

# Estudio de Pre-factibilidad de una Electrolinera Alimentada con Paneles Solares Ubicada en la Región Costera del Ecuador

Jorge Israel Jaramillo Ortiz<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Matemáticas, Universidad de Guayaquil  
jjisrael2002@gmail.com

**Resumen**— Dentro del cambio de la matriz productiva, impulsado por el gobierno ecuatoriano, se ha planteado la idea de facilitar el ingreso de vehículos eléctricos al territorio ecuatoriano con el fin de comercializarlos a bajos precios. La utilización de carros eléctricos en el Ecuador se ve limitada por la falta de puntos de carga que deberían ser suministradas por una electrolinera. Sin embargo; de nada serviría si la energía que ésta recibe no es totalmente limpia, por lo que el objetivo general del presente trabajo es realizar un estudio de pre-factibilidad para el suministro e instalación de una electrolinera alimentada con paneles solares. Para esto, se aplicó la metodología cuantitativa: para medir la pre factibilidad tanto económica, operativa y técnica del proyecto. Finalmente, se determinó que el proyecto técnicamente es viable debido a que se cuenta con la tecnología y equipos que han sido utilizados en otros proyectos, además el área destinada para la colocación de los paneles solares es sumamente amplia, ya que debe soportar 800 paneles y sus equipos tienen la suficiente radiación solar. El Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) determinaron que el proyecto es viable económicamente; aunque a largo plazo.

**Palabras Claves**— *electrolinera, fotovoltaicos, paneles solares, recargas.*

**Abstract**— Within the change of the productive matrix promoted by the Ecuadorian government, the idea has been proposed to facilitate the entry of electric vehicles into Ecuadorian territory, in order to market them at low prices. The use of electric cars in Ecuador is limited by the lack of charging points that should be supplied by a charging station. Nevertheless; It would be useless if the energy that it receives is not totally clean, so the general objective of this work is to carry out a pre-feasibility study for the supply and installation of an electrolinera fed with solar panels. For this, the quantitative methodology was applied to measure the economic, operational and technical pre-feasibility of the project. Finally, it was determined that the project is technically feasible, because some technology and equipment that has been used in other projects is already available, in addition the area destined for the placement of the solar panels is extremely wide, it must support 800 Panels and their equipment and has sufficient solar radiation. The Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) determined that having a mixed system of connection to the network is economically viable; Although in the long term.

**Keywords** - *charging station, photovoltaic, solar panels, recharges.*

## I. INTRODUCCIÓN

El gobierno ecuatoriano busca generar más riqueza, lograr un desarrollo más sostenible e impulsar actividades ligadas al talento humano, a la tecnología y el conocimiento, a través del cambio de la matriz productiva [1]. Un reto que aporta al cambio de esta matriz es el cambio de la matriz energética que consiste en aumentar, de manera óptima y sustentable, las fuentes primarias de energía; al mismo tiempo cambiar las estructuras de consumo en el sector de transporte, residencial, comercial, para que su uso sea racional y eficiente [2]. Las fuentes de energía primaria que se encuentran dentro de la matriz energética de Ecuador son: petróleo (89%); gas natural (4%); hidráulica (4%); productos de caña (2%); leña (1%). Y del 89% la estructura del consumo de la matriz energética de Ecuador contempla principalmente: diésel (31%); gasolinas (28%); fuel oil (8%); GLP (8%) y energía eléctrica (14%) [3].

En este contexto, en el Ecuador la demanda de energía secundaria es significativa y mundialmente se espera que tome importancia debido a las ventajas que representa. Una de las ventajas de la energía eléctrica es que puede ser generada con fuentes renovables, de esta manera aporta a la seguridad energética debido a la continua disminución de las reservas de petróleo. La estructura de la generación eléctrica en Ecuador en 2014 fue: térmica (49,13%); hidráulica (45,57%); biomasa (1,59%); eólica (0,32%) y solar (0,07%) [3]. Como se observa, la generación térmica tiene el porcentaje más alto (49,13%), esta proviene de combustibles fósiles los cuales en su mayoría son importados y generan no solo salida de divisas; sino contaminación ambiental. Es por esta razón que el Ecuador plantea algunos retos para el cambio de la matriz energética, por ejemplo, impulsar centrales eléctricas conocidas como renovables no convencionales, como solar fotovoltaica y eólica. Ecuador realiza una apuesta por los carros eléctricos con el fin de dejar a un lado el uso de combustibles [4].

Estos carros eléctricos se presentan como sustitutos ecológicos eléctricos de los carros de combustible, sin embargo; no son tan ecológicos como parece ya que la electricidad se produce también de combustibles fósiles y

según una investigación de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, podrían contaminar el doble que los carros convencionales por lo que las electrolineras solares, pueden ser una posible solución para lograr que los coches eléctricos sean más ecológicos. En estas estaciones de recarga la energía procede del sol, gracias a sus paneles fotovoltaicos.

El mayor problema de los carros eléctricos es el tiempo que tardan las recargas para que estos tengan autonomía, por lo que es necesario determinar los tipos de recarga que se pueden tener para estos autos, y establecer lugares donde se los pueda recargar en el menor tiempo posible.

Este problema puede ser solucionados con la colocación de puntos de recarga públicos conocidos como "Electrolineras". Desde hace varios años el gobierno ha impulsado que se realice energización de diversas actividades a través de fuentes renovables [2], por lo que se pretenderá determinar que la electrolinera a realizar en el presente estudio sea energizada mediante un sistema de paneles solares y se considerará, de ser necesario, un respaldo de red, por lo que es necesario determinar la demanda de las electrolineras para realizar los cálculos que determinen el sistema de filtros y baterías de respaldo necesarios a instalar.

El objetivo general del presente artículo es realizar un estudio de pre-factibilidad para el suministro e instalación de una electrolinera alimentada con paneles solares. Mientras que los objetivos específicos son: Realizar el cálculo de paneles solares necesarios para alimentar la electrolinera, realizar la factibilidad de un sistema eléctrico para carga rápida en una electrolinera y determinar la factibilidad económica del proyecto.

En la sección I se presenta la introducción, antecedentes y propósitos del estudio además del objetivo general y específicos. En la sección II se detalla los métodos, fórmulas y cálculos que se realizaron para determinar la parte operativa, técnica y económica del presente trabajo. En la Sección III se analizan los resultados del análisis económico de los ingresos y egresos que se calcularon a través del TIR y el VAN. Finalmente, las conclusiones más relevantes son presentadas en la sección IV.

## II. MÉTODO

### A. Diseño de la Instalación

Para los sistemas de recarga rápida la demanda de cada surtidor es de alrededor de 60KVA por cargador, y ante dicho problema se optó por un diseño amigable para el medio ambiente a base de sistema fotovoltaico según Ordóñez .

### B. Previsión de Cargas

Se toma como referencia el cargador distribuido por SCHNEIDER en Ecuador, por medio de su sistema

CHADMO.

### C. Cálculo de Carga

Cada cargador tendrá una demanda de potencia activa de 53,36 kW por lo que se plantea instalar 3 cargadores cuyo resumen se muestra en la Tabla I.

TABLA I  
CÁLCULO DE CARGA

Requerimient	Cant	Por U. (Kw)	F.C	P. Efecti (Kw)	Hora s Uso/D	Ene rgía Kw h/Di a
Cargadores	3	53,36	0,9	144,072	15	2161,08
Área Administrativ	1	10	0,9	9	16	144
Iluminación General	1	1	0,7	0,7	12	8,4
			P.T.	153,772	E.T. KW/D IA	2313,48
			S.T.	167,14	Kv A	
			I.N.	262,54	Amp	

### D. Componentes de la Planta Fotovoltaica.

Paneles Fotovoltaicos: los paneles a elegirse son los del tipo YGE 60 Cell serie 2 y como modelo el YL250-29B. Estos cuentan con una potencia nominal de 250W por panel, la elección se basa que estos son los paneles utilizados en 2 proyectos que ya se ejecutan en el Ecuador: Parque Solar cabal Energy 1 MW en Manabí y Parque solar Salinas y Tren Salinas 6.3 MW en Imbabura.

Inversores CC/CA: Se elegirá 1 inversor de 200KW, que junto a los de 100Kw son los de mayor distribución en el mercado entre los productos de conexión a la red.

Supervisores de Strings (strings box): inversores Sunny Central 200 que poseen 5 entradas en CC y dan opción a conectar 5 string box por cada inversor.

### E. Dimensionamiento Del Campo Fotovoltaico

Para determinar la cantidad de paneles necesarios a instalar para alcanzar los 200KW se realiza el siguiente cálculo:

$$P(\text{serie}) = \frac{V_{\text{nominfer}}}{V_{\text{nompanel}}}, \quad (1)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (1) se obtuvo:  $(880/37.6)=23$  series

Por lo que utilizaremos para distribución equitativa lo siguiente:

#Paneles= 20 series x 40 paralelo= 800 paneles  
 Potencia Total= 800 x 250 Wp x panel= 200.000 Wp

Considerando el manual eléctrico de carga se tomó de los datos de placa de panel una eficiencia del 80% de la misma, es decir 160 kWp, que es lo ideal para nuestro proyecto que tiene una carga de 153 kW.

#### F. Producción Anual de Energía

Para este cálculo se necesitan los siguientes parámetros:

- o PGFV: Potencia Pico del generador FV.
- o I (STC): Irradiancia en STC. Parámetro intrínseco de los paneles.
- o FS: Factor de pérdidas por sombreado.
- o PR: Es la eficiencia de la instalación. Tomando ejemplos similares usaremos 75%
- o Gdm ( $\beta$ ): Radiación solar que reciben los paneles.

Y se aplica la reemplazan los valores en la ecuación de Darly Chaplin (2):

$$E = PGFV \cdot \frac{Gdm(B)}{I(stc)} \cdot FS \cdot PR, \quad (2)$$

Reemplazando valores en la ecuación (2) se obtuvo que:

$$E = 200kw \cdot \frac{1663.7 \left( \frac{KWh}{m^2} \right)}{1kw / m^2} \cdot 0.99 \cdot 0.75,$$

La producción anual de energía es de 247,059 MWh.

#### G. Cálculo de baterías

Para realizar este cálculo necesitamos la ecuación de Calvin Fuller y los Whd del sistema, que ya fueron calculados en los datos de carga iniciales, con estos datos determinamos la corriente Ah nominal.

$$I = \frac{2313480whd}{400 \cdot 1.73} = 3343.17 Ah, \quad (3)$$

Calculando la corriente por horas del sistema de baterías que es de 48 V, obtenemos lo siguiente.

$$\text{Carga diaria de corriente} = (2313480/48) = 48197,5 Ah$$

Se utilizara baterías 700Ah del tipo de baterías OPZS dando un total de 69 Baterías las que deberían dar respaldo al sistema para surtir la demanda en caso de ausencia de luz o disminución de rayos solares.

En el mercado las baterías de este tipo tienen un costo de alrededor de \$450, por lo que colocar tal número de baterías, mas todo el sistema de conexión necesaria bordearía los 50 mil dólares, lo que permitiría analizar en futuras

investigaciones un sistema totalmente respaldado por baterías.

#### H. Conexión de la Planta Generadora a la red de distribución.

La conexión deberá hacerse a un nivel de medio voltaje 13800 Voltios, por lo que será necesario colocar un transformador elevador de tensión a la salida del inversor [5].

#### I. Cálculo del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno

Para el cálculo del VAN se consideró que el costo de la energía en el Ecuador permanece prácticamente congelado en un promedio de 5 años, por lo que se tomará un IPC del 0,5% desde el 2017, para que el mismo sea representativo cada 5 años que llevaría a un 2,5%.

Adicionalmente, se asumió que el coste del financiamiento es 8% que es la tasa actual del Banco Nacional de Fomento (Ente que financiaría este proyecto por ser de carácter importante dentro de las políticas del estado Ecuatoriano). Además se asumió que el 30% es el monto financiado y el otro 70% autofinanciado por el inversionista. Respecto a la tasa de descuento del 3. % que es la tasa actual de retorno que pagan los bancos a los fondos.

#### J. Recomendaciones

Se recomienda elevar la capacidad instalada en el sistema fotovoltaico para suministrar energía a la red y realizar la venta de la misma, considerando que la venta de paneles solares tiene un costo de cincuenta y dos centavos de dólar según regulación de CONELEC [6].

Se recomienda conseguir mayor incentivo económico para los proyectos de parque fotovoltaicos.

Adicionalmente, hacer mayor análisis técnico económico con los otros tipos de carga de baterías, lenta y semi-rápida, y profundizar en la utilidad generada por la oferta y demanda de carros eléctricos en la actualidad y la proyectada.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las protecciones mínimas a disponer para sistemas fotovoltaicos conectados a la red [7] serán incluidas en el Inversor SMA Sunny Central 200, estas protecciones serán llevadas a cabo mediante las normas de monitorización de la red y cada inversor posee un interruptor de potencia en CA que funciona como interruptor automático de interconexión que se utiliza para la conexión y desconexión automática de la instalación fotovoltaica, esto en el caso de ocurrir pérdidas de voltaje o frecuencias nominales de la red.

Desde la red de media tensión se realizará la conexión a un transformador reductos de voltaje para brindar los 400 Voltios que necesita la red, dicho transformador deberá

cumplir las siguientes especificaciones para elevar el voltaje.

- o Potencia nominal: 200 kVA
- o Tensión: 13.8 kV / 400 V

Con los cálculos de carga determinamos que el conductor necesario para la corriente nominal del sistema será de 3#350 MCM+N#250 MCM + T #2/0, la protección en baja tensión será realizada por el Breaker de protección el cual utilizaremos de marca ABB, interruptor automático, capacidad 3p-300A este Breaker tiene una relé de protección PR123.

El tablero de distribución contará con las barras de distribución con capacidad 500 A, donde se colocará el breaker de protección y los breakers secundarios que alimentaran los CARGADORES, cada cargador contará con una protección de 3p-100 A y breakers de distribución para el panel de servicios generales de 3P-50 A.

Respecto a los costos para el sistema fotovoltaico sin campana de medición, se determinaron mediante el análisis de costos en servicios similares a los proyectos que se han ofrecido en el Ecuador mencionados previamente y se presentan en la Tabla II.

TABLA II  
COSTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO SIN CAMPAÑA DE MEDICIÓN

Materiales	Unidad	Cant	P.unit	Total
Paneles Fotovoltaicos	U	800	200	160000
Sistema de cableado	Gbl	1	19500	19500
Inversor	U	1	50000	50000
Mano de obra	Gbl	1	20000	20000
Adecuaciones civiles	Gbl	1	50000	50000
			Subtotal	\$299500

En la Tabla III se observa que los sistemas de potencia que permitirían la conexión a la red costarían aproximadamente 38 mil dólares. Además, el análisis económico se centrará en los gastos operativos de la central fotovoltaica.

TABLA III  
COSTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO

Materiales	Unidad	Cant.	P. Unitari	Total
Paneles Fotovoltaicos	U	800	200	160000
Sistema De Cableado	Gbl	1	19500	19500
Inversor	U	1	50000	50000
Mano De Obra	Gbl	1	20000	20000
Adecuaciones Civiles	Gbl	1	50000	50000
			<b>SUB TOTAL 1</b>	<b>\$299500</b>

Para los gastos generales se consideró que solo necesita un mantenimiento cada seis meses, y un administrador de control permanente que en caso de anomalías busque el personal técnico adecuado, siendo un total de \$11460 anuales.

TABLA IV  
GASTOS GENERALES

Gastos	Mensual	Anual
Electricidad	\$40	\$480
Agua	\$35	\$420
Limpieza	\$30	\$360
Suministros de oficina	\$50	\$600
Salario administrador más beneficios	\$800	\$9600

Actualmente la tasa del servicio eléctrico sin subsidio es de 16.5 ctvs. el KWH, por lo que considerando futuros aumentos y Ahorros ambientales, se realizará el análisis con 17 ctvs. Los costes de electricidad comercial, considerando la cantidad de energía que suministraría la red fotovoltaica que fueron calculados en la sección II, nos dan un Ahorro energético de \$42000 que se considerará el costo de oportunidad del proyecto.

TABLA V  
COSTO DE OPORTUNIDAD

Costo de oportunidad	Unidad	Cant.	P.unit	Total
Electricidad (247059)	KWh/Anual	247059	0,19	42000,03

Después de realizar el flujo de caja correspondiente a los primeros diez años del proyecto, el VAN resulta positivo a los 20 años de ejecutado el proyecto, con una tasa de retorno del 9%. Lo que hace el proyecto rentable, pero después de un largo periodo.

#### IV. CONCLUSIONES

Se presenta una discusión de los resultados expuestos, relacionándolos con el estado actual u otros estudios, mostrando las ventajas e inconvenientes de cada uno.

El estudio de pre factibilidad determina que el proyecto técnicamente es viable, debido a que el Ecuador cuenta con la tecnología y equipos similares utilizados en otros proyectos.

El área destinada para la colocación de los paneles solares debe ser sumamente amplia, ya que debe soportar 800 paneles y sus equipos, para esto, la zona costera tiene la suficiente radiación solar para que el proyecto sea factible.

Se determinó que lo más factible es tener un sistema mixto de conexión a la red, ya que un respaldo con baterías sería sumamente costoso, por lo que VAN y TIR, determinaron que en este proyecto tiene viabilidad económica, aunque a un largo periodo.

Se concluye finalmente que un proyecto que permita la creación de una electrolinera en la ciudad más grande del país tendría rentabilidad si se mejoran las condiciones tarifarias debido a la rentabilidad del proyecto y a que más inversionistas estarían dispuestos a arriesgar en este proyecto gracias al gran impacto que tendría en el cambio de matriz energética que plantea el gobierno.

#### REFERENCIAS

- [1] Andes (Noviembre de 2014). ¿En qué consiste el cambio de la matriz productiva en Ecuador?
- [2] CONELEC. (2013). Codificación Regulación No. CONELEC – 001/13. Quito.
- [3] Constante, J. (10 de Septiembre de 2016). Importancia de la energía eléctrica en el cambio de la matriz energética en Ecuador. El Telégrafo. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/importancia-de-la-energia-electrica-en-el-cambio-de-la-matriz-energetica-en-ecuador>
- [4] El Tiempo. (Julio de 2015). Ecuador apuesta al uso de vehículos eléctricos en instituciones públicas en el marco del cambio de matriz energética. Cuenca.
- [5] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2013). Avanzamos en el cambio de la matriz energética. Sectores estratégicos para el Buen Vivir, 4.
- [6] Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda. (2011). Norma Ecuatoriana De Norma Ecuatoriana De Construcción NEC 11. Quito.