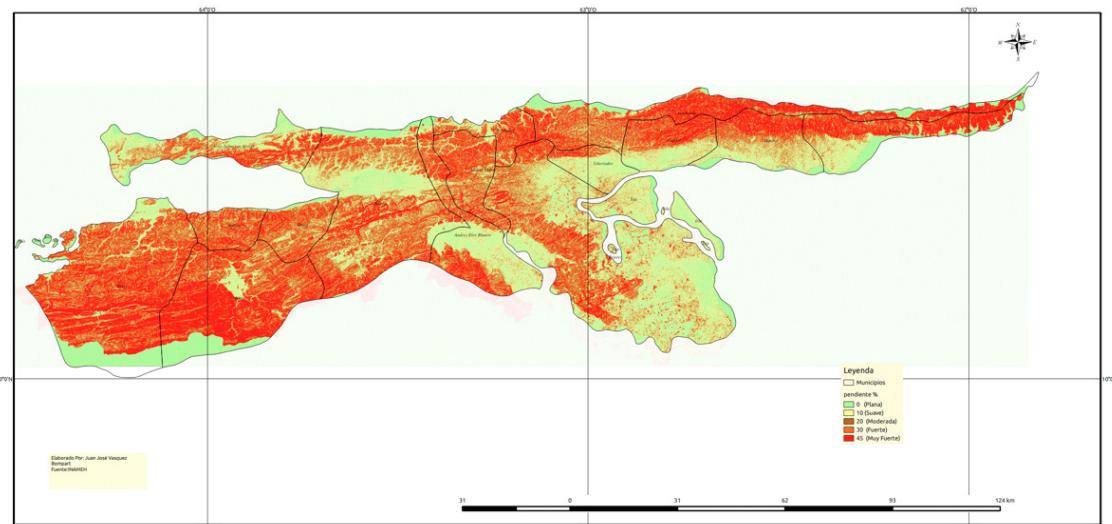


Figura 1. Mapa geográfico de pendientes Edo. Sucre. Fuente: Propia

Observe en la figura 1 que gran parte del territorio en estudio está compuesto por terrenos con pendientes de más de 10% de inclinación,

de igual manera en la figura 2 se aprecia un mapa donde se establece la orientación Norte Sur del estado objeto de estudio:

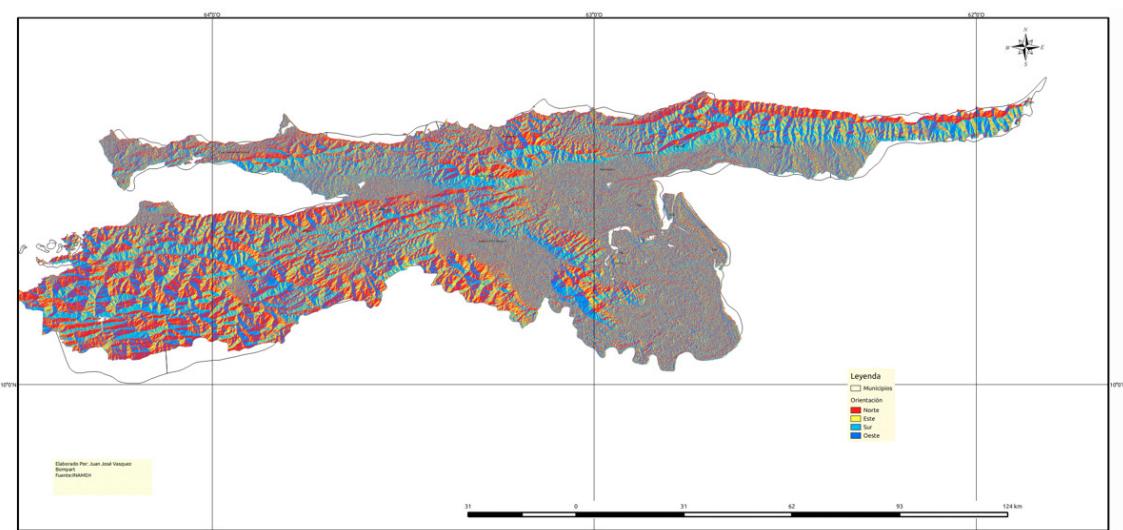


Figura 2. Orientación geográfica del Estado de Sucre. Fuente: Propia

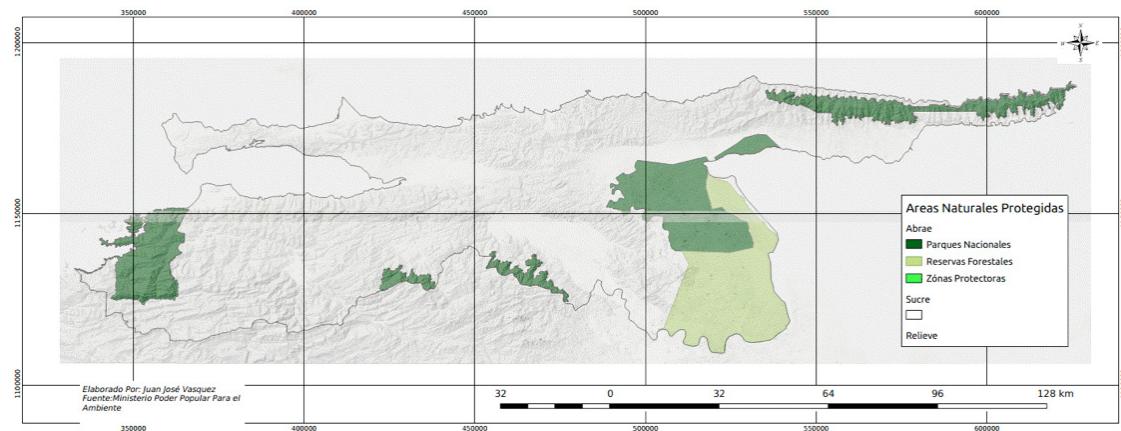


Figura 3. Mapa geográfico de Áreas Bajo Régimen Especial (ABRAE) Edo. Sucre. Fuente: Propia

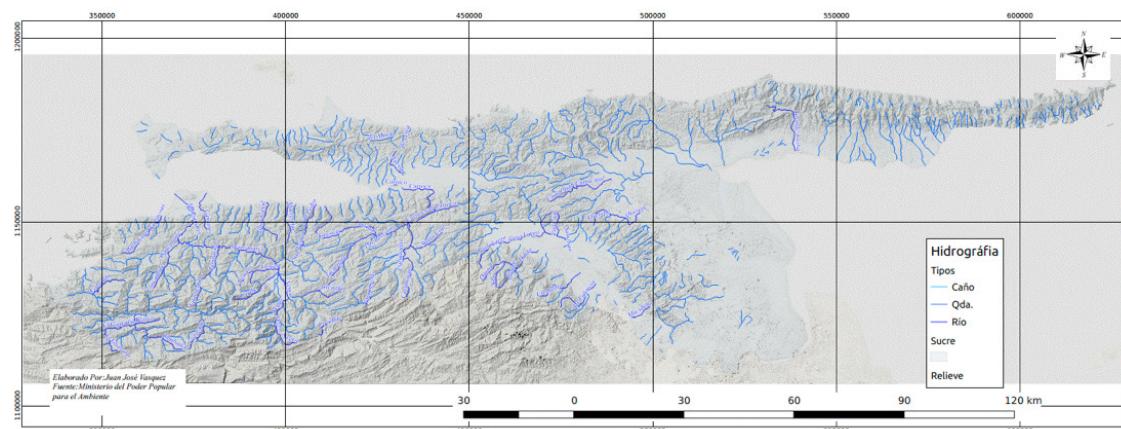


Figura 4. Mapa geográfico de hidrología Edo. Sucre. Fuente: Propia

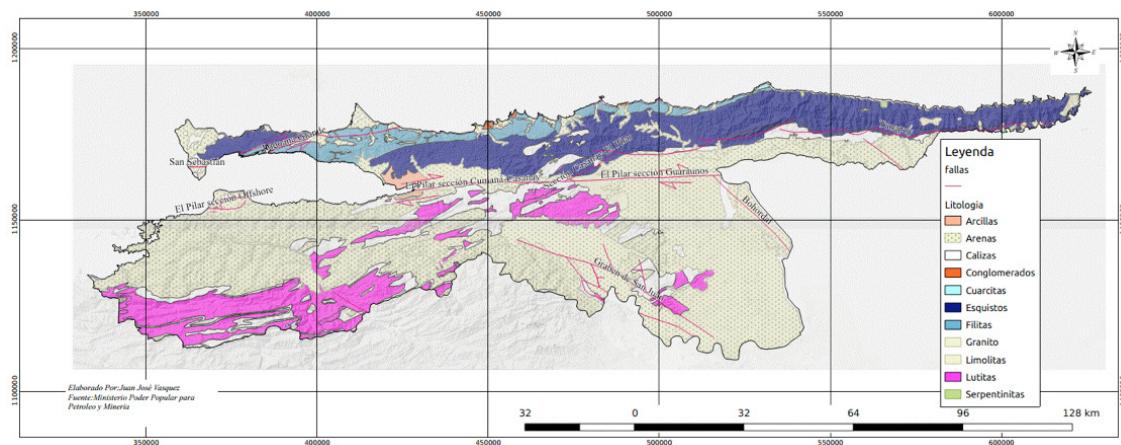


Figura 5. Mapa geográfico de litología Edo. Sucre. Fuente: Propia

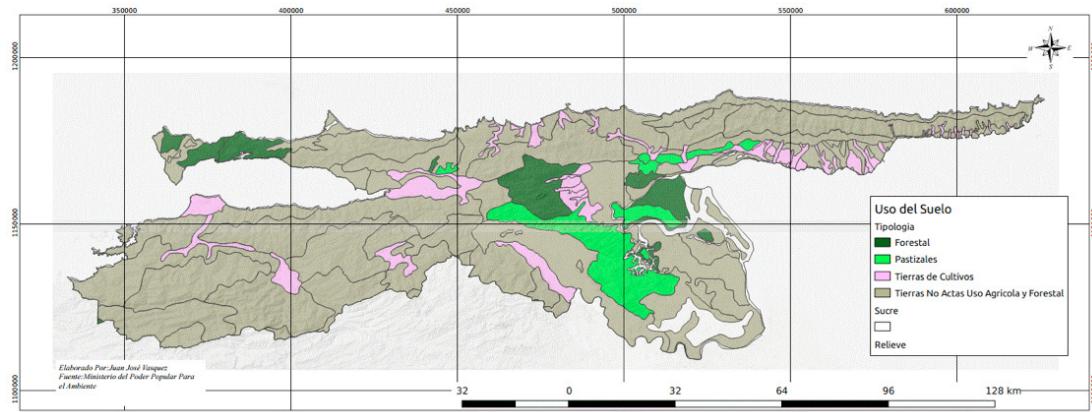


Figura 6. Mapa geográfico de suelos Edo. Sucre. Fuente: Propia

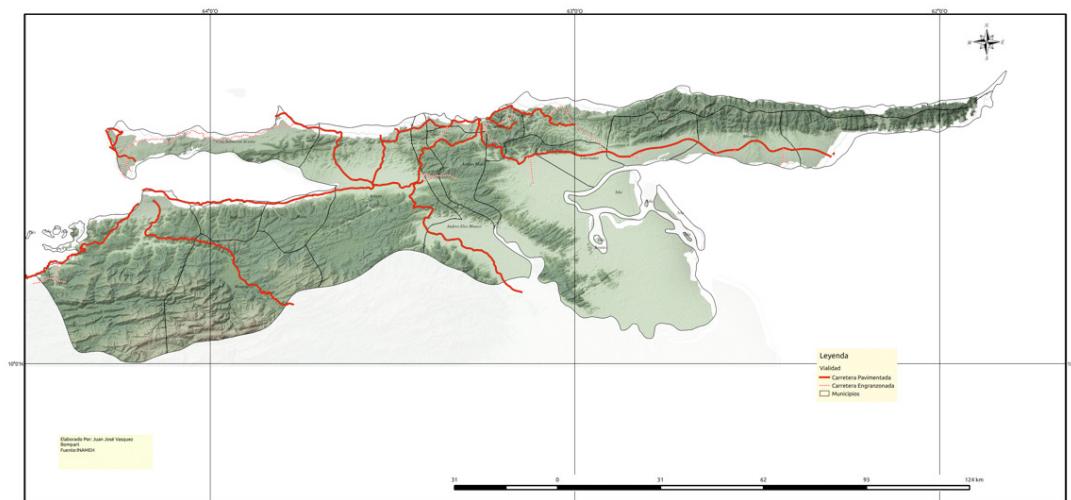


Figura 7. Mapa geográfico de vialidad Edo. Sucre. Fuente: Propia

Al analizar los mapas geográficos descritos en las figuras 1 y 2 se puede afirmar que en la mayoría el estado, las elevaciones existentes están fundamentalmente en la zona norte, formando una franja que se extiende de este a oeste a lo largo de todo el territorio. Los desniveles de elevación son pronunciadas y superiores al 10 %.

Análisis técnico para la instalación del parque fotovoltaico

Para la evaluación técnica se hace necesario partir de la evaluación de datos climatológicos. En la zona objeto de estudio existen varias

estaciones meteorológicas que pueden aportar la información primaria, estas son:

- Cariaco.
- Cumana UDU.
- Cumaná aero.
- Carúpano.
- Güiria.

Todos los datos climatológicos se emplearan para la confección de un mapa de radiación solar, que permitirá la evaluación de la energía solar incidente en todo el territorio del estado Sucre.

Evaluación de la radiación solar sobre un plano horizontal

De acuerdo a la metodología empleada, los datos de radiación solar media se obtienen de las estaciones meteorológicas existente en el

estado. Las mismas se obtienen de la página WEB del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (NAMEH). Se procesan esos datos y se obtienen los valores promedios mensuales de radiación, estos se muestran en la tabla 1.

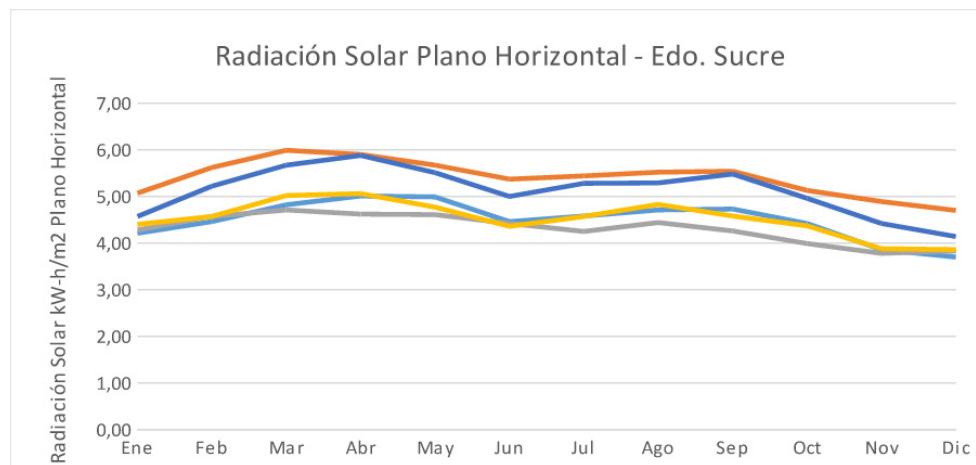


Figura 8. Radiación solar plano horizontal Sucre, cada color corresponde a una estación meteorológica.

Fuente INAMEH

Se aprecia que existen cinco estaciones meteorológicas que disponen de datos medidos de radiación solar sobre un plano horizontal. Luego de evaluadas las restricciones y procesados estos datos, se integran en un mapa

que se realiza a través de la superposición de diferentes capas y utilizando los programas “QUANTUM GIS” y “GVSIG”. Los resultados obtenidos de esta aplicación se muestran en las Figura 8.

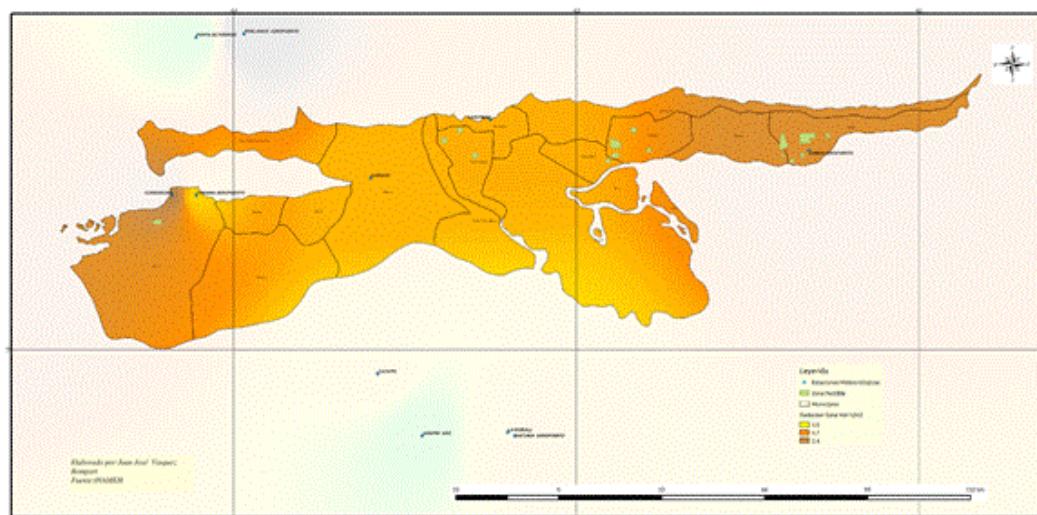


Figura 9. Mapa de radiación solar global del estado de Sucre

En la Figura 8 se puede apreciar que la radiación solar mínima promedio es de 4,0 kW-h/m² y un promedio máximo de 5,40 kW-h/m² en períodos anuales. De ahí se desprende que es factible ubicar parques fotovoltaicos en los 15 municipios que integran el estado Sucre, no obstante, de la metodología se realizará el resto del estudio a solo a seis asentamientos seleccionados de ellos, estas se identifican con marcas de color verde en el mencionado mapa.

Radiación solar sobre un plano inclinado

Para lograr un mayor aprovechamiento de la energía solar en parques fotovoltaicos, se deben colocar los paneles con un cierto grado de inclinación para corregir el efecto de la curvatura terrestre que producto de la latitud del lugar se corresponde con los 10,5 grados norte. Se utilizó el modelo de Collares-Pereira y Rabl, incluyendo el análisis de factores asociados a las radiaciones como porcentaje de difusión y albedo en un plano inclinado. El resultado obtenido se muestra en la siguiente figura:

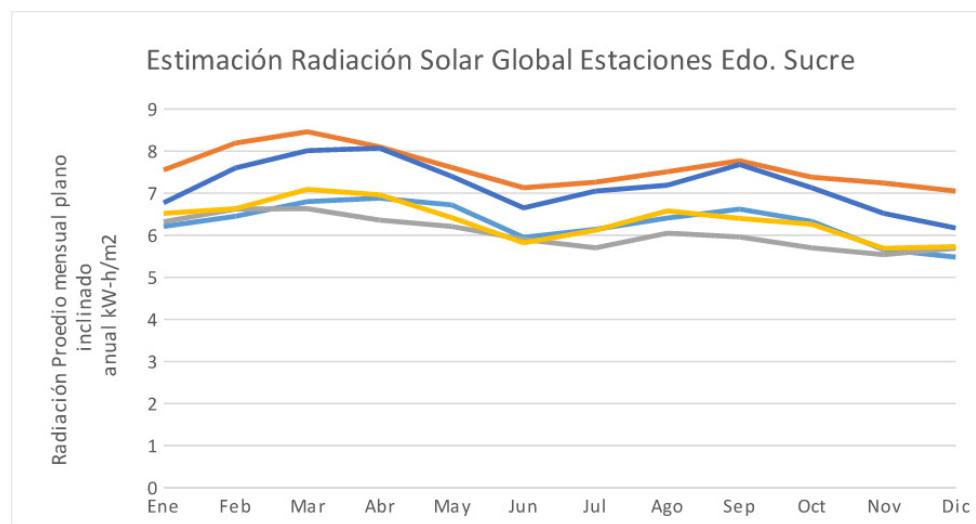


Figura 10. Radiación solar plano inclinado Sucre, cada color corresponde a una estación meteorológica.
Fuente Propia

Estimación de la potencia y energía producida

Como no se disponen de estaciones meteorológicas en los municipios seleccionados

se deberán asociar los valores de radiación de las estaciones meteorológicas más cercanas el dato para cada municipio se indica a la tabla siguiente:

Tabla 1. Relación entre estaciones meteorológicas y zonas factibles. Fuente Propia.

Municipio con zonas factibles	Estación con valores de radiación solar más cercana
Andrés Mata	Carúpano
Cajigal	Güiria Aeropuerto
Libertador	Carúpano
Mariño	Güiria Aeropuerto
Sucre	Cumaná UDO
Valdés	Güiria Aeropuerto

Tabla 2. Potencia instalada y generada por los sistemas fotovoltaicos seleccionados. Fuente Propia.

Municipios	Estación	Latitud	Máxima potencia pico permitida para el suministro a red (MW)	Potencia máxima por la instalación fotovoltaica(MW)
Andrés Mata	Carúpano	10,67	2.0	2,77
Cagigal	Güiria	10,58	2.0	2,77
Libertador	Carúpano	10,67	2.0	2,77
Marino	Güiria	10,58	2.0	2,77
Sucre	Cumaná UDO	10,45	2.0	2,77
Valdez	Güiria	10,58	2.0	2,77

A partir de la potencia a generar descrita en la tabla 2 se puede obtener el número de paneles necesarios para dicha generación, estos aparecen en la tabla 3.

Tabla 3. Cantidad de paneles necesario a instalar

Valores totales			
P _{generador} (MWp)	N _{paneles}	N _{panelleserie}	N _{ramas}
2,77	≥ 15.385	30	513

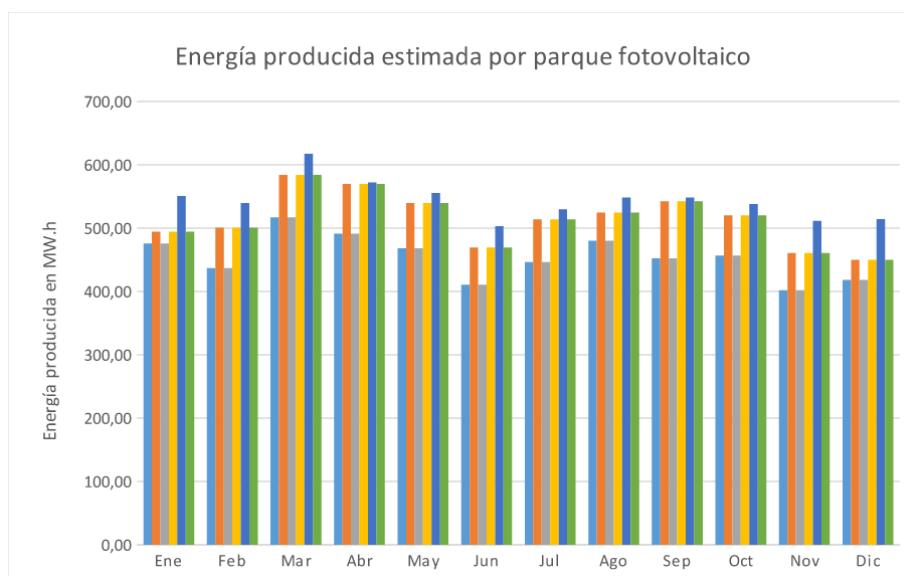


Figura 11. Energía producida en cada municipio Edo. Sucre. Fuente Propia

Estimación del combustible evitado

En cuanto al cálculo del combustible evitado, se propone cuantificar el consumo de combustible diésel en función de la energía eléctrica producida durante un año en las plantas diésel de todo el territorio nacional. Tabla 4.

Tabla 4. Consumo de diésel y generación de energía eléctrica.

Consumo	Generación
Diésel m3	GW-h
4.095.470,00	12.809,38

De acuerdo a estos datos la relación entre el consumo de combustible y la generación

eléctrica, considerando una densidad del diésel de 0,880 Ton/m³, se obtiene un factor de 0,281 Ton/MW-h/año. Esto indica que por cada un megavatio (Mw) de generación de electricidad

por plantas diésel se consume poco más de un cuarto de tonelada de diésel.

De esa manera, el combustible evitado y su ahorro en divisas se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Combustible evitado en cada municipio para un parque fotovoltaico de 2 MW.

Energía anual (MW-h/año)						
Municipio	Andrés Mata	Cagigal	Libertador	Marino	Sucre	Valdez
Anual	5.455,17	6.170,28	5.455,17	6.170,28	6.528,69	6.170,28
Combustible evitado						
Ton/año	1.534,85	1.736,05	1.534,85	1.736,05	1.836,90	1.736,05
m ³ /año	1.744,15	1.972,79	1.744,15	1.972,79	2.087,38	1.972,79
Galones/año	460.756,15	521.155,48	460.756,15	521.155,48	551.427,82	521.155,48
Costo de oportunidad US dólar/año	1.792.341,44	2.027.294,81	1.792.341,44	2.027.294,81	2.145.054,23	2.027.294,81

Es importante aclarar que el precio del combustible es muy volátil según los escenarios político - económicos y por esa razón, se plantea emplear el dato de proyección del costo del combustible diésel en el mercado mundial. Para el cálculo del precio del diésel según U.S. Energy Information Administration (EIA – 2014) se toma como referencia el estimación de 3,76 US dólar por galón para inicios del 2014.

Criterio Ambiental. Estimación de gases de efecto invernadero

Conocida la cantidad de combustible diésel consumidas al año en cada localidad (Cariaco, Cumana UDO, Cumana Aero, Carúpano, Güiria), se puede determinar la cantidad de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, si es utilizada la tecnología de paneles solares fotovoltaicos en las distintas localidades para

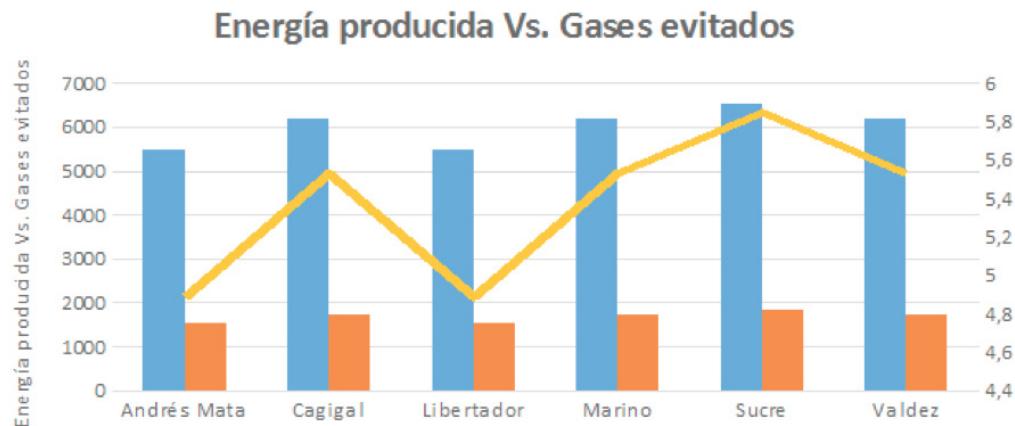


Figura 12. Gases efecto invernadero evitados por generación fotovoltaica. Fuente Propia

la generación de energía eléctrica. En función de la recomendación del Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (2006) se emplea el software “Inventario de Emisión de gases de Efecto Invernadero”, utilizado para los inventarios nacionales orientados por el panel Intergubernamental de Cambio Climático (Guías Revisadas del IPCC del año 2006) y se determina la cantidad de Gigagramos de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera.

Aspectos económicos

Para el cálculo económico se toman diferentes valores de páginas internacionales en la valoración de las variables económicas. De acuerdo Whole Sale Solar (2013) el precio de los sistemas conectados a una red eléctrica, red varían entre 1,57 USD/kWp y 2,34 USD/kWp de dólar por cada vatio instalado. De la misma manera según Brakles (2013), se muestra que

los parques fotovoltaicos instalados en el Reino Unido tienen un costo de instalación de 1,69 USD/kWp de dólar por cada vatio instalado, por lo tanto y en función de lo antes expuesto se toma el valor medio de 1,85 USD/kWp de dólar por cada vatio instalado.

Para los gastos de operación y mantenimiento de acuerdo a Eclareon (2013), los costos de operación y mantenimiento para sistemas de parques fotovoltaicos conectados a una red eléctrica, 32,5 USD/kWp. En consecuencia, se presenta el resultado del cálculo tipo para una planta de 2MW propuesta para el municipio Andrés Mata, con una inversión inicial de USD 5.124.500,00 ingresos de 1.792.341,44 USD/año y gastos a 90.025,00 USD/año. Se expresan los valores en millones de dólares estadounidenses para su simplificación en el manejo de las cifras. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Resultado de cálculos financieros para el municipio Andrés Mata.

Datos iniciales							
Año	0	1	2	3	4	5	6
Ingresos (I), MM USD		1,7923	1,7923	1,7923	1,7923	1,7923	1,7923
Gastos (G), MM USD		0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900
Costo inversión (K ₀), MM USD	5,1245						
Tasa de descuento (r), %		10	10	10	10	10	10
Tasa de inflación (f), %		2	2	2	2	2	2
Tasa de impuestos (t), %		35	35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25	25
Resultados							
Año	0	1	2	3	4	5	6
Depreciación (Dep), MM USD		0,0000	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050
Flujo de caja (Fc), MM USD	-5,1245	1,1065	1,1782	1,1782	1,1782	1,1782	1,1782
Tasa de descuento real (R)		0,0784	0,0784	0,0784	0,0784	0,0784	0,0784
Factor de descuento		0,9273	0,8598	0,7973	0,7393	0,6855	0,6357
Flujo de caja descontado (Fd), MM USD	-5,1245	1,0260	1,0131	0,9394	0,8711	0,8077	0,7490
Flujo descontado acumulado (Fda), MM USD	-5,1245	-4,0985	-3,0854	-2,1459	-1,2749	-0,4671	0,2819
VPN, USD		0,2819					
TIR, %		4%					

En resumen se ilustra en la siguiente tabla los resultados de VAN y TIR para los municipios en estudio Andrés Mata, Cagigal, Libertador, Mariño, Sucre y Valdez:

Tabla 7. Resumen de los valores VAN y TIR para cada parque fotovoltaico de 2 MW.

Energía anual (MW-h/año)						
Municipio	Andrés Mata	Cagigal	Libertador	Marino	Sucre	Valdez
Estación	Carúpano	Güiria	Carúpano	Güiria	Cumana UDO	Güiria
Anual	2.770,00	2.770,00	2.770,00	2.770,00	2.770,00	2.770,00
Datos financieros por año						
Costo de Instalación MMUSD	5,1245	5,1245	5,1245	5,1245	5,1245	5,1245
Ingresos MMUSD	1,7923	2,0272	1,7923	2,0272	2,1450	2,0272
Costos operación y mantenimiento MMUSD	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900
VAN MMUSD	0,2819	1,0446	0,2819	0,9910	1,3466	0,9913
TIR %	4	9	4	9	11	9

Matriz multicriterio

Para la construcción, evaluación y análisis de la matriz multicriterio es necesario definir los pesos de los criterios que permitirá evaluar de forma integral aquellos aspectos que influyen en la toma de decisión al momento de planificar la instalación de parques fotovoltaicos.

En la determinación del peso de los criterios cualitativos se recurre a la herramienta de la entrevista para estimar la opinión de personas y actores con influencia en la toma de decisiones en el estado Sucre. Es importante resaltar que se evalúan cinco criterios importantes que conforman una solución integral al problema de la energía y para el aprovechamiento energético solar. Solo se evaluarán los cuatro criterios, es decir: ambiental, energético, social y económico y para cada uno de ellos el autor propone una ponderación de 25% de peso.

Ya establecido el peso de los criterios primarios

se definen e identifican los pesos de los subcriterios:

- Dentro del aspecto ambiental se evalúan los gases de efecto invernadero que se dejan de emitir a la atmósfera al producir energía eléctrica a partir de parques solares fotovoltaicos de 2 MW.
- En el aspecto energético se incluyen dos subcriterios: Infraestructura como el aporte que brinda este proyecto a otros dentro de la misma región. Energía producida por el parque fotovoltaico en un periodo anual.
- En criterio social se incluyen tres subcriterios: educación, población beneficiada y salud. Se aclara que en educación se propone priorizar aquel municipio que cuenta con menos planteles educativos.
- En el económico se evaluó el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

Los pesos de los subcriterios: Educación, Población Beneficiada, Salud fueron calculados de acuerdo a los resultados de la entrevista, en el resto de ellos se establecieron pesos iguales. A continuación se indica los pesos de criterios y subcriterios.

Tabla 8. Peso de los subcriterios.

Emisiones de CO ₂	Energético		Social			Económico	
25%	25%		25%			25%	
	Infraestructura	Energía Producida	Educación	Población Beneficiada	Salud	VAN	TIR
	46,43%	53,57%	24,10%	32,53%	43,37%	50%	50%

En el llenado de la tabla se observa que cada criterio presenta una unidad diferente, por citar dos casos, en el caso de emisiones de CO₂ su unidad son Gg/año y para energía producida la unidad es GW-h/año, por lo que se aprecia se

debe establecer una unidad única de evaluación, por lo tanto se propone calcular sus porcentajes con respecto a la media de cada unidad o normalizar la unidad. A modo de ilustración, en la tabla siguiente se muestra lo citado:

Tabla 9. Normalización de datos subcriterio energía producida.

Municipio	Estación	Energía anual GW-h/año	Por unidad	Porcentaje
Andrés Mata	Carúpano	5,46	0,1517	15,17%
Cagigal	Güiria	6,17	0,1716	17,16%
Libertador	Carúpano	5,46	0,1517	15,17%
Marino	Güiria	6,17	0,1716	17,16%
Sucre	Cumana UDO	6,53	0,1816	18,16%
Valdez	Güiria	6,17	0,1716	17,16%
		35,95	1,0000	100,00%

Para los datos de valoración de cada uno de los subcriterios sociales se utilizó información del Instituto Nacional de Estadística INE y luego se realizó una normalización para llevarlas a la

misma unidad. Este procedimiento se realiza para el resto de los criterios y subcriterios. A continuación se muestra la matriz multicriterio.

Tabla 10. Matriz multicriterio

Priorización de municipios para instalar parques fotovoltaicos						
Emisiones de CO ₂	Energético		Social		Económico	
		0,2500		0,2500		0,2500
0,2500	Infraestructura	Energía Producida	Educación	Población beneficiada	Salud	VAN TIR
	0,5000	0,5000	0,2410	0,3253	0,4337	0,5000 0,5000
Andrés Mata	0,1518	0,0969	0,1517	0,1211	0,0517	0,0447
Cajigal	0,1716	0,1633	0,1716	0,1678	0,0482	0,0372
Libertador	0,1518	0,0204	0,1517	0,3517	0,0184	0,0192
Mariño	0,1716	0,1582	0,1716	0,1678	0,0497	0,0447
Sucre	0,1816	0,2857	0,1816	0,0310	0,7531	0,7741
Valdéz	0,1716	0,2755	0,1716	0,1605	0,0789	0,0802

Ya construida la matriz multicriterio se procede a evaluar su contenido para establecer la priorización de los municipios en función de los criterios planteados. De acuerdo a la ecuación

se calcula el peso de cada alternativa, a modo de ejemplo se ilustra el caso de evaluación para el municipio Andrés Mata:

$$\text{Ponderación}_{\text{Municipio Andrés Mata}} = (0,1518 * 0,25) + ((0,0969 * 0,5) + (0,1517 * 0,5)) * 0,25 + \dots \\ \dots + ((0,1211 * 0,2410) + (0,0517 * 0,3253) + (0,0447 * 0,4337)) * 0,25 + \dots \\ \dots + ((0,0571 * 0,5) + (0,0870 * 0,5)) * 0,25 \quad (1)$$

Ponderación Municipio Andrés Mata = 10,34

Se realiza el mismo procedimiento para los municipios restantes, el resultado se muestra en

la gráfica siguiente:

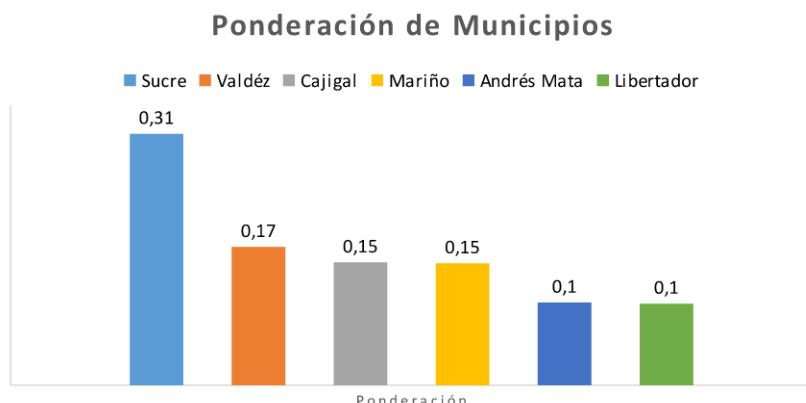


Figura 13. Tabla de priorización de municipios

Para esta evaluación el municipio Sucre es el primero para realizar la instalación de parques fotovoltaicos tomando en cuenta los criterios antes descritos, en segundo lugar el municipio Valdez y en ese mismo orden de último se selecciona el municipio Libertador.

El método planteado permite brindar una herramienta para la selección de emplazamientos de sistemas solares fotovoltaicos, tomando en cuenta los criterios geográficos, técnicos, ambientales, económicos y sociales. De acuerdo al estudio, el estado Sucre posee una gran vocación para el aprovechamiento de la energía solar, por ello, hay un abanico de posibilidades de zonas factibles de instalación se hace muy extenso. Con la presente herramienta se podrá simplificar el ejercicio de toma de decisión para la planificación estratégica en el sector eléctrico nacional.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta permite evaluar la ubicación de parques solares fotovoltaicos estableciendo un orden de prioridad para su instalación, a partir de la utilización de una matriz multicriterio que considera aspectos geográficos, ambientales, técnicos, económicos y sociales. Igualmente describe que los aspectos sociales pueden influir en el ejercicio de toma de decisión en la selección de zonas para la instalación de parques fotovoltaicos.

Se concluye que la radiación solar promedio diario en el territorio del estado Sucre presenta valores entre 5 kW-h/m² y 7 kW-h/m², de la misma manera, el ángulo de captación para el aprovechamiento de la energía solar es de 10,50°; por lo que el promedio de producción de energía eléctrica a partir de parques solares fotovoltaicos en el estado Sucre es de 6,24 GW-h/año.

En los casos estudiados la inversión inicial se recupera entre los cinco y seis años y con una

tasa interna de retorno entre 4% y 11%, en el caso validado la primera opción para la instalación de parques fotovoltaicos es el municipio Sucre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIATION OF NEW JERSEY ENVIRONMENTAL COMMISSIONS - Solar Siting and Sustainable Land Use (2012). New Jersey, Recuperado de: <http://www.anjec.org/pdfs/SolarWhitePaper2012.pdf>*
- BRAKELS, R. (2013). UK Solar Costs Pounded – Largest Solar Farm One Pound Or \$1.59 Per Watt | CleanTechnica. Recuperado de: <http://cleantechica.com/2013/05/21/uk-solar-costs-pounded-largest-solar-farm-one-pound-or-1-59-per-watt/>*
- CASTELL MARCOS, EDURNE. SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco. Madrid, Recuperado de: http://oa.upm.es/14590/1/PFC_EDURNE_CASTELL_MARCOS.pdf*
- CONTRERAS, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Recuperado de: <http://www.eclac.org/ilpes/publicaciones/xml/6/34576/manual58.pdf>*
- DOMÍNGUEZ, J. Los Sistemas de Información Geográfica y las energías renovables - Introducción a los SIG aplicados al campo de las renovables. Recuperado de: <http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d758627/Introducci%C3%B3n%20a%20los%20SIG%20aplicados%20al%20campo%20de%20las%20renovables.pdf>*
- ECLAREON. (2013). Application note medium size pv plant. Recuperado de: http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/Cu0187_AN_Medium%20Size%20PV%20Plant_v1.pdf*
- FERNÁNDEZ, A. (2011). Método para localización óptima de centrales de energías renovables. Santiago de Chile, recuperado de: http://www.thesis.uchile.cl/thesis/uchile/2011/cf-fernandez_ar/pdfAmont/cf-fernandez_ar.pdf*
- HUNG, V. (2011). Propuesta metodológica de selección de emplazamientos viables para instalaciones de energía solar fotovoltaica: Lanzarote. Madrid, recuperado de: http://eprints.ucm.es/14433/1/Veronica_Propuesta_metodologica.pdf*

INSTITUTO PARA LAS ESTRATEGIAS AMBIENTALES GLOBALES (IGES). (2006). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del 2006. Recuperado de http://www.ipcc-nggipiges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). (2013) What are projected diesel fuel prices for 2013 and for 2014?. Recuperado de: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=31&t=9>

WHOLE SALE SOLAR - Grid tie Solar Panel Systems. Recuperado de: <http://www.wholesalesolar.com/gridtie.html>

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS FORESTALES EN EL BOSQUE DE UVERITO

Richard José Pérez Matos *

Dirección General de Energía Alternativa. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Caracas, Venezuela

RESUMEN.-

El análisis objeto de este artículo, trata sobre la factibilidad técnica y económica para el aprovechamiento energético de residuos forestales, está basado en estudios previos de cuantificación de residuos que considera escenarios de 50 mil y 80 mil toneladas al año. En todos los casos se demostró que es factible instalar centrales termoeléctricas o de cogeneración con potencias entre los 3,8 MWe y 8,8 MWe, con una TIR del orden del 14-18% suponiendo precio del diésel de 60 \$/barril y del orden del 30-35% a 100 \$/barril. Se obtienen unos periodos de retorno de la inversión cortos, del orden de 6 años suponiendo precio del diésel de 60 \$/barril y del orden de 3 años a 100 \$/barril.

Palabras clave: Aprovechamiento, Residuos Forestales, Biomasa, Plantas de Generación, Termoeléctricas, Cogeneración.

ENERGETIC USE OF FOREST WASTE IN UVERITO'S FOREST

ABSTRACT.-

The analysis object of this article, discusses the technical and economic feasibility for the energy use of forest residues, it's based on previous studies of quantification of waste considering scenarios of 50 thousand and 80 thousand tons per year. In all cases, it was demonstrated that it is feasible to install thermal power plants or cogeneration plants with electric power between 3.8 MWe to 8.8 MWe, with a "TIR" of the order of 14-18% assuming diesel price of 60\$/barrel and the order of 30-35% assuming price diesel 100 \$/barrel. With a low "PAY-BACK" obtained (20 years util life estimated), the order of 6 years assuming diesel price of 60\$/barrel and the order of 3 years assuming diesel price of 100\$/barrel.

Keywords: Biomass, Bioenergy, Forest Waste, Cogeneration, Thermal Power Plants.

*Autor por correspondencia

Correo-e: richardperezm@gmail.com (Richard José Pérez Matos)

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la biomasa es una fuente importante de energía primaria en el mundo, es la fuente de energía renovable más antigua, desde que nuestros ancestros descubrieron el

fuego. Alrededor de 60 países implementan programas para impulsar el desarrollo de la bioenergía.

Se estima un incremento en la contribución de este recurso a la satisfacción de la demanda



energética, debido al beneficio medioambiental que representa, ya que su aporte a los gases de efecto invernadero se califica como neutro.

El presente artículo resume un análisis técnico y económico realizado con el objetivo de estudiar la factibilidad de instalar una planta de aprovechamiento energético de residuos forestales, producto de la explotación de Pino Caribe de la empresa estatal Maderas del Orinoco (MDO) en el bosque de Uverito en el sur de estado Monagas, para la generación de energía eléctrica.

Hoy en día los residuos forestales representan un pasivo ambiental, el cual puede ser revalorizado empleándose como combustible para una central termoeléctrica o de cogeneración. El análisis parte de estudios de campo, de cuantificación y caracterización del recurso, realizados por la Dirección General de Energía Alternativa del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) en cooperación con MDO, La Universidad de los Andes y el Instituto Forestal Latinoamericano.

Se contemplan dos opciones para la utilización de la biomasa como recurso energético, ambas basadas en ciclos Rankine de vapor de agua:

- Instalación de una central termoeléctrica que sólo produciría energía eléctrica.
- Instalación de una central de cogeneración, para proporcionar a MDO toda la energía eléctrica y térmica para su funcionamiento y a la misma vez, energía excedente para el sistema eléctrico nacional (SEN).

LA SITUACION PROBLEMATICA

¿Es técnica y económicamente factible instalar una central de generación de energía eléctrica que aproveche los residuos forestales producto de la explotación de Pino Caribe en el bosque

de Uverito, satisfaciendo los requerimientos energéticos de la empresa MDO y exportando en excedente de energía eléctrica al SEN?

MATERIALES Y METODOS

Demandas Energeticas

Eléctrica

La demanda de energía eléctrica de la zona (Chaguaramas, estado Monagas) donde se prevé instalar la central es elevada, y se estima un crecimiento de la misma en los próximos años asociada al incremento de la actividad industrial (principalmente asociada al sector maderero).

En el caso de MDO la demanda energética total es de 1494 KVA distribuidos de la siguiente forma:

- Aserradero (Planta Industrial): 927 KVA
- Área Administrativa: 150 KVA
- Campamento Uverito: 150 KVA
- Campamento Chaguaramas: 167 KVA
- Campamento El Merey: 100 KVA

Térmica

MDO demanda energía térmica ya que utiliza en su aserradero vapor de agua para el secado forzado de la madera. Determinar esa demanda energética ha resultado ser compleja debido principalmente, a que en la actualidad se están instalando nuevos secaderos de madera y a futuro, se prevé la incorporación de nuevos secaderos asociados al Complejo Industrial Maderero Libertadores de América (CIMLA), que se ubicará en las inmediaciones de las instalaciones actuales.

Una vez que entren en funcionamiento los nuevos secaderos de madera (actualmente están construcción), las demandas térmicas del actual

aserradero de Chaguaramas expresadas en kilovatios térmicos (kWt) serán:

- Potencia instalada: 7.848 kWt
- Potencia media: 618 kWt
- Combustible actual: diésel
- Fluido térmico: vapor de agua saturado a una presión de 7 bar (absolutos)

Una vez puesto en funcionamiento el CIMLA, la demanda térmica se multiplicará aproximadamente por 5, teniendo una potencia media de 3.090 kWt.

Biomasa Residual Disponible

A partir de los estudios previos de evaluación de recursos, y tras las reuniones con los técnicos de MDO, CORPOELEC y el MPPEE se acordó contemplar dos escenarios muy conservadores de disponibilidad de recursos para la planta de aprovechamiento energético: un escenario de 50.000 y otro de 80.000 toneladas al año (t/año) de pino Caribe. (Yajure y Camacho, 2012), (Calderon y Pabón, 2012), (Calderon & Pabón, 2012) y (Espinoza, 2015).

Esta evaluación de recursos se basa en las siguientes hipótesis:

- Área de explotación anual: 10.000 hectáreas al año (ha/año)
- Edad de las plantaciones: 18 años (50.000 t/año) y 27 años (80.000 t/año)
- Solo se aprovechan los siguientes residuos:
 - Residuos en campo (categoría III) con diámetros comprendidos entre 1 y 3 cm (100%)
 - Residuos en campo (categoría II) con diámetros comprendidos entre 3 y 8 cm (70%, ya que los mayores a 8 cm se destinarán a la futura “Empresa de Pulpa y Papel, C.A” PULPACA hoy en etapa de construcción)

- Aserrín producido actualmente en el aserradero (100%)

En cuanto a las propiedades de la biomasa, puede destacarse:

- Humedad de los residuos: 36% en base húmeda (b.h)
- Poder calorífico inferior (PCI): 11.264 kJ/kg

Estos escenarios pueden considerarse como conservadores, ya que existen planes para aumentar el área de explotación anual, pudiendo llegar hasta 30.000 ha/año. En este sentido, para uno de los casos estudiados (COG2.4) que contempla la posibilidad de suministrar calor al futuro complejo CIMLA, se ha supuesto una biomasa residual disponible de 120.000 t/año. En cualquier caso, dada la importancia de la cuantificación de recursos en cualquier estudio de aprovechamiento energético de la biomasa, sería muy interesante precisar aún más la cantidad de recursos disponibles, mediante estudios de campo adicionales.

Por otra parte, existe una incertidumbre en el costo de los residuos de campo. A pesar de tratarse de un residuo sin otros usos actuales, su utilización supone unos costos asociados al acarreo hasta la planta de aprovechamiento energético. Estos costos no son fáciles de calcular debido a la falta de experiencia en el manejo de este tipo de residuos, por tal motivo se debe procurar un cálculo preciso mediante métodos conocidos. A pesar de la dificultad, para este análisis se ha supuesto un costo de la biomasa de 12 dólares la tonelada (\$/t) (acordado entre MDO, CORPOELEC y el MPPEE).

Alternativas Contempladas

En el análisis objeto de este artículo, se están contemplando dos alternativas para la

utilización energética de la biomasa, basadas ambas en ciclos de vapor de agua:

- Instalación de una central termoeléctrica.
- Instalación de una central de cogeneración, que proporcione a MDO toda la energía térmica que precisa para su funcionamiento (secaderos).

Cada una de estas opciones presenta a su vez varias posibilidades. Así, en el caso de la central termoeléctrica se tendrían configuraciones que incluyen desde un ciclo simple (solo con un desgasificador), hasta aquellas que adicionalmente disponen de varios calentadores cerrados (de alta o de baja presión). La experiencia, para plantas de estas características (combustible y tamaño), indica que las opciones más interesantes son las dos siguientes configuraciones:

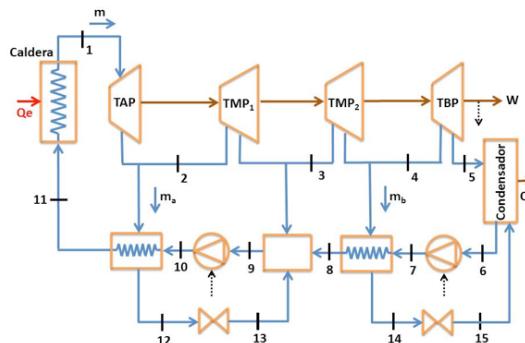
- Ciclo de vapor con un calentador cerrado de baja presión.
- Ciclo de vapor con dos calentadores cerrados (uno de baja y uno de alta presión).
- En cuanto a la planta de cogeneración, se proponen las siguientes opciones:
 - Cogeneración a contrapresión.
 - Cogeneración a condensación con extracción.

A continuación se describe cada una de estas opciones.

Central Termoeléctrica

La figura 1 muestra el esquema del ciclo de vapor de una central termoeléctrica con desgasificador y dos calentadores cerrados (uno de alta presión y otro de baja presión). Las otras dos configuraciones (con solo un calentador de baja y sin ninguno calentador) se pueden obtener haciendo que no existan las correspondientes extracciones. Así, en el ciclo

con un solo calentador de baja presión, el flujo ma es cero y los estados 10 y 11 coinciden. En el caso de no haber ningún calentador cerrado, adicionalmente el flujo mb es cero y los estados 7 y 8 también coinciden.



TAP: Turbina de alta presión. TMP₁: Turbina de media presión 1.

TBP: Turbina de baja presión. TMP₂: Turbina de media presión 2.

Q_e: Calor entregado W: Potencia eléctrica neta Q_s: Calor residual

Figura 1. Esquema del ciclo de vapor de la central termoeléctrica con dos calentadores cerrados

Se analizaron seis casos de centrales termoeléctricas (CT), dependiendo del número de calentadores de su ciclo de vapor y de la biomasa disponible (50.000 o 80.000 t/año): un ciclo de vapor simple (CT1.1 y CT1.2), dos ciclos de vapor con un calentador cerrado de baja presión (CT2.1 y CT2.2) y dos ciclos de vapor con dos calentadores cerrados (CT3.1 y CT3.2). Los principales datos de partida, basados en experiencias similares, utilizados en el análisis de cada una de ellas se muestran en la tabla 1.

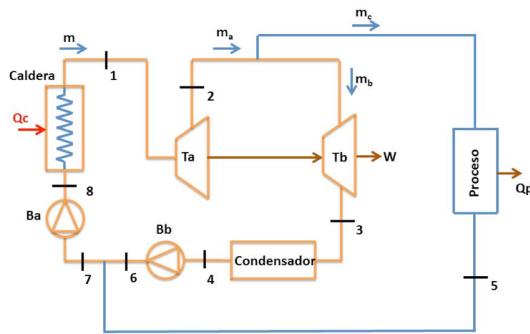
Tabla 1. Principales datos de cada una de las centrales termoeléctricas analizadas

Unidades	CT1.1	CT1.2	CT2.1	CT2.2	CT3.1	CT3.2
Cantidad de biomasa	t/año	50000	80000	50000	80000	50000
Tiempo funcionamiento	horas/año	8000	8000	8000	8000	8000
Autoconsumos	%	14	14	13	13	12
P ₁	bar	45	45	80	80	90
T ₁	°C	420	420	480	480	500
P condensador	bar	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rendimiento isoentrópico TAP y TBP	%	65	65	70	70	75
Rendimiento isoentrópico TMP ₁ y MP ₂	%	70	70	80	80	85
Rendimiento caldera (PCI)	%	85	85	90	90	90
Rendimiento generador	%	95	95	96	96	97
Nº calentadores de baja		0	0	1	1	1
Nº calentadores de alta		0	0	0	1	1

- CT1.1: Ciclo de vapor simple y 50 mil t/año de residuos
- CT1.2: Ciclo de vapor simple y 80 mil t/año de residuos
- CT2.1: Ciclo de vapor con un calentador cerrado y 50 mil t/año de residuos
- CT2.2: Ciclo de vapor con un calentador cerrado y 80 mil t/año de residuos
- CT3.1: Ciclo de vapor con dos calentadores cerrados y 50 mil t/año de residuos
- CT3.2: Ciclo de vapor con dos calentadores cerrados y 80 mil t/año de residuos

Planta de Cogeneración

La figura 2 muestra el esquema del ciclo de vapor de una planta de cogeneración a condensación con extracción. La planta además de producir energía eléctrica, suministraría calor a los secaderos actuales y futuros de MDO. Estos secaderos utilizan vapor de agua saturado a una presión de 7 bar, producido actualmente mediante combustión de diesel. Con la planta de cogeneración se seguirían alimentando el proceso con vapor en las mismas condiciones, pero sin la necesidad de consumir combustibles fósiles.



Ta: Turbina de alta presión. Tb: Turbina de baja presión.

Q_c: Calor entregado

Q_p: Calor de proceso

Figura 2. Esquema del ciclo de vapor de una planta de cogeneración a condensación con extracción

Se analizaron cuatro posibles configuraciones de centrales de cogeneración (COG):

- COG2.1, suponiendo el consumo térmico actual para proceso (618 kWt de media) y una cantidad de biomasa de 50.000 t/año.
- COG2.2, suponiendo el consumo térmico actual para proceso (618 kWt de media) y una cantidad de biomasa de 80.000 t/año.
- COG2.3, suponiendo el consumo térmico futuro para proceso (3.090 kWt de media) y una cantidad de biomasa de 80.000 t/año.
- COG2.4, suponiendo el consumo térmico futuro para proceso (3.090 kWt de media) y una cantidad de biomasa de 120.000 t/año.

Los principales datos de partida de estas configuraciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales datos de partida de cada una de las plantas de cogeneración a condensación con extracción analizadas.

	Unidades	COG 2.1	COG 2.2	COG 2.3	COG 2.4
Cantidad de biomasa	t/año	50000	80000	80000	120000
Tiempo funcionamiento	horas/año	8000	8000	8000	8000
Autoconsumos	%	13	13	13	13
Calor de proceso	kWt	618	618	3090	3090
P proceso	bar	7	7	7	7
T proceso	°C	170	170	170	170
P1	bar	80	80	80	80
T1	°C	416	416	416	416
P condensador	bar	0,1	0,1	0,1	0,1
Rendimiento isoentrópico T1	%	75	75	75	75
Rendimiento isoentrópico T2	%	75	75	75	75
Rendimiento caldera (PCI)	%	90	90	90	90
Rendimiento generador	%	96	96	96	96

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Datos Generales Usados en el Análisis Económico

En todos los casos analizados, se han considerado los datos económicos que se muestran en la tabla 3.

Hay que destacar que para el estudio económico se ha calculado el beneficio de la producción de electricidad (centrales termoeléctricas

y cogeneración) y de la energía térmica (cogeneración) como el asociado al ahorro de diesel que se logra en cada alternativa, valorado este combustible fósil a precio de mercado internacional (se han considerado dos escenarios, precios de 60 y 100 \$/barril).

Tabla 3. Datos generales utilizados en el estudio económico.

	Cogeneración	Central termoeléctrica
Precio de la biomasa	\$/t	12
Precio del Diesel (exportación)	\$/kWh	60/100
Costes de operación y mantenimiento	c\$/kW	0,65 1,3
Exigencia al capital propio	%	12
Exigencia al capital propio (corregida por la inflación)	%	15,36
Periodo de amortización (capital y equipos)	Años	10
Vida útil	Años	20
Porcentaje de fondos propios	%	100
Inflación (compra biomasa)	%	8
Inflación (venta diesel)	%	3

Central Termoeléctrica

Los principales resultados del análisis técnico y económico de los seis casos de centrales termoeléctricas estudiadas se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. : Principales resultados del análisis técnico y económico de los seis casos de centrales termoeléctricas estudiadas.

	Unidades	CT1.1	CT1.2	CT2.1	CT2.2	CT3.1	CT3.2
ANÁLISIS TÉCNICO							
Potencia	kWe	3785	6056	4950	7904	5492	8788
Rendimiento eléctrico (sobre PCI)	%	19,35	19,35	25,26	25,26	28,09	28,09
Ahorro diesel	Barril/año	53323	85317	69736	111352	77372	123806
ANALISIS ECONOMICO							
Inversión	M\$	14,555	21,571	20,125	29,826	23,616	34,999
Caso 1 Precio diesel: 60 \$/barril	M\$/año	2,206	3,529	3,069	4,899	3,471	5,554
Beneficio	M\$/año	13,7	15,1	14,5	15,9	14,1	15,5
TIR	%	-1,242	-0,270	-0,877	0,890	-1,606	0,221
VAN	M \$						
PAY-BACK	Nº años	6,5	6,0	6,4	5,9	6,6	6,1
Caso 1. Precio diesel: 100 \$/barril	M\$/año	4,339	6,942	5,859	9,353	6,566	10,507
Beneficio	M\$/año	31,2	33,7	30,7	33,1	29,5	31,8
TIR	%						
VAN	M \$	14,226	24,478	19,352	33,191	20,838	36,134
PAY-BACK	Nº años	3,3	3,0	3,4	3,1	3,5	3,3

De estos resultados puede destacarse lo siguiente:

- Las potencias varían entre los 3,8 MWe

y los 8,8 MWe, que serían capacidades de generación adecuadas para una central termoeléctrica de biomasa.

En cuanto a los resultados económicos:

- En todos los casos se obtiene un tasa interna de retorno (TIR) elevada:
 - ✓ Del orden del 14-15% considerando un precio del diésel de 60 \$/barril
 - ✓ Del orden del 30-33% considerando un precio del diésel de 100 \$/barril
- En todos los casos se obtienen unos periodos de retorno de la inversión cortos, para una planta cuya vida útil se estima en al menos 20 años:
 - ✓ Del orden de 6 años considerando un precio del diésel de 60 \$/barril
 - ✓ Del orden de 3 años considerando un precio del diésel de 100 \$/barril
- En todos los casos se obtienen unos ahorros de diésel interesantes en el orden de los 53323 Barril/año a los 123806 Barril/año.
- En cuanto al Valor Actual Neto (VAN) negativo de algunas opciones cuando se considera un precio del diésel de 60 \$/barril, se debe a que el TIR es inferior a la tasa de descuento (15,36%) que resulta de suponer una exigencia al capital propio del 12% y tener en cuenta la inflación.

Aunque en la elección de una planta se debe tener en cuenta criterios adicionales a los económicos, en este caso resulta más obvio, ya que los resultados del análisis económico con respecto a la TIR y el periodo de retorno de la inversión son muy similares. Así, la potencia eléctrica o el ahorro de diésel deben ser considerados para seleccionar la planta más adecuada.

Planta de Cogeneración

Los principales resultados del análisis técnico y económico de los cuatro casos de cogeneración a condensación con extracción estudiados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Principales resultados del análisis técnico y económico de los cuatro casos de cogeneración a condensación con extracción estudiados.

	Unidades	COG 2.1	COG 2.2	COG 2.3	COG 2.4
ANÁLISIS TÉCNICO					
Potencia	kWe	4237	6830	6494	9950
Ahorro diesel	Barril/año	63213	99743	95010	143698
ANÁLISIS ECONÓMICO					
Inversión	M\$	18,195	27,044	26,657	37,713
Caso 1. Precio diesel: 60 \$/barril					
Beneficio	M\$/año	2,972	4,669	4,403	6,664
TIR	%	16,5	17,5	16,5	17,9
VAN	M\$	1,146	3,267	1,768	5,331
PAY-BACK	Nº años	5,9	5,6	5,9	5,5
Caso 1. Precio diesel: 100 \$/barril					
Beneficio	M\$/año	5,501	8,659	8,203	12,412
TIR	%	32,2	34,0	32,7	34,8
VAN	M\$	19,483	32,200	29,328	47,015
PAY-BACK	Nº años	3,2	3,1	3,2	3,0

Los resultados en los casos de cogeneración son similares a los obtenidos en las centrales termoeléctricas:

- Las potencias varían entre los 4,2 MWe y los 6,4 MWe al considerar entre 50.000 y 80.000 t/año de biomasa, pudiendo llegar a los 10 MWe en el caso de tener 120.000 t/año disponibles.

En cuanto a los resultados económicos:

- En todos los casos se obtienen TIR elevadas y similares a las de las centrales termoeléctricas:
 - ✓ Del orden del 16-18% considerando un precio del diésel de \$/barril.
 - ✓ Del orden del 32-35% considerando un precio del diésel de 100 \$/barril.
- En todos los casos se obtienen unos periodos de retorno de la inversión cortos, para una

planta cuya vida útil se estima en al menos 20 años:

- ✓ Del orden de 6 años considerando un precio del diésel de 60 \$/barril.
- ✓ Del orden de 3 años considerando un precio del diésel de 100 \$/barril.

- En todos los casos se obtienen unos ahorros de diésel interesantes en el orden de los 63213 Barril/año a los 143698 Barril/año.
- El VAN obtenido no es negativo aunque se considere un precio del diésel de 60 \$/barril.

Los criterios de selección de la instalación idónea, realizados en el caso de una central termoeléctrica, son válidos para las plantas de cogeneración.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis presentado, Maderas del Orinoco, C.A., presenta un gran potencial como emplazamiento para la instalación de una planta de aprovechamiento energético de biomasa, debido principalmente a la alta cantidad de residuos forestales disponibles, de difícil uso en otras aplicaciones, y a la existencia de una demanda creciente de energía eléctrica en la zona.

Además, existe la posibilidad de producir energía térmica para sustituir el actual y futuro uso de diésel para los secaderos de madera, mediante una planta de cogeneración.

Los importantes ahorros de diésel que suponen las diez plantas analizadas (seis centrales termoeléctricas y cuatro plantas de cogeneración) hacen que todas ellas sean interesantes desde un punto de vista económico. De tal manera que la selección de una u otra opción, deberá estar fundamentada en otros criterios, como son la

potencia eléctrica y térmica, la generación de fuentes de empleo, menor emisión de gases de efecto invernadero, etc.

No obstante, todavía quedan tres importantes aspectos pendientes que deben ser tomados en cuenta para obtener conclusiones definitivas:

- Es importante ajustar aún más la cantidad de recursos disponibles, mediante estudios de campo adicionales.
- Es necesario estimar con mayor precisión el costo de los residuos forestales de campo (recogida y transporte al aserradero).
- Una vez seleccionadas una o dos plantas, debe realizarse un estudio de factibilidad completo, con datos de partida más ajustados.

En cuanto al tema de ajustar aún más la cantidad de residuos forestales disponibles en el campo, se tendría que resaltar lo siguiente:

- Es muy importante realizar estudios de cuantificación de residuos forestales por el método de destrucción de individuos¹, se hace necesario analizar plantaciones con tres edades diferentes, pudiéndose considerar el análisis de las edades de 15 años, 18 años y 21 años. En tal sentido, el procedimiento de análisis ideal para cada edad se basaría en seleccionar seis rodales diferentes por cada edad considerada, en los cuales se efectuará el método de destrucción de individuos desarrollado por (Hernández & Hernández, 2015) analizando un número aproximado de 50 individuos por rodal, para un total de 900 individuos, considerando las tres edades a estudiar.
- Adicionalmente sería muy importante repetir el método de cuantificación de residuos forestales post aprovechamiento

aplicado por (Espinoza, 2015) en su investigación, el cual se desarrollaría también en tres edades diferentes pudiéndose considerar las edades de 15 años, 18 años y 21 años. Para cada una de ellas sería necesario estudiar tres rodales en diferentes, con lo cual se obtendrían las ecuaciones de regresión para estimar la cantidad de biomasa residual producida por cada edad.

Por último se puede concluir que es factible instalar una planta de aprovechamiento energético de residuos forestales en Chaguaramas Estado Monagas, los resultados de los análisis técnicos y económicos así lo reflejan. Sería una solución al problema de la disposición final de los residuos por parte de la empresa MDO que actualmente son incinerados al aire libre y preparar el terreno para la siembra de nuevas plantaciones, a su vez este tipo de proyectos conllevaría una serie de beneficios socio-económicos de al alto impacto a la población tales como generación de empleos, mejora de la calidad del servicio eléctrico, ahorro en emisiones de gases de efecto invernadero, desarrollo industrial de la zona, etc.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a las instituciones involucradas en esta investigación Maderas del Orinoco C.A., Centro de Investigación de Recursos Energéticos (CIRCE-ESPAÑA), La Universidad de los Andes, La Corporación Eléctrica Nacional y el Instituto Forestal Latinoamericano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CALDERON, R., y PABON, M. (2012). Estimación de la Biomasa de Residuos Post-Aprovechamiento Manual en una Plantación de Pinus Caribaea Var. Hondurensis de 27 Años en la Empresa MAT-PROFORCA, MONAGAS, VENEZUELA. Merida:

¹ Método que consiste en procesar un árbol para estimar la cantidad de residuos que produce.

ULA.

ESPINOZA, C. (2015). Cuantificación de Residuos de Biomasa de Pinus Caribaea Morelet var. Hondurensis W.H Barret & Golfari en Plantaciones de 26 años en la Empresa Maderas del Orinoco, Estado Monagas, Venezuela. Merida: ULA.

HERNÁNDEZ, K., y HERNÁNDEZ, A. (2015). Cuantificación de la Biomasa Residual en Plantaciones de 15 años

de Pino Caribe (Pinus Caribaea var. Hondurensis) Ubicadas en la Empresa “Maderas del Orinoco C.A.” al Sur del Estado Monagas, para el Ajuste de Ecuaciones de Regresión. Merida: ULA.

YAJURE, Y. C., y CAMACHO, J. A. (2012). Cuantificación de Residuos de Biomasa de Pinus Caribaea var. Morelet Hondurensis W.H Barret & Golfari en Plantaciones de 27 de la Empresa Productos Forestales de Oriente (MAT-PROFORCA), Estado Monagas, Venezuela. Merida: ULA.

ASPECTOS HUMANOS EN EL DESEMPEÑO DE PROCESOS FUNCIONALES DEL PERSONAL. CASO: DIVISIÓN DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE GENERACIÓN - CORPOELEC

Cruz Viera *

División Nacional de Gestión Administrativa, Gerencia de Generación, Corpoelec, Caracas, Venezuela; www.corpoelec.gob.ve

RESUMEN.-

Se realizó un diagnóstico, desde el punto de vista sistémico, para conocer aspectos internos y externos que afectan el tiempo efectivo de trabajo del personal, teniendo en cuenta múltiples criterios que consideran factores neuronales, psicológicos, físicos y socio-organizacionales. Se usaron técnicas de confiabilidad humana, gerencia de la incertidumbre y proceso analítico jerárquico. Se encontró que la probabilidad de detener el proceso funcional era de 92%, y que un grupo de 10 personas funcionaba como uno de 4.

Palabras clave: confiabilidad humana, multiples criterios, incertidumbre.

“HUMAN ASPECTS IN THE PERFORMANCE OF PERSONAL FUNCTIONAL PROCESSES. CASE: DIVISION OF ADMINISTRATIVE MANAGEMENT OF GENERATION - CORPOELEC”

ABSTRACT.-

A diagnosis was made, from the systemic point of view, to meet internal and external issues affecting the effective working time staff, considering multiple criteria to consider neural, psychological, physical and socio-organizational factors. Human reliability techniques, management of uncertainty and analytic hierarchy process is used. It was found that the probability of stopping the functional process was 92%, and the group of 10 people working as a 4.

Keywords: human reliability, multicriteria, uncertainty.

*Autor por correspondencia

Correo-e: cjviera@corpoelec.gob.ve, vieracruz@gmail.com (Cruz Viera)

INTRODUCCIÓN

En el año 2013, bajo el código UR-12-171, se presentó en el I Congreso Venezolano de uso racional y eficiente de la energía renovable,

el artículo “Análisis Cuantitativo de Riesgo Asociado al Tiempo Total de Tramitación de Expedientes de Desembolso en los Procesos Administrativos de Generación”, el cual indicaba parte de los esfuerzos que realizaba la



Gerencia de Generación a través de su equipo administrativo para aumentar la efectividad de los servicios ofrecidos, encontrándose como aspectos positivos que el riesgo de destruir valor era del 10.9%, lo cual era tres veces menor comparado con el año 2012. Por otro lado se demostró que el aporte porcentual de afectación del equipo al tiempo total de tramitación de CORPOELEC tenía un valor medio del 6%, lo que comparado con el año 2011 (47,2%) se había reducido en aproximadamente 8 veces. Entre los aspectos mejorables, razón que ha impulsado el presente estudio, se encontró que la mayor dispersión del modelo no tenía relación con el tipo de financiamiento sino con el analista, así mismo, el 77% de las objeciones de los expedientes analizados, tenían que ver mas con fallas humanas, que con falta de recursos financieros. Para la reducción de los tiempos, se intervinieron las desviaciones humanas, usando el modelo del “error humano” de Reason (1997, 2001 y 2002), relacionado al enfoque en las personas y focalizado en los actos inseguros (errores y violaciones de procedimientos); trabajando como contramedida, la revisión y realización de procedimientos, así como las medidas disciplinarias. El análisis realizado, arrojó que aunque se bajó el riego, se estaba dos veces por encima del valor tolerado por la organización, En ese sentido, siguiendo a Labrador y Fernandez en seminario de confiabilidad humana: “Del Riesgo a la Seguridad”; Año 2015; Maracaibo: si se quiere seguir hacia la mejora continua es necesario revisar el recurso humano en su totalidad y en su contexto (enfoque sistémico), es decir, sus aspectos internos relacionados al conocimiento, experticia y motivación, aspectos psicológicos; y los externos, como los físicos (ergonomía física y cognitiva) y socio organizacionales. Para ello es necesaria la integración de metodologías existentes y propias (constructos mentales) que permitan una instancia de verificación para evaluar al personal y conocer su avance o

estancamiento, como su afectación al proceso productivo.

Por otro lado (Yañez, Gomez De La Vega, Semeco y Nucette, 2012), Definen el término “Confiabilidad Humana” como la probabilidad que una persona desempeñe correctamente una actividad dada en un sistema, durante un periodo de tiempo determinado (si el tiempo es un factor limitante) sin ejecutar alguna actividad fuera de lo normal que pueda degradar el sistema.

Con base en ello, se enfocó el estudio en observar el tiempo que las personas usaban para realizar las tareas y que factores hacían que se modificara la duración del proceso funcional y por tanto la obtención del producto requerido.

Según Reason (1997, 2001 y 2002), Labrador, Fernandez, Yanez y Chacón (2015), se conoce teóricamente en los estudios de confiabilidad en general, que el análisis de las fallas de un sistema implica considerar que entre el 70% y 90% de sus causas son de origen humano (deficiente toma de decisiones, omisión, acometimiento y transgresiones), de allí que vigilar de cerca el componente humano en el contexto operacional y administrativo de los procesos garantiza adelantarse a posibles eventos desafortunados para su mitigación a valores tolerables o bloqueo.

EL PROBLEMA

En el equipo administrativo se presentan las siguientes situaciones que justifican el estudio:

- Afectación recurrente del ambiente de trabajo debido la inhabilidad del equipo en el manejo de las relaciones interpersonales y de conflictos.
- Deficiente calidad de los productos relacionados a controles de erogación y certificación financiera.

- Reclamos de los centros de generación debido al tiempo de procesamiento de las certificaciones financieras.
- La información sobre los estatus de pagos. No se entregan en los tiempos y con la calidad requerida.

MATERIALES Y MÉTODOS

1.- Medición de factores predominantes que inducen a no ejecutar las tareas a tiempo.

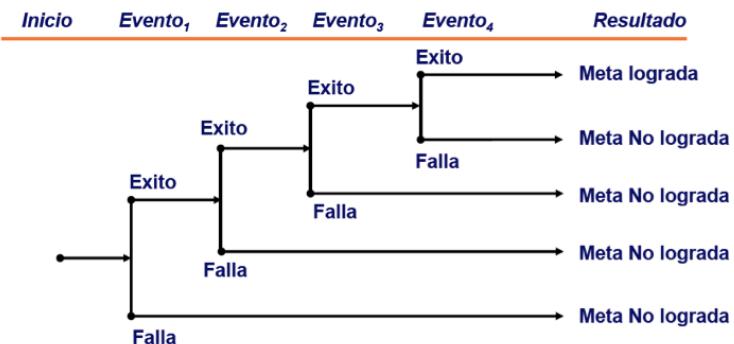
Se trabajó siguiendo a (Labrador, 2012). Se capturaron datos del personal sin que lo advirtieran en el lapso del 19/03/15 al 15/06/15 (26 días), a través de una planilla que registraba lo que afectaba la realización de las tareas, relacionado a los siguientes factores:

- Intrínseca a los mecanismos internos de los individuos: saber, ser capaz y querer.

- Conjunto de personas cuyas relaciones afectan positiva o negativamente el desempeño del proceso de manera directa o indirecta: Liderazgo, roles claros, estructura organizacional, normas y procedimientos, cohesión del grupo.
- Rasgos valorativos y robustez intrínseca de la organización: Compromiso del individuo con la imagen corporativa, compromiso del individuo con la cultura organizacional, compromiso del individuo con el ambiente, compromiso del individuo con el entorno social de Corpoelec.

2.- Probabilidad de detener la actividad debido a factores externos e internos a través del árbol de eventos. Metodología tomada de Labrador, Fernandez, Yanez y Chacón (2015).

Representación simplificada de un árbol de eventos



$$P_{\text{exito}} = P_e = P_{e_evento1} * P_{e_evento2} * P_{e_evento3} * P_{e_evento4}$$

$$P_{\text{falla}} = P_f = P_{f_evento1} + P_{e_evento1} * P_{f_evento2} + P_{e_evento1} * P_{e_evento2} * P_{f_evento3} \\ + P_{e_evento1} * P_{e_evento2} * P_{e_evento3} + P_{f_evento4}$$

Figura 1. Árbol de eventos

3.- Ejercicio de Interacción Social.

Según (Moreno, 2009), La Sociometría la definen como el estudio de la evolución de los grupos y de la posición que en ellos ocupan los individuos, prescindiendo del problema de la

estructura interna de cada individuo.

Para conocer la estructura social interna se confeccionaron 12 preguntas para medir el grado de aceptación y rechazos que existía, evaluando criterios lúdicos – afectivos y así determinar

lo afectivo privado y personal, en ese mismo orden, existían preguntas con criterios trabajo - efectividad, para ver lo colectivo funcional y organizacional.

Ésto permitió determinar las diadas que existen en el grupo así como el número de nominaciones de aceptaciones y rechazos de cada persona.

- Nomin Efectivas-Lúdicas.
- Nomin de Trabajo.

4.- Perfil Estocástico de Variables Asociadas al Tiempo de Trabajo

Se diseñó una planilla de asistencia que se firmaba en la entrada y la salida e indicaba

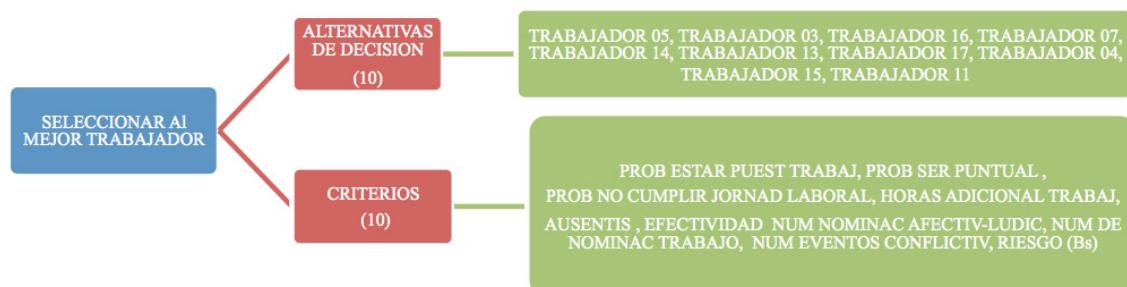


Figura 2. Metodología a utilizar

Metodología para caracterizar variables aleatorias.

- a.- Elección de Sistema.
- b.- Captura del dato.
- c.- Procesamiento del dato.
 - Cuantificación de la incertidumbre asociada a variables de entrada.
 - Propagación de la incertidumbre asociada a cada variable el modelo matemático.
 - Cuantificación de la incertidumbre asociada a variables de salida.
- d.- Análisis y tendencias.
- e.- Conclusiones.

cualquier eventualidad que se le presentaba relacionado a su permanencia en el puesto de trabajo

- Probabilidad de estar en puesto de trabajo.
- Probabilidad de ser puntual.
- Probabilidad de cumplir la jornada laboral.
- Horas adicionales trabajadas.
- Ausentismo.
- Riesgo asociado al tiempo perdido (expresado en Bs.)

5.- Estimación de la Efectividad por Opinión de Experto.

Se evaluó usando la técnica de elicitation de experto, con el personal supervisorio caracterizando con la función Beta Pert, para la obtención de la efectividad en dos lapsos: Marzo - Junio y Septiembre - Octubre.

6.- Proceso Analítico Jerárquico.

Se utilizó la técnica de evaluación de multicriterios para determinar en qué orden jerárquico se tenía caracterizado el personal de acuerdo a todas las variables. (Roche y Vejo, 2005).

METODOLOGÍA

1. Descomponer el problema de decisión en jerarquía de elementos interrelacionados.
2. Desarrollar matriz de comparación por pares (MCP).
3. Desarrollar matriz normalizada (MCN).
4. Desarrollar Vector de prioridad para el Criterio.
5. Calcular cociente de consistencia (RC).
6. Desarrollar matriz de prioridad (MP).
7. Desarrollar matriz de comparación por criterios.
8. Desarrollar vector de prioridad global.

ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

En el análisis sociométrico se determinó que en el aspecto de aceptación en la relación lúdica-afectiva, los psicogrupos formaron 3 diadas,

y cada persona tiene una tendencia promedio de ser nominado por dos trabajadores, y en el aspecto de trabajo - efectividad los sociogrupos no se formaron diadas y cada persona tiene una tendencia promedio a ser nominada por un trabajador. Un 25% de los participantes fueron aislados por el grupo en general en el aspecto efectivo y personal y un 30% en el aspecto organizacional y funcional.

Por otro lado en el aspecto de rechazos se puede afirmar que en promedio en el aspecto efectivo y personal cada trabajador recibe un rechazo de al menos dos personas del grupo y en el aspecto funcional de al menos una persona, en este último se formó una diada. El 76% de los rechazos del aspecto afectivo lúdico recaen en tres trabajadores y en el aspecto trabajo efectividad el 82% recae en los mismo trabajadores.

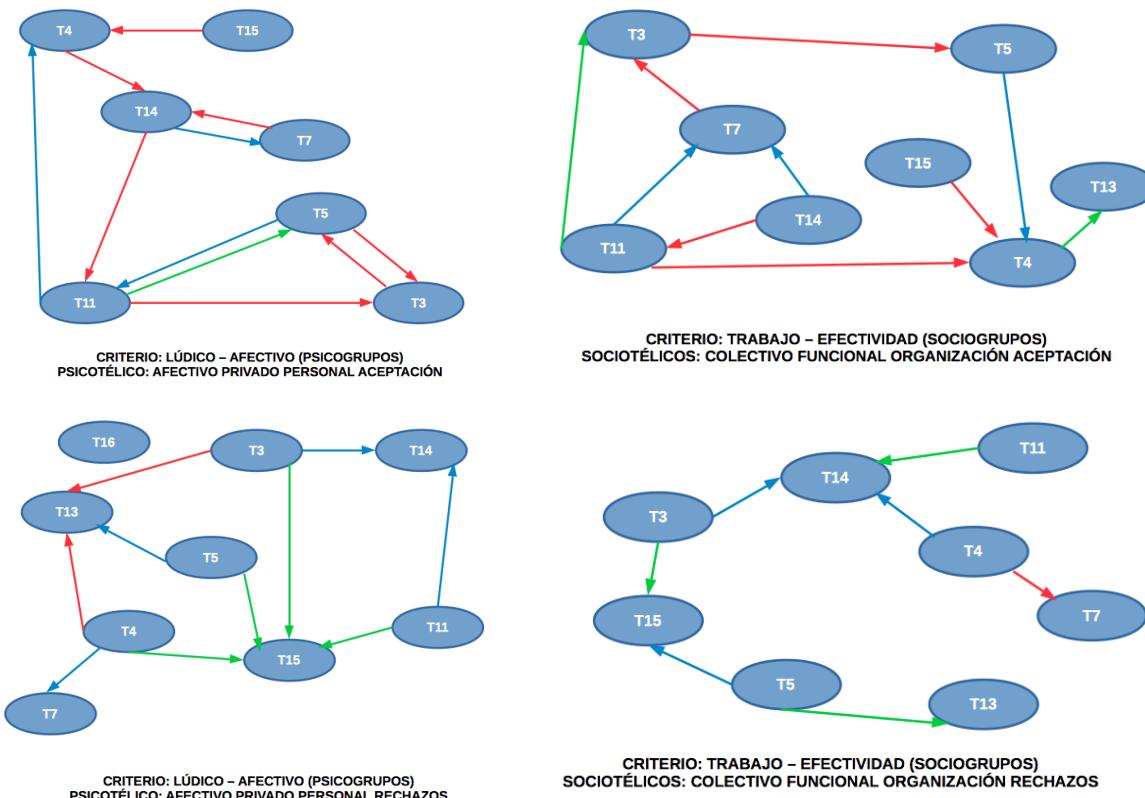


Figura 3. Diagrama de Interacción Social

En relación a los eventos encontrados que detenían el proceso productivo, al considerar todo el grupo, se encontró que respecto a los factores influyentes que afectan la conducta del individuo el 29% de las quejas encontradas que hacían que el personal no continuara con la actividad estaba relacionado con el saber, el 40% con el ser capaz y 31% con el querer. En ese mismo sentido se encontró que al ver las interrelaciones del conjunto y de cómo estas afectan el desempeño, el liderazgo afecta en un 24%, la claridad de roles en 23%, la estructura

organizacional con un 0%, las normas y procedimiento en un 30% y la cohesión con grupo en un 23%. Finalmente en lo que se refiere a los rasgos valorativos y la robustez intrínseca de la organización, se encontró que en el 56% correspondía al compromiso individuo con imagen corporativa, el 44% al compromiso individuo con cultura organizacional, así mismo el compromiso individuo con ambiente y compromiso individuo con entorno social de CORPOELEC fueron indiferentes para el personal.

Tabla 1. Probabilidad de afectar el proceso lapso (19/03/2015 al 09/06/2015)

DESCRIPCION	MECANISMOS INTERNOS			INTERACCION GRUPAL					ASPECTOS ORGANIZATIVOS			
	SABER	SER CAPAZ	QUERER	LIDERAZGO	ROLES CLAROS	ESTRUCT ORGANIZ	NORMAS Y PROCED	COHESI DEL GRUPO	INDIVIDUO CON IMAGEN CORPORAT	INDIVIDUO CON CULTURA ORGANIZ	INDIVIDUO CON AMBIENTE	INDIVIDUO CON ENTORNO SOCIAL
CANT EVENTOS NEGATIVOS	23	31	24	11	11	1	14	11	5	4	0	0
CANT EVENTOS ESTUDIADOS	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
PROB DE NO DETENER PROCESO POR CADA ASPECTOS ESPECIFICO	64%	52%	63%	83%	83%	98%	78%	83%	92%	94%	100%	100%
PROB DE NO DETENER PROCESO POR CADA ASPECTOS GENERAL	21%			44%					86%			
PROB DE NO DETENER PROCESO CONSIDERANDO TODO	8%											

Tabla 2. Eventos de la trabajadora T5 asociado a la aptitud: no sabe

EVENTOS	ACCION	BENEFICIOS
DUDAS EN LOS FUNDAMENTOS DE LO QUE ESTABA REALIZANDO DE GESTION DEL DATO, CONTROLES DE EROGACION	ENTRENAMIENTO EN EL MANEJO DE LA BASE DE DATOS PARA REPASAR LOS ASPECTOS CONCEPTUALES Y CONOCER LAS DIFERENTES CASUISTICAS	
NO SABIA EL QUE, EL PARA QUE Y EL PORQUE DE LA ACTIVIDAD.	INDUCION SOBRE LAS DEMAS SUBPROCESOS PARA MEJORAR NEXOS POSITIVOS CON EL EQUIPO Y NUTRIR E INTEGRAR SUS CONOCIMIENTO	
NO CONOCE SUS INDICADORES NI COMO CALCULARLOS, QUE HACER EN CASOS DE LINEAS DUPLICADA, DESVIACIONES EN LA DATA DE FINANZAS CORPORATIVA, CUANDO HAY ANULACIONES, FACTURAS POR EMERGENCIA	ARTICULAR CURSO CON LAS UNIDADES OPERATIVAS PARA QUE DICTEN CHARLAS ACERCA DE EL PROCESO DE GENERACION DE ENERGIA	CONOCER Y COMPRENDER LOS RIESGOS ASOCIADOS Y CUALES SON LAS ACCIONES DE MITIGACION NECESARIAS EN CASO DE DESVIACIONES.
LA VINCULACION DE LA BASE DE DATOS CON LOS DEMAS SUBPROCESOS, NO CONOCIA LAS ZONAS QUE ATIENDE CORPOELEC, ASI COMO LAS PLANTAS QUE LA CONFORMAN,		

Tabla 3. Eventos de la trabajadora T5 asociado a la aptitud: no puede

EVENTOS	ACCION	BENEFICIOS
NO ESTABA CAPACITADA EN EL COMO HACER LA CARGA Y MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS, ASI COMO VISUALIZACIONES Y NAVEGACION DEL MODULO MM DE SAP	ENTRENAMIENTO PARA DESARROLLAR LAS HABILIDADES, DESTREZAS Y PERICIAS EN EL MODULO DE MM DE SAP.	
NO CUENTA CON HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA SU ACTIVIDAD TALES COMO: LENTES (PROBLEMAS VISUALES), MATERIALES Y EQUIPOS DE OFICINA. IMPRESORA DAÑADA.	DOTACION LENTES Y PAPELERIA DE OFICINA ENTREGA DE PROCEDIMIENTO DE MANEJO Y MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS. SOLICITAR LA INCORPORACION DE ROLES DE MM EN SAP	CREAR COMPETENCIAS TEORICAS Y PRACTICAS, BAJO LA METODOLOGIA APRENDER HACIENDO Y EJERCER ASI LA EJECUCION DE LA ACTIVIDAD CON CALIDAD, PRECISIÓN Y SEGURIDAD
NO CONTABA CON LOS PROCEDIMIENTO ASOCIADOS AL MANEJO Y MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.	SOLICITAR EL MANTENIMIENTO INMEDIATO PARA SU ACTIVACION DE LA IMPRESORA ASI, COMO LA CREACION EN SAP DE LA MISMA	
SIN EL PERFIL NI ROLES NECESARIOS EN SAP PARA REALIZAR SUS OPERACIONES		

Tabla 4. Eventos de la trabajadora T5 asociado a la actitud: no quiere

EVENTOS	ACCION	BENEFICIOS
SUCIEDAD Y ESTADO DEPLORABLE DE LOS BAÑOS, AMBIENTE DE TRABAJO TENSO POR DISPUTAS INTERNAS Y POR PRESENCIA DE PERSONAS AJENAS AL EQUIPO, ASI COMO LA MODIFICACION DE LA BASE DE DATO DE MANERA INCONSULTA	SOLICITAR LA LIMPIEZA Y ARREGLO DE BAÑOS Y ESPACIOS COMUNES GENERAR UN PROCEDIMIENTO PARA PERMITIR LA MODIFICACION DE MANERA EXCEPCIONAL DE LA BASE DATO POR PARTE DE LA GERENCIA CURSO QUE FORTALEZCAN LAS HABILIDADES INTERPERSONALES DEL GRUPO Y CURSO DE MANEJO DE CONFLICTOS	AUMENTAR LA MOTIVACION DEL PERSONAL(SATISFACCION DE NECESIDADES HOMEOSTATICAS Y SUPERIORES DEL SER)

Tabla 5. Eventos de la trabajadora T5 asociado a lo factores externo

EVENTO	ACCION	BENEFICIOS
CONFUSION DE ROLES. REALIZANDO TAREAS ASOCIADAS A OTROS PROCESOS.	GENERAR LOS PROCEDIMIENTO NECESARIOS DE FORMA ESCRITA SOBRE LA CARGA Y MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS	
NO ESTAN ADECUADAS TODAS LAS NORMAS Y PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS DE TRABAJO ASOCIADO A LA BASE DE DATOS	CURSO QUE FORTALEZCAN LAS HABILIDADES INTERPERSONALES DEL GRUPO Y CURSO DE MANEJO DE CONFLICTOS	MITIGACION DE FACTORES OCIOORGANIZACIONALES Y MEDIO AMBIENTALES QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DEL CONJUNTO
FATIGA MENTAL POR TENSIONES INTERNAS EN EL GRUPO Y PRESENCIA DE PERSONAS AJENAS A LA UNIDAD	EJERCER ACCIONES PARA MUDAR DE LOS ESPACIOS DE LA UNIDAD A LAS PERSONAS AJENAS	
TRASNGRESION DE NORMAS POR PARTE DE LOS ANALISTA RELACIONADO A INFORMAR SOBRE ESTATUS DE LOS CONTROLES DE EROGACION Y DE LAS EMPRESAS A LAS QUE SE OBJETA.	ANALISIS SOCIMETRICO	

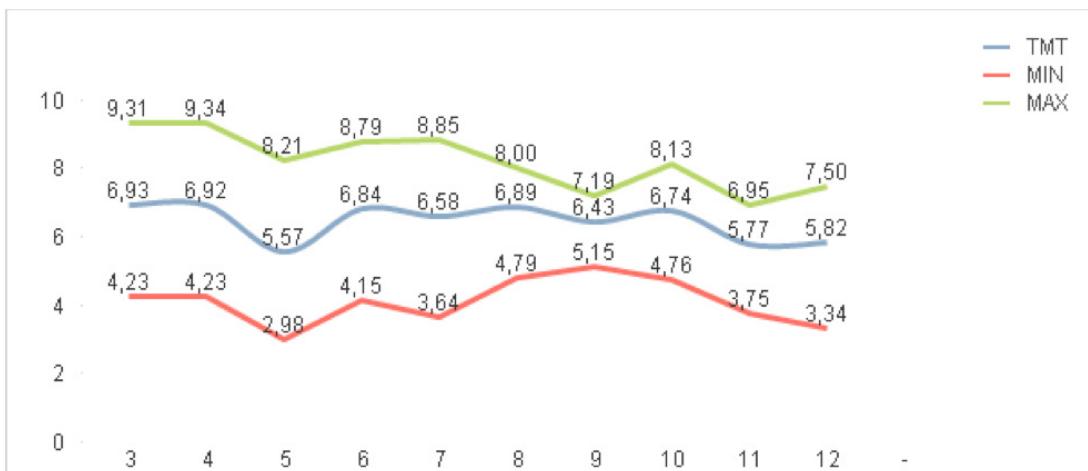


Figura 4. Perfil Estocástico del tiempo promedio de la Jornada de trabajo del personal 2015

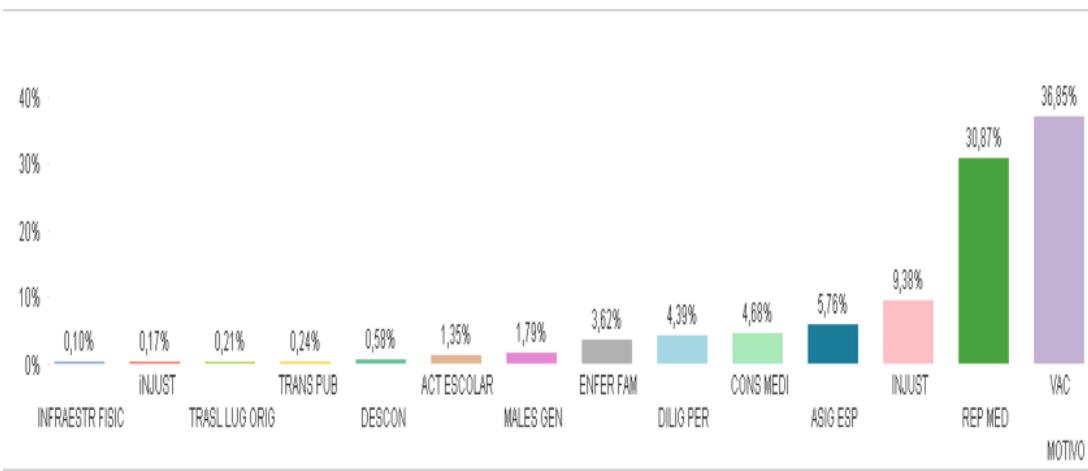


Figura 5. Caracterización de motivos de Horas Fuera de oficina 2015

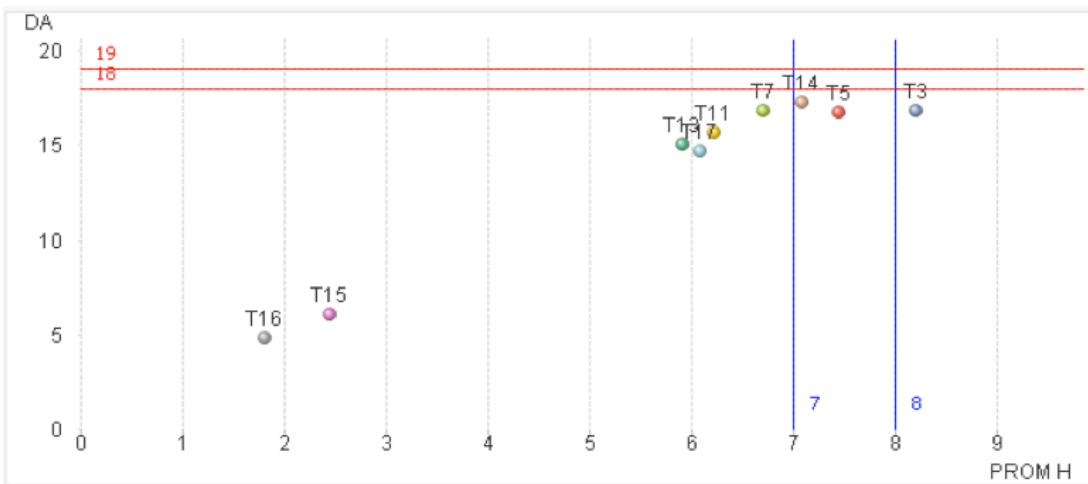


Figura 6. Horas Promedio. Trabajadas Vs Días promedio de Asistencia

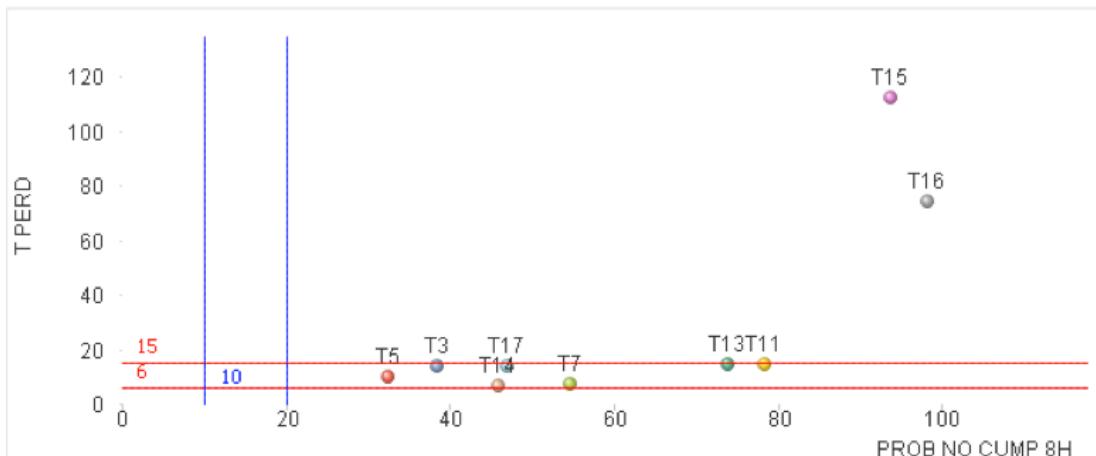


Figura 7. Probabilidad de no cumplir las 8H Vs Tiempo promedio perdido por evento

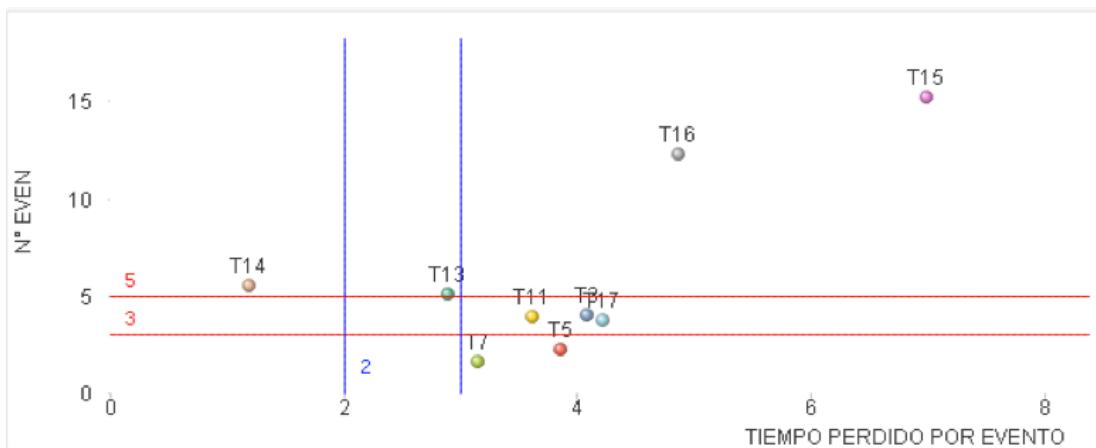


Figura 8. Número de eventos promedio Vs. Tiempo perdido promedio por evento

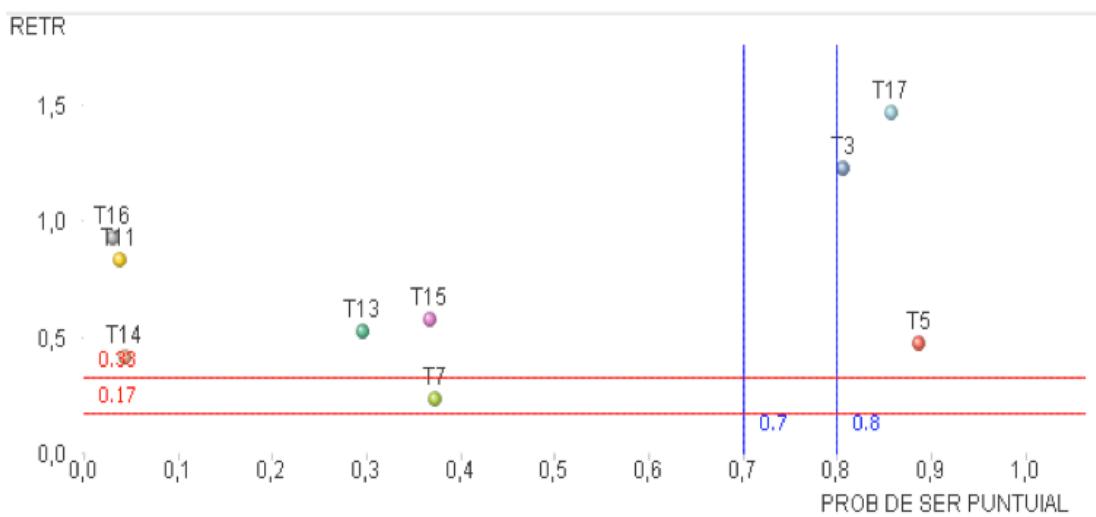


Figura 9. Probabilidad de ser puntual Vs tiempo de retraso

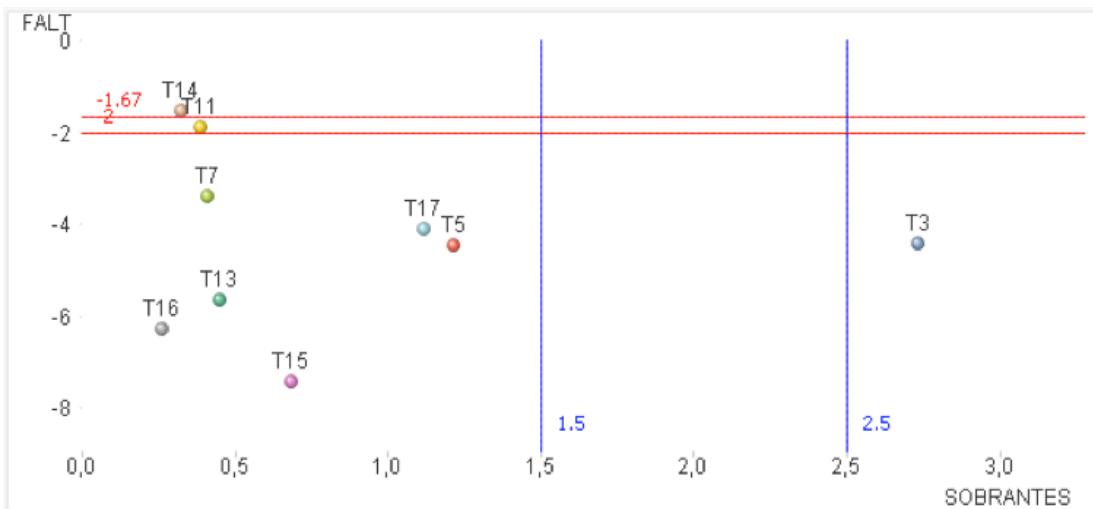


Figura 10. Horas promedio adicionales a las 8 horas Vs horas promedio faltantes

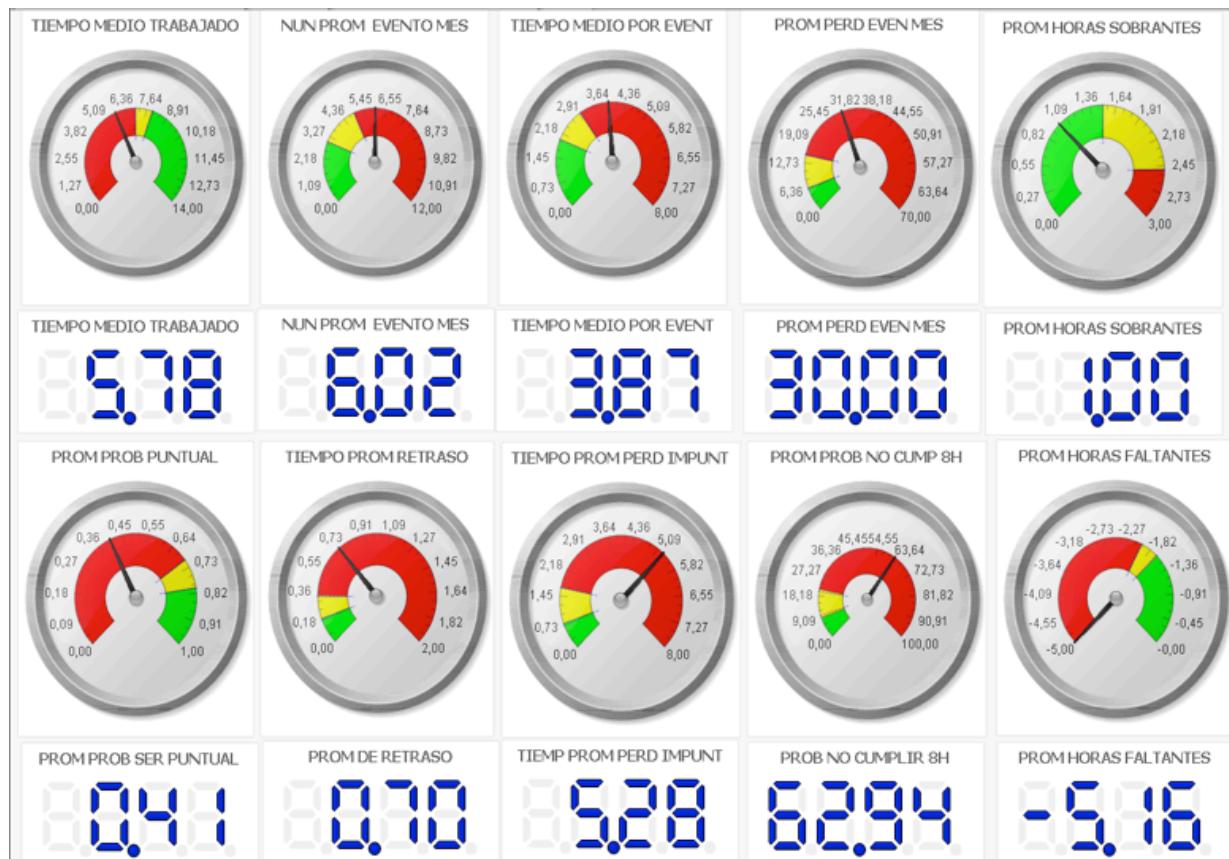


Figura 11. Valores promedio del conjunto en el año 2015

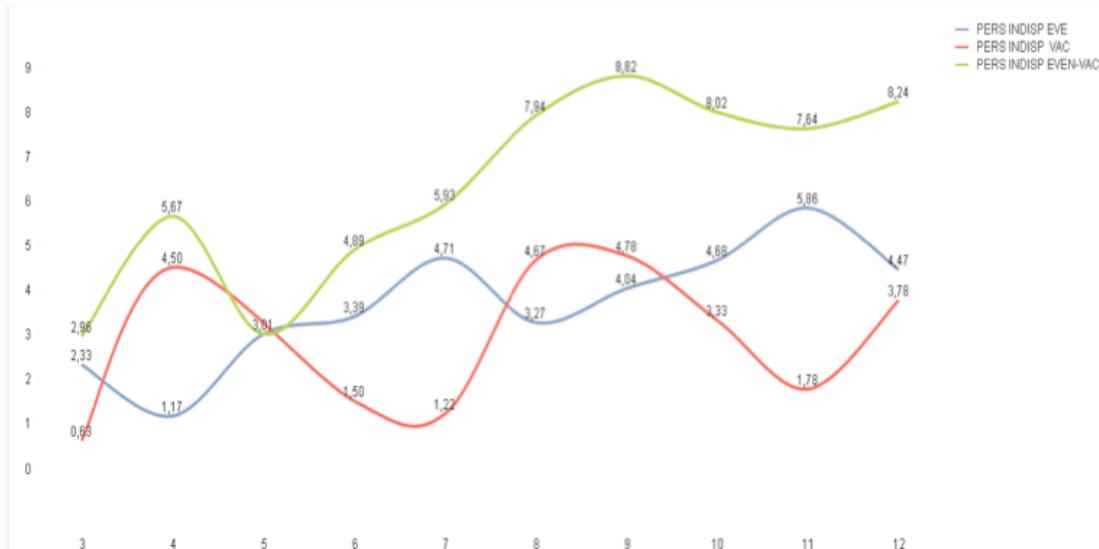


Figura 12. Comportamiento del número de personas indisponibles debido a eventos por diversos motivos y vacaciones

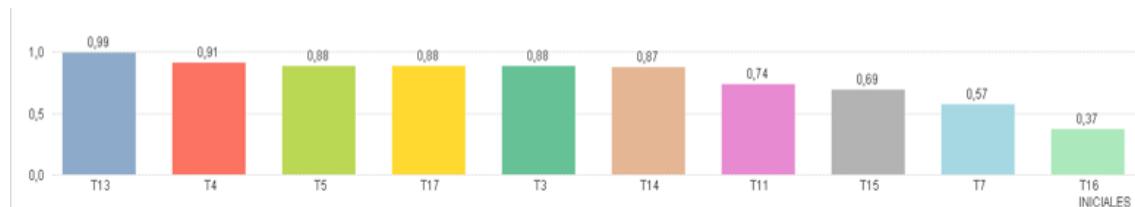


Figura 13. Probabilidad de estar en Puesto de Trabajo



Figura 14. Probabilidad de Ser Puntual

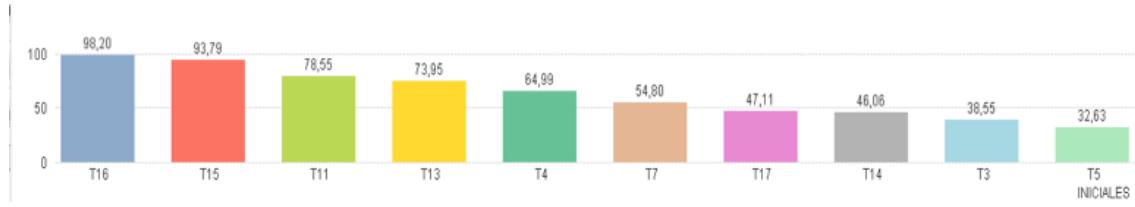


Figura 15. Probabilidad de No cumplir las 8 Horas

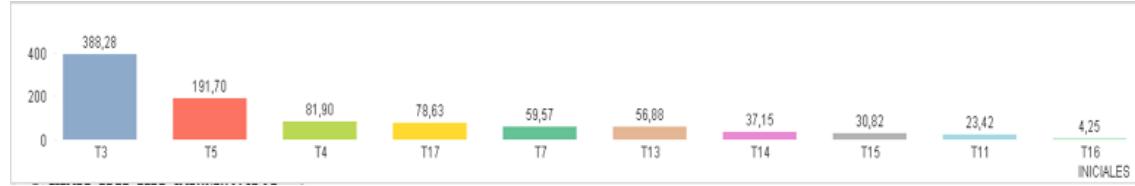


Figura 16. Horas adicionales trabajadas por encima de las 8 Horas

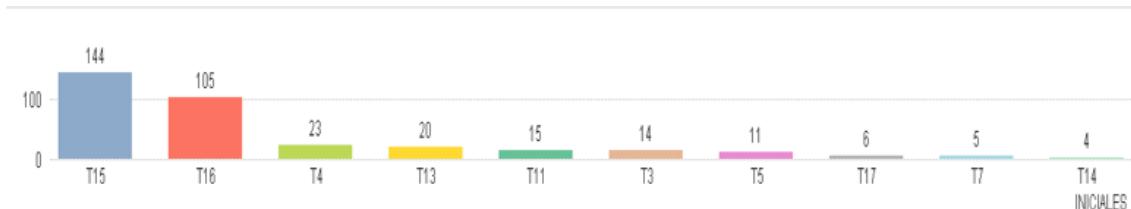


Figura 17. Ausentismo Laboral



Figura 18. Efectividad Cualitativa



Figura 19. Nominaciones Afectivas-Lúdicas



Figura 20. Nominaciones para Trabajar

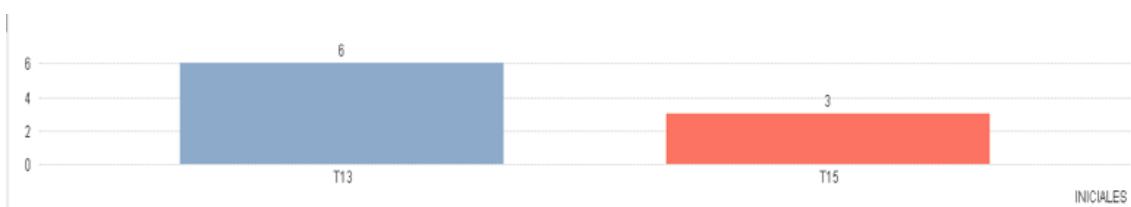


Figura 21. Eventos Conflictivos



Figura 22. Riesgo (Bs) Asociado al Tiempo de Trabajo

Tabla 6. Ejemplo de Calculo Criterio: Probabilidades de estar en Puesto Trabajo

CR = 10%	PROB ESTAR PUEST TRABAJ	T17	T15	T03	T4	T5	T7	T11	T13	T14	T16	Normalized	Pr. Vector	Lambda(max)
	T17	1,000	3,000	2,000	2,000	2,000	5,000	3,000	3,000	5,000	7,000	2,869	0,228	11,331
	T15	0,333	1,000	0,333	0,333	0,200	2,000	1,000	0,200	0,333	2,000	0,536	0,043	
	T03	0,500	3,000	1,000	1,000	1,000	5,000	5,000	0,333	1,000	5,000	1,512	0,120	
	T4	0,500	3,000	1,000	1,000	1,000	5,000	3,000	5,000	1,000	5,000	1,884	0,150	
	T5	0,500	5,000	1,000	1,000	1,000	5,000	3,000	0,333	1,000	3,000	1,437	0,114	
	T7	0,200	0,500	0,200	0,200	0,200	1,000	0,500	0,333	0,200	3,000	0,389	0,031	
	T11	0,333	1,000	0,200	0,333	0,333	2,000	1,000	0,250	0,333	5,000	0,601	0,048	
	T13	0,333	5,000	3,000	0,200	3,000	3,000	4,000	1,000	0,500	5,000	1,568	0,125	
	T14	0,200	3,000	1,000	1,000	1,000	5,000	3,000	2,000	1,000	3,000	1,490	0,118	
	T16	0,143	0,500	0,200	0,200	0,333	0,333	0,200	0,200	0,333	1,000	0,290	0,023	
	Sum	4,043	25,000	9,933	7,267	10,067	33,333	23,700	12,650	10,700	39,000	12,577		

Tabla 7. Ejemplo de Calculo: Ponderación de los Criterios

CR = 10%	For Criteria Matrix	PROB ESTAR PUEST TRABAJ	PROB SER PUNTUAL	PROB CUMPLIR JORNAD LABORAL	HORAS POR ENCIMA DE LA JORNADA LABORAL PROMEDIO	AUSENTIS INJUSTIFIC	PRODUCT	NUMERO NOMINAC AFECTIVAS- LUDICAS	NUMERO DE NOMINAC TRABAJO	NUMERO EVENTOS CONFLICTIV	RIESGO (Bs)	Normalized	Pr. Vector	Lambda(max)
	PROB ESTAR PUEST TRABAJ	1,000	3,000	0,333	3,000	2,000	0,125	0,500	0,500	0,143	0,143	0,573	0,040	11,406
	PROB SER PUNTUAL	0,333	1,000	0,200	2,000	3,000	0,111	0,333	0,500	0,143	0,143	0,415	0,029	
	PROB CUMPLIR JORNAD LABORAL	3,000	5,000	1,000	3,000	5,000	0,200	4,000	0,333	3,000	0,333	1,506	0,104	
	HORAS POR ENCIMA DE LA JORNADA LABORAL PROMEDIO	0,333	0,500	0,333	1,000	2,000	0,111	0,333	0,333	0,250	0,167	0,376	0,026	
	AUSENTIS INJUSTIFIC	0,500	0,333	0,200	0,500	1,000	0,200	0,500	0,333	0,250	0,200	0,350	0,024	
	PRODUCT	8,000	9,000	5,000	9,000	5,000	1,000	4,000	5,000	5,000	2,000	4,478	0,309	
	NUMERO NOMINAC AFECTIVAS- LUDICAS	2,000	3,000	0,250	3,000	2,000	0,250	1,000	0,500	0,200	0,250	0,750	0,052	
	NUMERO DE NOMINAC TRABAJO	2,000	2,000	3,000	3,000	3,000	0,200	2,000	1,000	0,200	0,333	1,112	0,077	
	NUMERO EVENTOS CONFLICTIV	7,000	7,000	0,333	4,000	4,000	0,200	5,000	5,000	1,000	0,333	1,836	0,127	
	RIESGO (Bs)	7,000	7,000	3,000	6,000	5,000	0,500	4,000	3,000	3,000	1,000	3,090	0,213	
	Sum	31,167	37,833	13,650	34,500	32,000	2,897	21,667	16,500	13,186	4,902	14,486		

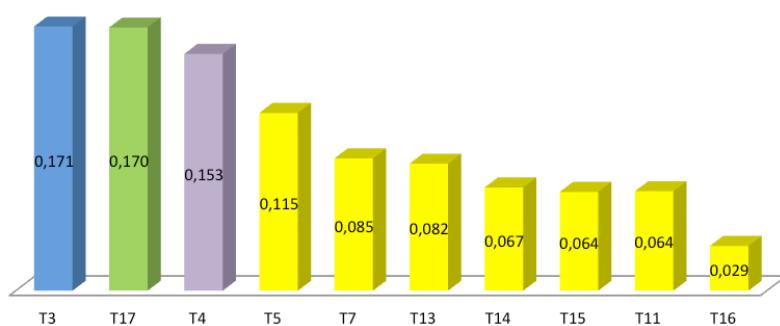


Figura 23. Jerarquización Ponderada del Personal

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En promedio el 27,75% de las 8 horas de la Jornada laboral considerada de trabajo diario, fue usado por el personal para atender diligencia personales, consultas medicas, enfermedades de familiares, reposos médicos, problemas de transporte público, actividades escolares, malestar general, infraestructura física en la casa, consultas medicas, traslado a lugar de origen, y otros desconocidos o no justificados.

Se encontró que la Probabilidad de no detener el proceso administrativo debido a mecanismos internos del trabajador era del 21%, debido a la interacción grupal era de 44% y a los aspectos organizacionales fue de 86%, para tener en total una probabilidad del 8% si se manifiestan los tres aspectos simultáneamente.

Se encontró que la cantidad de personal indisponibilidad debido a eventos por diverso motivos (58%) y por vacaciones (42%), redondeaba en promedio un valor de aproximadamente 6 personas, lo que equivale a decir que mes a mes solo estaban disponibles de manera efectiva para el desempeño de las actividades un 40% del personal.

Se encontró que los trabajador T3, T17 y T4 son los mejores posicionados de acuerdo a su actuación considerando los criterios de probabilidad de estar en el puesto de trabajo, probabilidad de ser puntual, probabilidad de cumplir jornada laboral, horas adicionales trabajadas, ausentismo laboral, efectividad, número de nominaciones afectivas-lúdicas, número de nominaciones de trabajo, numero de eventos conflictivos y riesgo (Bs).

CONCLUSIONES

Dado que en todas sus etapas y relaciones, el servicio eléctrico presenta funciones

Multivariadas, con estructuras No Lineales y variables con altos grados de Incertidumbre y que en el factor humano se encuentran presentes todos estos elementos, y el mismo impacta de forma directa la integridad del proceso, desde todas sus dimensiones, es necesario buscar mecanismo que nos permitan, entender, conservar y mejorar el activo humano, por lo tanto los resultados de este análisis brindaron soporte argumentado, para en un primer acercamiento desde el punto de vista administrativo, tomar decisiones más acertadas al momento de evaluar el desempeño de los trabajadores de acuerdo sus efectos sobre el sistema y sobre el plan de mejoramiento tomando en cuenta sus circunstancias dinámicas internas y externas.

La continuación del estudio de las causas humanas, desde el punto de vista sistémico, que afectan no solo a la variable aleatoria tiempo de procesamiento de documentos administrativos asociado al pago de desembolso, sino en general de los procesos que son llevados por esta unidad administrativa, con el propósito mitigarlas o bloquearlas, permiten reducir el riesgo al que está expuesto la organización en el ámbito de generación, debido a consecuencias probables del tipo legal por incumplimiento de leyes como la del servicio eléctrico, la ley orgánica de procesos administrativo entre otras, financieras por el pago de interés de mora por demandas de los proveedores debido al incumplimiento contractual en el plazo acordado, consecuencias técnicas ocasionadas por la incertidumbre de entrada en el tiempo acordado de los MW por la posible afectación del flujo de caja de los proveedores, al no tramitárseles a tiempo sus expedientes.

Dado que las tendencias probabilísticas apuntan a que las ocurrencias de eventos fortuitos y la ejecución de las vacaciones hacen que al menos dos personas de cada grupo, estén fuera de la oficina, significando que efectivamente solo se

cuenta con una persona mes a mes por grupo en el año 2015, entonces para el año 2016, la unidad tomo la decisión de reforzar el conocimiento y experticia de cada trabajador sobre el proceso de tal forma que pueda cubrir las actividades de al menos una persona.

Dado que el tiempo promedio de trabajo tiene una tendencia a la baja, se debe estudiar las causas de ocurrencia de los eventos a objeto de determinar si se pueden mitigar su ocurrencia en el tiempo a valores tolerables a la unidad.

Desde el punto de vista sistémico los factores neuronales (saber, poder y querer), así como los de interacción grupal (liderazgo, roles, normas y procedimiento, estructura y cohesión) son los que más inciden en la afectación del tiempo en que se realizan las tareas llevadas a cabo por el grupo en general.

AGRADECIMIENTOS

Gerencia General de Generación de CORPOELEC.

División Nacional de Gestión Administrativa de Generación de CORPOELEC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LABRADOR, R., FERNANDEZ, L., YANEZ, A. y CHACON, E.* (2015). Seminario de Confiabilidad Humana. Del riesgo a la seguridad. Un Enfoque Integrado Maracaibo, 2015.
- LABRADOR, R.* (2012). Clases Presenciales de Confiabilidad Humana. Universidad Simón Bolívar. Escolaridad Especialización de Confiabilidad de Sistemas Industriales.
- MORENO, L.* (2009), recuperado de <https://pochicasta.files.wordpress.com/2009/01/sociometria.pdf>
- REASON, J.* (1997). Managing the risks of organizational accidents. Routledge.
- REASON, J.* (2000). Human error: models and management. *Bmj*, Vol. 320, No 7237:768-770.
- REASON, J.* (2001). Managing Human Error. Parliamentary Office Science And Technology, Uk Number 156.
- ROCHE, H. y VEJO, C.* (2005). Métodos Cuantitativos Aplicados a la Administración Material de Apoyo. Análisis Multicriterio. Recuperado de www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf
- YAÑEZ, M., GOMEZ DE LA VEGA, H. SEMECO, K. y NUCETTE, G.* (2012). Confiabilidad Integral. Editorial Reliability and Risk Management. Maracaibo. Venezuela

