

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**  
**GENERACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA A PARTIR DE BESS**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Eléctrico**

Presentado por:

Argudo Palomino Rosalinda Michelle

Lazo Baque Michell Cristina

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2020

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado en primer lugar a nuestros padres por el continuo y constante apoyo en lo largo de nuestra carrera universitaria, a nuestros tutores y demás profesores por todos los conocimientos impartidos, finalmente y no menos importante a nuestros amigos por su jovialidad y compañerismo que hicieron de esta experiencia universitaria, la mejor posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

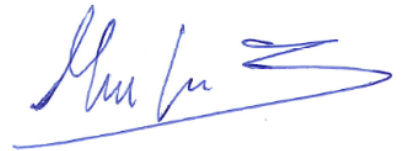
Agradecemos a Dios por permitirnos gozar de vida y salud en tan difíciles momentos que se atraviesan a nivel mundial en segundo lugar, a nuestros padres por las voces de aliento cuando quizá hemos estado a punto de desistir, por su comprensión, profundo amor y entrega, a nuestros tutores Ing. Jimmy Córdova y Dr. Sífifo Falcones y a nuestro profesor de la materia Dr. Renán Zambrano por guiarnos a lo largo de este proyecto, por su paciencia y consejos para llevarlo de la mejor forma posible y por último a nuestra querida Alma Máter por acogernos y permitirnos desarrollar nuestro potencial y llegar así a ser una mejor versión de nosotras mismas.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Rosalinda Michelle Argudo Palomino y Michell Cristina Lazo Baque damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Rosalinda Michelle  
Argudo Palomino



Michell Cristina  
Lazo Baque

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:  
**RENAN XAVIER  
ZAMBRANO  
ARAGUNDY**

---

**Dr. Renán Zambrano**

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:  
**JIMMY JAVIER  
CORDOVA  
VILLAGOMEZ**

---

**Ing. Jimmy Córdova**

PROFESOR TUTOR

---

**Dr. Sixifo Falcones**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

A medida que la industria se encuentra avanzando y los vehículos eléctricos empiezan a protagonizar un mayor número de ventas, la situación va tornándose paulatinamente en un asunto más relevante, principalmente por la interrogante acerca de a donde irán a parar las baterías empleadas en los mismos posterior a su uso. Es precisamente por esto que es necesario el tomar medidas en cuanto a proponer una solución de almacenamiento como segunda vida a las baterías que son desechadas por parte de los coches eléctrico, pero que siguen siendo útiles para otros fines, evitando así la creación de Cementerios de Baterías sin las respectivas medidas de prevención contra la contaminación del suelo, además de evitar la elevación de los índices de Contaminación.

En el presente documento está compuesto de varias secciones donde se propone el diseño y modelamiento de un Sistema Fotovoltaico, evaluando su funcionamiento mediante análisis de Flujos en Power Factory DigSilent, codificación en Matlab y posterior simulación en Simulink, el sistema puesto bajo análisis fue el de San Cristóbal ubicado en las Islas Galápagos. El sistema tiene por finalidad la Generación de Reactivos a partir de la creación de bancos de Baterías en lugar de Bancos de Capacitores, principalmente porque la reutilización de baterías es más viable y económico que la adquisición de Condensadores, además del hecho de que si bien es cierto las baterías a determinado punto no sirven para el funcionamiento de autos eléctricos si funcionan para la Generación Eléctrica.

**Palabras Clave:** Contaminación, San Cristóbal, Cementerio de Baterías, Generación de Reactivos.

## **ABSTRACT**

*As the industry is advancing and electric vehicles begin to star in a greater number of sales, the situation is gradually becoming a more relevant issue, mainly due to the question of where the batteries used in them will go later to your use. It is precisely for this reason that it is necessary to take measures in terms of proposing a storage solution as a second life to batteries that are discarded by electric cars, but which are still useful for other purposes, thus avoiding the creation of Cemeteries of Batteries without the respective prevention measures to avoid soil contamination, in addition to avoiding the rise in contamination rates.*

*This document is composed of several sections where the design and modeling of a Photovoltaic System is proposed, evaluating its operation through Flow analysis in Power Factory DigSilent, coding in Matlab and subsequent simulation in Simulink, the system put under analysis was that of San Cristóbal located in the Galapagos Islands. The purpose of the system is to Generate Reagents from the creation of Battery banks instead of Capacitor Banks, mainly because the reuse of batteries is more viable and economical than the acquisition of Capacitors, in addition to the fact that although it is Certainly the batteries at a certain point are not useful for the operation of electric cars if they work for Electric Generation.*

*Key Words: Contamination, San Cristóbal, Battery Cemetery, Reagent Generation.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	13
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
1.1 Descripción del problema .....	15
1.2 Justificación del problema .....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.4 Marco Teórico .....	17
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	25
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	25
2.1 Descripción de la Red Eléctrica .....	25
2.2 Flujo de Potencia .....	27
2.2.1.1 Demanda Máxima del sistema de San Cristóbal.....	28
2.2.1.2 Demanda Mínima del sistema de San Cristóbal .....	29
2.2.2 Flujo de potencia a partir del sistema fotovoltaico .....	29
2.2.2.1 Radiación Máxima del sistema de San Cristóbal.....	29
2.2.2.2 Radiación Mínima del sistema de San Cristóbal .....	30
2.2.3 Flujo de potencia a partir del sistema eólico.....	30
2.2.3.1 Velocidad Máxima del Sistema de San Cristóbal .....	34
2.2.3.2 VELOCIDAD DE VIENTO MÍNIMA.....	34
2.3 Costo de Energía Reactiva.....	34
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	36
<b>RESULTADO Y ANÁLISIS</b> .....	36
3.1 Análisis de la Carga Máxima del sistema.....	37
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	25
<b>3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	43
Conclusiones .....	44
Recomendaciones .....	45
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	46



## **ABREVIATURAS**

BYD	Batería de Compañía de Coches
OPZS	Baterías Estacionarias con Plancha de Blindaje
BESS	Battery Energy Storage System
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
ACS	Sociedad Americana de Química
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
Li-Po	Baterías Planas de Polímero
SIN	Sistema Nacional Interconectado
CENACE	Centro nacional de Control de Energía de la República del Ecuador

## SIMBOLOGÍA

W	Vatio
Kg	Kilogramo
Wh	Vatio-hora.
FRCm	Factor de Recuperación del capital por mes
KWh	Kilovatio-hora.
VARh	Potencia Reactiva por Hora
GERa	Energía Reactiva Anual Generada
M	Mega
m/s	Metros sobre segundos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Disposición Geográfica San Cristóbal .....	25
Ilustración 2 Red del Sistema San Cristóbal en Software Digsilent .....	26
Ilustración 3 Flujo de Potencia del Sistema.....	27
Ilustración 4 Valores de Potencia de Salida según la Velocidad del Viento .....	32
Ilustración 5 Curva de Potencia Vs Velocidad del Viento .....	32
Ilustración 6 Diagrama de Bloque en Simulink / Matlab.....	36
Ilustración 7 Curvas en Carga Máxima del Sistema .....	37
Ilustración 8 Curvas de Carga Mínima del Sistema.....	38
Ilustración 9 Curvas en Radiación Máxima del Sistema.....	39
Ilustración 10 Curvas en Radiación Mínima del Sistema.....	40
Ilustración 11 Curvas de la Demanda de Viento Máximo .....	41
Ilustración 12 Curvas de la Demanda de Viento Mínimo .....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa entre Batería de Plomo Ácido e Ión Litio .....	14
Tabla 2 Potencia Instalada Isla San Cristóbal.....	26
Tabla 3 Tabla de Demanda del Sistema .....	28
Tabla 4 Resultados en Demanda Máxima .....	28
Tabla 5 Resultados en Demanda Mínima .....	29
Tabla 6 Resultados de Generación Solar .....	29
Tabla 7 Resultados de Radiación Máxima.....	30
Tabla 8 Resultados de Radiación Mínima.....	30
Tabla 9 Resultados de Generación Eólica .....	33
Tabla 10 Resultados de la Velocidad del Viento Máxima.....	34
Tabla 11 Resultados de Velocidad del Viento Mínima .....	34

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día buscamos alternativas para reducir la contaminación ambiental en el planeta y a su vez satisfacer las necesidades del hombre, por esta razón en el sector eléctrico tenemos varias opciones para aportar en esta medida, como ejemplo se puede mencionar el uso de fuentes de energías renovables, el cual nos genera muchas oportunidades en el área económica y técnica. Las fuentes renovables establecen las bases de los tres pilares del desarrollo sostenibles: económico, social y calidad medioambiental. Por lo que esta temática energética constituye de manera internacional una importante estrategia para el abastecimiento energético para reducir la contaminación. En Ecuador, los carros eléctricos significan una evolución a gran escala, ya que es un nuevo tipo de sistema de movilidad, el cual se enfoca a conservar al medio ambiente, este tipo de vehículos requiere un mantenimiento constante al igual que un vehículo con motor de combustión interna para que se mantenga en óptimas condiciones, sin embargo, a largo plazo podemos determinar una falencia en lo relacionado al desecho de sus baterías.

Las baterías de Iones de Litio (Li-ion) tienen una alta densidad de energía, un buen rendimiento a altas temperaturas y son reciclables. Las principales ventajas de las baterías de Li-ion son un bajo efecto de memoria, una alta potencia específica (W/kg), una elevada energía específica (Wh/kg) y una larga vida útil. [1]

Si comparamos los precios de una batería de litio y una de plomo-ácido, obviamente la batería de litio es mucho más costosa. Sin embargo, si comparamos el precio al final de la vida útil de cada batería, vamos a ver que el litio es más económico.

Lógicamente no todas las baterías de litio y de plomo ácido tienen las mismas características, por lo tanto, vamos a analizar la batería BYD y un tipo genérico de las baterías de plomo ácido OPZS, que son la tipología más versátil y duradera de las baterías de plomo ácido

Por ejemplo, comparamos una batería 6 OPZS 300 y una B-Box 5.0 de BYD. [2]

	Batería de Plomo-ácido 6 OPZS 300	Batería de litio B-BOX5.0
Capacidad útil en 10horas	3600 Wh (C10 DOD 50%)	5000 Wh
Ciclos	2500	7000 (DOD 70%)
Garantía	2 años	10 años
Precio aprox.	2500 Euros	3977 Euros
Precio por ciclo	1	0.56

**Tabla 1 Comparativa entre Batería de Plomo Ácido e Ión Litio**

La distribución de energía eléctrica es esencial en un sistema eléctrico, debido que tenemos muchos usuarios conectados a ella; el sistema convencional de distribución de energía eléctrica presenta deficiencias tales como pérdida de energía por caída de tensión efecto piel. [3]

## **1.1 Descripción del problema**

En un sistema de distribución con alta penetración de fuentes renovable tenemos beneficios en corto y largo plazo en el ámbito eléctrico y ambiental, pero de manera económica podemos tener ingresos no favorables, ya que el costo del módulo de batería suele ser muy elevados, aunque si se elige un buen proveedor de baterías podremos obtener un eficiente sistema de almacenamiento. Para mantener nuestro sistema estable, muchas veces debemos acudir a otras inversiones, como comúnmente son los bancos de capacitores estos nos ayudan a que no tengamos caídas de tensión en la red eléctrica, que suele producirse por aumento en la demanda o por pérdidas eléctricas.

Ante esta situación de realizar pagos extras, queremos plantear un análisis que aporte un beneficio doble con nuestras baterías, ya que con ella podemos cubrir nuestra demanda, pero también podemos vender energía reactiva a compañías que necesiten solucionar sus problemas de caída de tensión.

Nuestro estudio pretende abarcar el sector de las baterías desechadas por los carros eléctricos, ya que podríamos reutilizarlas y a su vez venderíamos energía reactiva a la red.

## **1.2 Justificación del Problema**

En el sistema de generación y distribución eléctrica en San Cristóbal cuenta con dos tipos de generación renovables, estas son eólica y fotovoltaica. Determinamos caídas de tensión cuando las líneas son de larga longitud o tenemos un exceso de demanda, para mejorar esta situación normalmente usamos banco de capacitores, pero al tener una fuente renovables podríamos dar un doble uso a nuestra baterías, ya que nos podría proveer de potencia reactiva para mejorar la tensión en nuestra red. Las baterías de litio tiene muchos usos en nuestra sociedad, ya que también la empleamos en los vehículos eléctricos, para ello buscamos a largo plazo la reutilización de dichas baterías para evitar su acumulación y emisión de químicos altamente peligroso, puesto que en el área de distribución no es muy importante la carga/descarga de ellas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar la generación de potencia reactiva a través de Sistemas de Baterías Battery Energy Storage System (BESS) y determinando la posible reutilización de baterías de litio de los carros eléctricos en un SEP para la conservación del medio ambiente.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Estudiar la operación del sistema de baterías de litio basado en la entrega de energía reactiva.
2. Determinar la capacidad de carga/descarga de las baterías de ion litio para el funcionamiento en la generación de energía reactiva.
3. Generar simulaciones a partir del funcionamiento de las baterías y analizando el estado de carga de ellas, formas de ondas de potencia activa y reactiva entregada a la red
4. Evaluar la rentabilidad de la reutilización de las baterías de litio de los vehículos eléctricos en un SEP.



## **1.4 Marco Teórico**

### **1.4.1 Generación de Potencia Reactiva**

Por lo regular, la potencia reactiva es administrada en la mejor manera por una autoridad central que tiene información completa de la red, puede observar donde existe la demanda por la potencia reactiva en tiempo real para el propósito de despacho, y puede identificar las necesidades en el largo plazo. Un administrador (operador) central del sistema tiene generalmente alguna responsabilidad para la planificación en el largo plazo. Como el administrador usualmente tiene autoridad operacional sobre el sistema, este puede preferir usar la capacidad de provisión/absorción de energía reactiva de los generadores a ningún costo o a un costo despreciable, lo que en el largo plazo disminuye la necesidad de nuevas inversiones por parte de los dueños de los activos de transmisión.

Tenemos tres tipos de esquemas de compensación económica para la potencia reactiva provista por generadores. En el primer esquema, los generadores no son compensados por la provisión de la cantidad obligatoria de la potencia reactiva. En el segundo esquema, los generadores pueden recuperar los costos asociados con la capacidad reactiva obligatoria. Con el tercer esquema, el operador y propietario de la red, paga los generadores un cargo por el uso cuando opera dentro de su factor de potencia obligatorio. Este pago no es basado necesariamente en el costo de cada generador, pero es determinado administrativamente para el sistema total. [4]

### **1.4.2 Suministro de Potencia Reactiva**

El Agente del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) deberá suministrar la potencia reactiva, cumpliendo con los índices señalados en el numeral 2, con su propio equipamiento. En caso de que dicho equipamiento fuera insuficiente, o estuviera indisponible, el Centro Nacional de Control de Energía de la República del Ecuador (CENACE Ecuador) determinará la operación de un equipamiento adicional disponible de otros Agentes para así cumplir con el control de voltaje requerido en el SNI. “Sin perjuicio de lo anotado en el párrafo anterior, el Agente que esté incumpliendo con los índices señalados en el numeral 2, para corregir dicho

incumplimiento, podrá contratar con otro Agente para el suministro de potencia reactiva. El Agente que suministre potencia reactiva adicional, luego de cumplir con los parámetros de calidad obligatorios mencionados en el numeral 2, será remunerado por dicha producción de potencia reactiva”.

### 1.4.3 Costos de Producción de Reactivos

Los costos de producción de la potencia reactiva se calcularán en base a costos fijos y costos variables declarados por los Agentes propietarios.

#### 1.4.3.1 Costos fijos Precio Unitario de la Potencia Reactiva

El precio unitario de la potencia reactiva será declarado por el Agente propietario y corresponderá al costo unitario mensual del capital y los costos 4 fijos de operación y mantenimiento únicamente de los equipos que funcionan para producir potencia reactiva, se incluirá también la parte proporcional de equipos auxiliares que se utilicen exclusivamente para este tipo de operación de producción de reactivos. Con este costo declarado se remunerará la potencia reactiva, podrá ser reajustado mensualmente y estará sujeto a la verificación por parte del CENACE.

La fórmula para aplicarse:

$$PUPRRm = A * FRCm \left(1 - \frac{PRa}{PEa}\right) * (PPI) \quad (1)$$

Donde:

**PUPRRm**= Precio Unitario de Potencia Reactiva Remunerable mensual (US \$KVAR/mes)

**A**= Porcentaje de la inversión total de equipamiento, considerando aquellos destinados exclusivamente para el control de voltaje.

**FRCm**= Factor de recuperación del capital mensual.

**PRa**= Potencia Remunerada activa puesta a disposición calculada por el CENACE en base al Art 16 del MEM (MW)

El Factor de Recuperación del Capital por mes (**FRCm**) se calcula con la siguiente expresión:

$$\mathbf{FRCm} = \frac{\mathbf{FRC}}{12} \quad (2)$$

Donde FRC es el Factor de Recuperación de Capital anual que se calcula con la siguiente expresión:

$$\mathbf{FRCm} = \frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \quad (3)$$

donde:

**n** = vida útil media en años.

**i** = tasa de interés anual para dólares americanos

El CENACE calculará junto con la programación estacional los valores que, por la Potencia Reactiva Remunerable Disponible, corresponden pagar a los generadores, transmisor, distribuidores y grandes consumidores. [5]

#### **1.4.3.2 Costos Variables**

Se entenderá por costo variable aquel que cambia en función del período de operación u horas de funcionamiento del compensador sincrónico o del equipo estático destinado exclusivamente para el control de voltaje.

$$\mathbf{CEEC} = \mathbf{PEA} * \mathbf{REA} \quad (4)$$

donde:

**CEEC** = Costo de energía eléctrica consumida.

**PEE** = Precio medio de la energía eléctrica para un consumidor en media tensión, de la Empresa Distribuidora que tenga la concesión en la zona donde se encuentra el Generador, en sucres/kWh

**REA** = Rendimiento del equipo, (kWh / kVARh), sobre la energía eléctrica activa consumida y referido a la producción de energía reactiva. Se calculará dividiendo la energía activa consumida anual para la energía reactiva anual generada (GERa), cuando opera como compensador sincrónico.

#### **1.4.4 Battery Energy Storage System (BESS)**

Actualmente las fuentes de generación de energía en las redes eléctricos podrían dividirse en térmicas, hidroeléctricas y renovales no convencionales. La generación

con estas últimas está directamente ligado a la disponibilidad y variabilidad del recurso. Sumado a esto, la tarea coordinada de mantener la relación generación-demanda se transforma en un parámetro difícil de regular por medio de estas energías. Dada estas condiciones, es importante optimizar la disponibilidad del recurso en los momentos en que la demanda energética del sistema no requiere la inyección de potencia. Para ello, es de suma importancia conservar la energía que excede a la demanda en determinado momento, para luego ser devuelta al sistema según las necesidades. El proceso fundamental se basa en la conversión de energía eléctrica AC en DC para ser estas acumuladas en grandes bancos de baterías (BESS).

La energía ahora acumulada está disponible para ser utilizada en momentos donde el sistema lo requiera. Esto puede ser requerido principalmente de forma intermitente cuando el BESS está diseñado para realizar aportes de potencia para mantener constante la frecuencia del sistema, otra perspectiva es el aporte de potencia activa en momentos de alta demanda. Estos aportes pueden ser por períodos cortos de tiempo, o en otras aplicaciones, durante lapsos de tiempo mayores realizando una descarga lenta de las baterías. Para lograr esto, se debe transformar nuevamente esta energía acumulada para que sea compatible con el sistema eléctrico. El proceso realizado se denomina "inversión". Mediante el uso de electrónica de potencia se adapta la energía en su forma DC a valores AC adecuados en tensión y frecuencia. De esta manera se logra descargar las baterías inyectando potencia activa al sistema en los momentos en los que este lo necesite. [6]

Entre los principales beneficios que podemos encontrar destacan:

- Se puede optimizar el despacho de centrales eléctricas a plena carga, aumentando la eficiencia y simplificando la operación de estas.
- La generación de energía de fuentes intermitentes como pueden ser las energías renovables puede ser almacenada para ser utilizada luego.
- El proceso de almacenamiento de la energía no tiene aportes contaminantes con lo cual es compatible con las energías renovables. [7]

Existen distintas implementaciones de BESS cada una con características técnicas propias al desarrollarse con baterías de diferentes tipos como Ion-litio, níquel, plomo-ácido, sulfuro de sodio y flujo redox. [8]

### **1.4.5 Baterías de Litio**

El litio (Li) es un metal alcalino blando, inflamable, blanco plateado, dúctil y muy poco pesado. Actualmente, su principal uso se da en las baterías. Las de iones de litio cargan rápido y tienden a durar mucho más. A diferencia de las baterías de níquel, las de litio tienen una mayor vida útil y densidad energética. Se considera que, al poseer un mayor almacenamiento de energía, pueden aumentar su autonomía. Además, son más livianas, ya que el litio es el material más liviano que existe para propósitos de almacenamiento de energía. No obstante, tienen el problema de que deben sustituirse cada varios cientos de ciclos de carga.

Las baterías de óxido de cobalto/litio tiene el beneficio de una alta densidad de energía que, aunque a veces puede tener problemas de seguridad, son de gran durabilidad. Por otro lado, las baterías de litio/óxido de magnesio son utilizadas por su seguridad, pero su rendimiento no siempre es eficiente frente a altas temperaturas.

En tanto las baterías de fosfato de hierro poseen las mejores cualidades, ya que, además de ser seguras, también duran aproximadamente 2.000 ciclos de carga. Esto la convierte en la batería de litio con la mayor durabilidad. Estas están disponibles en dos composiciones químicas similares: pueden ser cilíndricas o tubulares, o planas de polímero, que son más conocidas como baterías de Li-Po. Ambos tipos producen entre 3,6 o 3,7 voltios. [9]

#### **1.4.5.1 Vida de una Batería de Ion-Litio**

Durante el congreso anual de la sociedad americana de química (ACS, que incluye prestigiosas publicaciones, como JACS, Nano Letters o Chemical Reviews) el especialista en baterías Mikaël Cugnet llevó a lugar una charla sobre la degradación de las baterías de ion-litio usadas en vehículos eléctricos.

La cifra dada durante esta conferencia fue muy amplia, entre 5 y 20 años, siempre dependiendo de varios factores, los enemigos de la batería.

Se considera que una batería está en buenas condiciones mientras mantenga el 80% de su capacidad original. Por lo tanto, cuando se habla de estimación de vida de la batería no se refiere a un fallo completo de la batería sino a una caída de la capacidad

de esta, pudiendo seguir usándola durante más tiempo, pero teniendo en cuenta que hemos perdido un 20% de autonomía. [10]

#### **1.4.6 Baterías de Autos Eléctricos**

La batería es el núcleo de cualquier vehículo eléctrico, lo dota de autonomía y determina en gran medida el precio inicial de este. Existen distintos tipos de baterías para coches eléctricos, siendo las más utilizadas las de ion-litio, ya que “concentran una alta densidad energética (de más de 250 Wh/kg) en poco espacio y peso”. Son las que más mejoras pueden ofrecer a corto plazo. Pero por el momento, ninguna batería para auto eléctrico es eterna y las diferentes marcas de autos están obligadas por ley a retirarlas una vez finalizada su vida útil. China ya ha regulado al respecto entrando en vigor desde Agosto 2019, una ley que convierte a los fabricantes de automóviles en responsables de las baterías obsoletas e impide que estas sean depositadas en vertederos o abandonadas. A China le siguen la Unión Europea y Estados Unidos, quienes preparan sendas propuestas al respecto. [11]

##### **1.4.6.1 Segunda Vida a las Baterías**

La proliferación de los coches eléctricos en las próximas décadas tendrá muchas consecuencias a nivel energético. Una de ellas tiene relación con las baterías que emplean estos vehículos. El ion litio espreciado por ser una tecnología cara de fabricar y, hoy en día, la mejor fuente de acumulación de electricidad.

La pregunta es qué se puede hacer con todas esas baterías cuando ya no sirvan para los coches. La consultora McKinsey & Company en estudios recientes ha establecido ciertas medidas a establecer para tomar medidas ante este asunto. En primer lugar, señala que en el futuro habrá teravatios-hora repartidos entre todos los automóviles. Una inmensa fuente de acumulación.

Sin embargo, la vida útil de la batería será menor que la de un vehículo. Por lo que a los diez años aproximadamente habrá que cambiarla. Para un coche hay que cumplir ciertos estándares: que la batería tenga operativa más del 80% de su capacidad y se descargue como mucho un 5% en 24 horas, más allá de esto convendrá reemplazarla.

Aun así, tiene todavía mucha vida por delante. El reciclaje y la reutilización de las baterías se ha convertido en una necesidad acuciante. Sobre todo debido a la escasez de ciertos materiales, como el cobalto o el propio litio. [12]

Que una batería ya no sirva para alimentar un vehículo eléctrico, no significa que esta haya perdido toda funcionalidad y capacidad de carga. De hecho, uno de los temas que están de actualidad es la necesidad de reutilizar estas baterías, darles una segunda vida y evitar que en el futuro se conviertan (quizá) en uno de los mayores residuos del planeta debido a la previsión del aumento del parque de vehículos eléctricos a nivel mundial. Algo que, además, podría abaratar el coste de un coche eléctrico gracias al reciclaje de sus baterías. Se calcula que en el año 2025 se alcanzará la suma de 3,4 millones de dispositivos, según "Highmotor", blog de noticias del motor y revistas de coches, en 2030 se estima que habrá 17 millones de coches eléctricos en Europa según un informe elaborado por la consultora Element Energy. [13]

En su estudio de la situación actual del manejo de baterías, McKinsey & Company indica las ventajas de la reutilización de las baterías, una vez hayan finalizado su vida útil en los coches tendrán que pasar de nuevo por la fábrica para hacer algunos ajustes. Y después podrán servir para otras aplicaciones más exigentes.

La consultora calcula que en el año 2030 habrá disponibles más de 200 GWh en acumulación en baterías de segundo uso. Este volumen sería mayor que la demanda global de ion litio ese mismo año, que constituirá un mercado de 30.000 millones de dólares. [14]

Las estadísticas en Ecuador indican que: En el Ecuador existen hoy en día 1.965.538 vehículos livianos que se dividen de este modo: 968.900 automóviles, 419.350 SUV y 577.288 camionetas.

Respecto a vehículos comerciales hay un total de 301.806, divididos en 223.068 camiones, 33.093 autobuses y 45.645 vans. [15]

#### **1.4.6.1.1 Estaciones de Servicio alimentadas por una Instalación Fotovoltaica**

Es posible otorgar una segunda vida a las baterías de coches eléctricos a través de la reutilización de estas en estaciones de servicio alimentadas por una instalación fotovoltaica. La movilidad eléctrica unida a la energía fotovoltaica es la clave del éxito.

Equipar las estaciones con placas fotovoltaicas y baterías de segundo uso para almacenar energía, dan lugar a un ecosistema que permite abastecerse de energía limpia, sin necesidad de aumentar la potencia contratada en la estación y consecuentemente fomentar el ahorro económico y energético.

El hecho de almacenar la energía generada por las placas fotovoltaicas durante el día en estas baterías permite, en caso de recarga de vehículo eléctrico en la estación y cuando se requiere más potencia energética, suministrar la energía suficiente durante la carga sin alterar el termino fijo de potencia de la instalación. Traducido al rendimiento económico de una estación de carga, esto supone el 60 o 70% del coste de forma que se amortiza mucho antes la inversión en un punto de recarga.

Las grandes marcas de automóviles como Toyota, General Motors, BMW, Renault y Nissan entre otros, están colaborando con proveedores de sistemas de almacenamiento para buscar (y en algunos casos ya implementar) alternativas para alargar su vida útil, abrir nuevas líneas de negocio y, de esta forma, contribuir a la economía circular (llamada también “energía circular”) del propio sector energético.

Suministrar energía para el alumbrado público, respaldo para el funcionamiento de un parque eólico, reciclaje para nuevos usos en vehículos eléctricos o energía para edificios y hogares, son algunas de las iniciativas propuestas para un mercado emergente de mucho recorrido. [16]



# CAPÍTULO 2

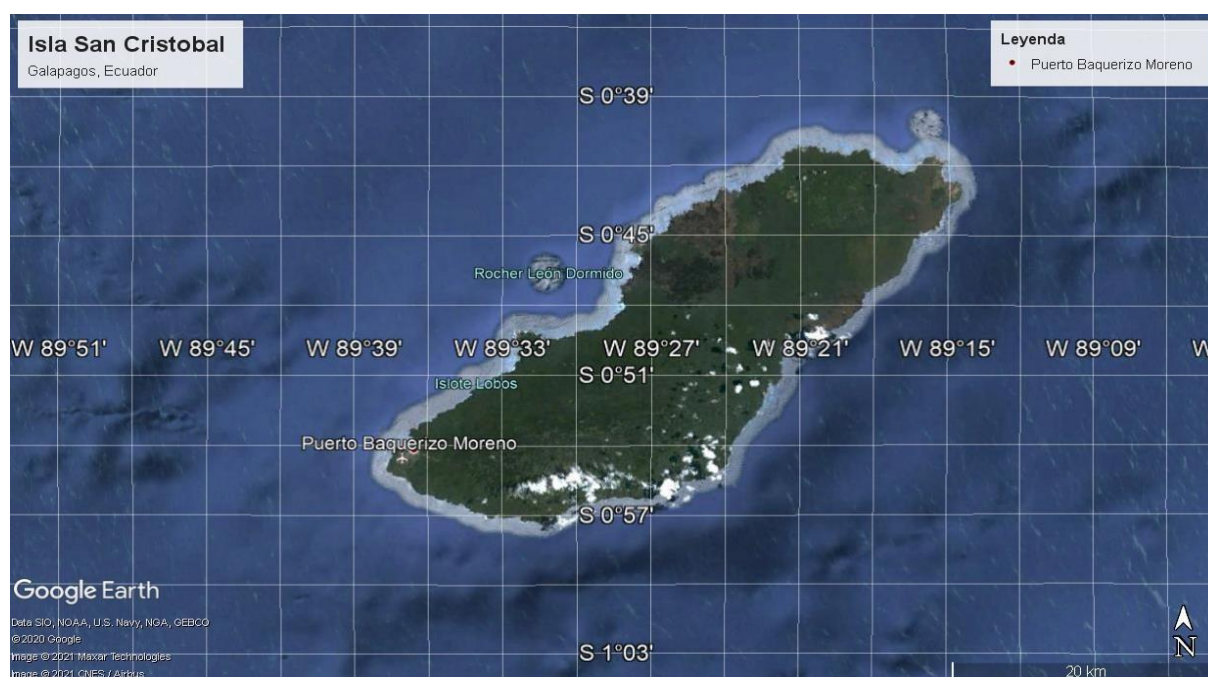
## 2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se analizará la energía activa y energía reactiva en la red de San Cristóbal, mediante un flujo de potencia simulado en el software Digsilent, así podremos observar las curvas de voltaje y potencia en nuestro software Simulink de Matlab.

Esta simulación servirá para diagnosticar si es posible utilizar nuestras baterías para generar reactivos y así poder vender a otra compañía.

### 2.1 Descripción de la Red Eléctrica

San Cristóbal hoy en día posee una planta térmica compuesta por 5 unidades a diésel, una planta eólica compuesta por 3 aerogeneradores y un parque fotovoltaico. La disposición geográfica de la red se aprecia en la Ilustración 1. [17]



**Ilustración 1 Disposición Geográfica San Cristóbal**

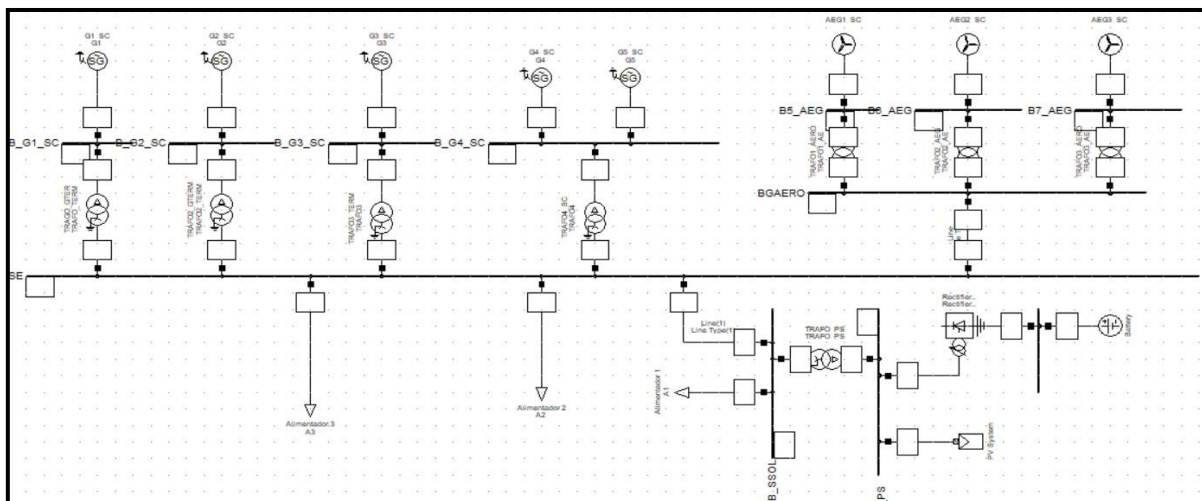
Para el diseño de nuestra red usamos el software Digsilent, partimos con la generación instalada en la Isla San Cristóbal, la información de la potencia instalada la podemos observar en la Tabla 2. [18] Así mismo la Empresa Eléctrica de Galápagos nos proporcionó los datos anuales

como la radiación solar, vientos y curva de carga ya que, serán indispensable para todo el análisis a realizar.

CENTRAL	TIPO CENTRAL	SUBTIPO CENTRAL	POTENCIA NOMINAL [MW]	POTENCIA EFECTIVA [MW]
San Cristóbal	Térmica	MCI	7,41	5,91
San Cristóbal Eólico	Eólica	Eólica	2,4	2,4
San Cristóbal Solar Eólica	Fotovoltaica	Fotovoltaica	0,013	0,013
<b>Total Térmica</b>				5,91
<b>Total Eólica</b>				2,40
<b>Total Fotovoltaica</b>				0,013

**Tabla 2 Potencia Instalada Isla San Cristóbal**

El modelo presentado en la Ilustración 2 nos muestra el sistema eléctrico de distribución proporcionado por la Empresa Eléctrica de Galápagos, en el cual simularemos los generadores térmicos, eólicos y el parque fotovoltaico.



**Ilustración 2 Red del Sistema San Cristóbal en Software Digsilent**

El uso del software Digsilent será de mucha ayuda para obtener el flujo de potencia, para poder observar la distribución de la energía activa y reactiva que fluye en la red, así sabremos si nuestras baterías tendrán el potencial de estabilizar a nuestra red y colateralmente compensar nuestro factor de potencia.

Todos los datos para realizar las simulaciones fueron extraídos de la base de datos de la Empresa Eléctrica de Galápagos para luego ser importados en Matlab.

## 2.2 Flujo de Potencia

En el flujo de potencia (Ilustración 3) para esta red analizaremos tres casos para obtener los valores de la potencia activa y reactiva del sistema para determinar la funcionalidad de las baterías de litio. Los datos de carga y de generación fueron ingresados en el Software Digsilent, los aerogeneradores y el parque fotovoltaico van a trabajar en todos los caso con un factor de potencia igual a uno, este software lo hemos utilizado para obtener los valores del flujo de potencia, ya que dichos valores serán de gran importancia para la simulación en Simulink de Matlab.

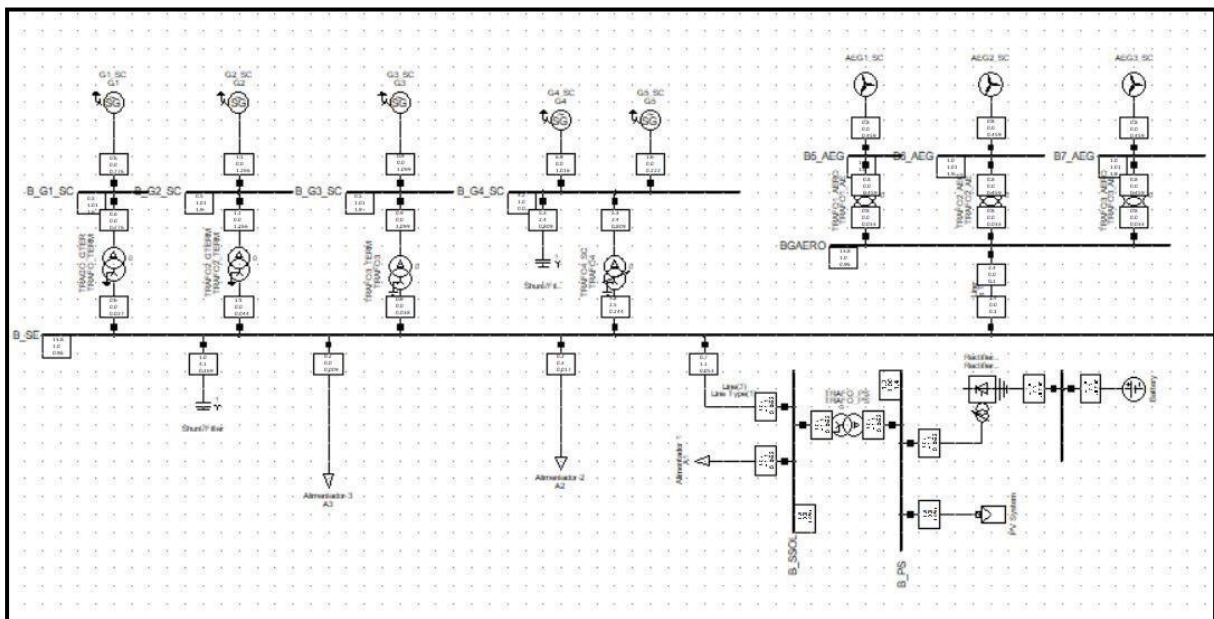


Ilustración 3 Flujo de Potencia del Sistema

### 2.2.1 Flujo de Potencia a partir de la demanda

En la red de la Isla San Cristóbal tenemos tres alimentadores, el cual si sumamos los valores de carga asignados tenemos la carga total sin tomar a consideración las pérdidas a los largos de estos. Se procederá a analizar la demanda máxima y mínima para poder determinar el flujo de potencia, estos valores se obtuvieron de la curva diaria en la isla San Cristóbal de los tres alimentadores que se encuentran en este sitio como se muestra en la Tabla 3.

	HORA	A1		A2		A3	
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
<b>DEMANDA MAXIMA</b>	20:30	1,487	0,383	1,311	0,35	0,217	0,04
<b>DEMANDA MINIMA</b>	8:10	0,178	0,0889	0,171	0,066	0,093	0,031

**Tabla 3 Tabla de Demanda del Sistema**

#### 2.2.1.1 Demanda Máxima del sistema de San Cristóbal

Con los generadores térmicos trabajando a un 60% y la fuente renovable está trabajando la máxima potencia en ese horario, como se muestra en la Tabla 4 obtenemos tanto en MW, como MVAR son de Aerogeneradores, sistema Fotovoltaico y de Baterías. La demanda máxima es de 3.3 MW a las 20h30 de la noche, por lo tanto, en este horario del día no tendremos producción de energía solar, pero tenemos la energía almacenada en las baterías.

	AEG_SC (1-2-3)	FOTOVOLTAICO_SC	BATERIAS
<b>MW</b>	1,55	0	0.5
<b>MVAR</b>	0	0	0,02

**Tabla 4 Resultados en Demanda Máxima**

### 2.2.1.2 Demanda Mínima del sistema de San Cristóbal

Para este caso, nuestra demanda mínima es en el horario de las 8h10 de la mañana, en donde los generadores térmicos van a estar trabajando a su límite mínimo que es 25%.

En este periodo las baterías no tienen la necesidad de respaldar a la demanda como se muestra en la Tabla 5 debido a que tenemos una demanda de 0.442 MW, en este periodo las baterías aprovechan en recargarse para posible incremento en la demanda en horas posteriores.

	<b>AEG_SC (1-2-3)</b>	<b>FOTOVOLTAICO_SC</b>	<b>BATERIAS</b>
<b>MW</b>	0,211	0,00711	0.0
<b>MVAR</b>	0	0	0.0

**Tabla 5 Resultados en Demanda Mínima**

### 2.2.2 Flujo de potencia a partir del sistema fotovoltaico.

Para el presente caso analizaremos la Generación Solar cuando tengamos radiación Máxima como Mínima. Los valores de la radiación mencionados anteriormente se muestra en la Tabla 6, para ello tenemos diferentes horarios como en el caso anterior.

	<b>HORA</b>	<b>GENERACIÓN SOLAR</b>
<b>RADIACIÓN MÁXIMA</b>	12:10	0.0103 MW
<b>RADIACIÓN MÍNIMA</b>	10:10	0.00648 MW

**Tabla 6 Resultados de Generación Solar**

Cabe destacar que la máxima radiación ocurre a las 12h10, mientras que la mínima da lugar a las 10h10.

#### 2.2.2.1 Radiación Máxima del sistema de San Cristóbal

En la Tabla 7, vamos a observar los valores obtenidos tanto en MW, como MVAR para los Aerogeneradores, sistema Fotovoltaico y de Baterías referentes a la Radiación Máxima.

En este horario la demanda es de 1.5 MW del cual. todo el sistema renovable está entregando 0.985 MW.

	<b>AEG_SC (1-2-3)</b>	<b>FOTOVOLTAICO_SC</b>	<b>BATERIAS</b>
<b>MW</b>	0.975	0.0103	0.0
<b>MVAR</b>	0	0	0.0

**Tabla 7 Resultados de Radiación Máxima**

### 2.2.2.2 Radiación Mínima del sistema de San Cristóbal

Los valores obtenidos en la Tabla 8 son en MW, como MVAR para los Aerogeneradores, sistema Fotovoltaico y de Baterías referentes a la Radiación Mínima. En este horario la demanda es de MW del cual. todo el sistema renovable está entregando 0.437 MW por lo tanto, las baterías comienza a entregar un poco de energía activa para poder suplir la demanda solicitada.

	<b>AEG_SC (1-2-3)</b>	<b>FOTOVOLTAICO_SC</b>	<b>BATERIAS</b>
<b>MW</b>	0.055	0.00648	0.0468
<b>MVAR</b>	0	0	0.0093

**Tabla 8 Resultados de Radiación Mínima**

### 2.2.3 Flujo de potencia a partir del sistema eólico

Para obtener los datos de viento se escogió datos proporcionados por la Empresa Eléctrica de Galápagos se requerirá de la rugosidad del terreno e interpolación para obtener los viento máximos y mínimos para este ítem. Para poder transformar dicho viento en potencia activa vamos a usar las ecuaciones mostradas a continuación:

Primero debemos obtener la rugosidad del terreno  $Z_o$

$$\ln(Z_o) = \frac{(Z_1) \ln(Z_2) - U(Z_2) \ln(Z_1)}{U(Z_1) - U(Z_2)}$$

Teniendo una velocidad de  $12.2 \text{ m/s}$  a 20 metros de altura y a  $13.8 \text{ m/s}$  a 40 metros de altura.

$$\ln(Z_o) = \frac{(12.2) \ln(40) - U(13.8) \ln(20)}{(12.2) - U(13.8)}$$

$$\ln(Z_o) = -2.28954918$$

$$Z_o = 0.101315$$

Ahora vamos a interpolar nuestra velocidad del viento, ya que la altura de nuestros aerogeneradores está a 50 metros.

$$\frac{U(Z)}{U(Z_h)} = \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}{\ln\left(\frac{Z_h}{Z_o}\right)}$$

Donde:

U = Velocidad de viento

Z = Altura conocida

Z<sub>h</sub> = Altura deseada

Z<sub>o</sub> = Rugosidad del terreno

$$U(Z_h) = U(Z) \frac{\ln\left(\frac{Z_h}{Z_o}\right)}{\ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

$$(Z_h) = 13.8 \frac{\ln\left(\frac{50}{0.101315}\right)}{\ln\left(\frac{40}{0.101315}\right)}$$

$$(Z_h) = 14.315 \text{ m/s}$$

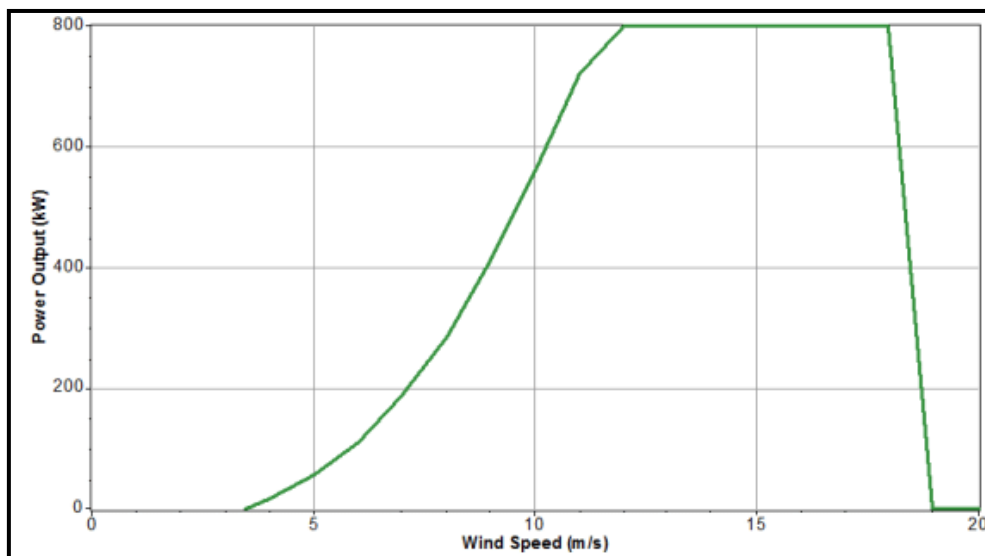
Observando en la curva del tipo del generador MADE AE-59 obtenemos que a 14.315 m/s tenemos 800 KW.

En la Ilustración 4 podemos observar los valores en kilovatios de la Potencia de salida en relación con los valores en metros sobre segundos de la velocidad del viento.

Wind Speed (m/s)	Output Power (kW)
3.5	0
4	17.3
5	55.2
6	109.9
7	186.7
8	284.9
9	409.6
10	560.3
11	722.3
12	800
13	800

**Ilustración 4 Valores de Potencia de Salida según la Velocidad del Viento [19]**

En la Ilustración 5 es posible observar el comportamiento del sistema en cuanto a velocidad del viento y potencia de salida del mismo.



**Ilustración 5 Curva de Potencia Vs Velocidad del Viento [20]**

Ahora teniendo una velocidad de  $1.6 \text{ m/s}$  a 20 metros de altura y a  $1.7 \text{ m/s}$  a 40 metros de altura.

$$\ln(Z_o) = \frac{(3.7) \ln(40) - U(4.1) \ln(20)}{(20) - U(40)}$$



$$Z_o = 0.032847$$

Ahora vamos a interpolar nuestra velocidad del viento, ya que la altura de nuestros aerogeneradores está a 50 metros.

$$\frac{U(Z)}{U(Z_h)} = \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}{\ln\left(\frac{Z_h}{Z_o}\right)}$$

$$U(Z_h) = U(Z) \frac{\ln\left(\frac{Z_h}{Z_o}\right)}{\ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

$$U(Z_h) = 1.7 \frac{\ln\left(\frac{50}{0.032847}\right)}{\ln\left(\frac{40}{0.032847}\right)}$$

$$U(Z_h) = 4.23 \text{ m/s}$$

Observando en la curva del tipo del generador MADE AE-59 obtenemos que a 4.23 m/s tenemos 21.1 KW

En la Tabla 9 tenemos los datos de Generación Eólica en cuanto a la Velocidad del Viento Máxima, así como mínima.

	HORA	GENERACION EOLÍCA
VELOCIDAD DE VIENTO MÁXIMA	13:30	800 MW
VELOCIDAD DE VIENTO MÍNIMA	2:10	0.0211MW

**Tabla 9 Resultados de Generación Eólica**

De la tabla anterior podemos destacar que la Velocidad de Viento Máxima ocurre a las 13h30, mientras que la Mínima se da lugar a las 2h30.

### 2.2.3.1 Velocidad Máxima del Sistema de San Cristóbal

En la Tabla 10, vamos a observar los valores obtenidos tanto en MW, como MVAR para los Aerogeneradores, sistema Fotovoltaico y de Baterías referentes a la Velocidad del Viento Máxima. En este horario tendremos una demanda de 1.18 MW, nuestro sistema renovable estará entregando 0.810 MW.

	AEG_SC (1-2-3)	FOTOVOLTAICO_SC	BATERIAS
MW	0.8	0.006	0.0043
MVAR	0	0	0.0002

Tabla 10 Resultados de la Velocidad del Viento Máxima

### 2.2.3.2 VELOCIDAD DE VIENTO MÍNIMA

En la Tabla 11, vamos a observar los valores obtenidos tanto en MW, como MVAR para los Aerogeneradores, sistema Fotovoltaico y de Baterías referentes a la Velocidad del Viento Mínima.

	AEG_SC (1-2-3)	FOTOVOLTAICO_SC	BATERIAS
MW	0.0211	0	0.061
MVAR	0	0	0.0078

Tabla 11 Resultados de Velocidad del Viento Mínima

## 2.3 Costo de Energía Reactiva

En el Capítulo 1 mencionamos la regulación de Conelec 009/99, el cual tiene la facultad regular el sector eléctrico y establecer procedimiento para el cumplimiento de las Normas de Calidad sobre el Control de Voltaje y Potencia Reactiva, por parte del Agente del MEM (Mercado Eléctrico Mayorista)

Realizaremos este análisis cuando generemos una radiación mínima, para saber cuál sería el costo al generar reactivos para nuestra red o en un caso favorable poder venderla a otro usuario.

$$PUPRRm = A * FRCm \left(1 - \frac{PRa}{PEa}\right) * (PPI) \quad (1)$$

$$PUPRRm = 0.75 * 0.917 \left(1 - \frac{0.436}{0.437}\right) * (0.07)$$

$$PUPRRm = 0.00010165$$

Donde:

$$FRCm = \frac{FRC}{12} = \frac{11}{12} = 0.917$$

$$FRCm = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} = \frac{11 * (1 + 11)^8}{(1 + 11)^8 - 1} = 11.00$$

# CAPÍTULO 3

## RESULTADO Y ANÁLISIS

En el capítulo que se expone a continuación, se presentara los resultados obtenidos de los flujos de potencia aplicados en varios casos, en donde nuestra demanda, radiación y viento cambia a través de la fecha y hora.

Para llevar a cabo un análisis de forma más clara se creó en el sistema de Matlab/Simulink un diagrama de bloques que se presenta en la Ilustración 6, en donde se ingresó los datos obtenidos en el capítulo anterior para posteriormente ser analizados por medio de gráficas.

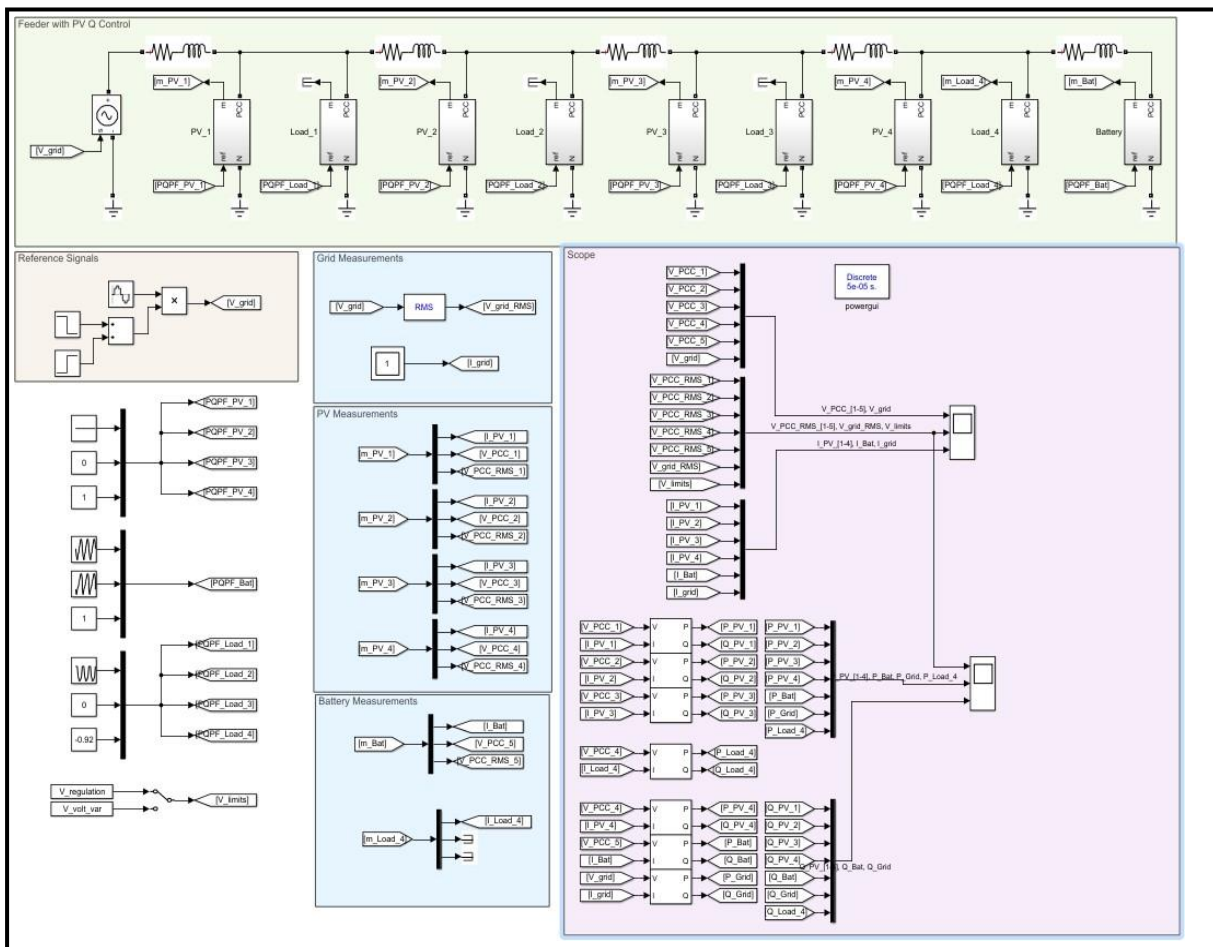


Ilustración 6 Diagrama de Bloque en Simulink / Matlab

### 3.1 Análisis de la Carga Máxima del Sistema

Se recopiló los datos de carga, durante un año en la subestación San Cristóbal, para determinar nuestra demanda máxima de 3.3 MW, así realizar el análisis de nuestro voltaje aplicando la funcionalidad de nuestras baterías de ion litio. En la Ilustración 7 se muestra tres gráficos el cual representa el primero mi voltaje en la red, segundo mi potencia activa de mis paneles fotovoltaicos y tercero mi potencia reactiva de mi batería de ion lito.

Se observa que mi voltaje de la red no se ve afectada por la presencia de mi potencia reactiva, pero en este momento no es factible entrega dicha energía debido a que, mi sistema está en necesitando todas las fuentes de producción de energía para suplir la demanda.

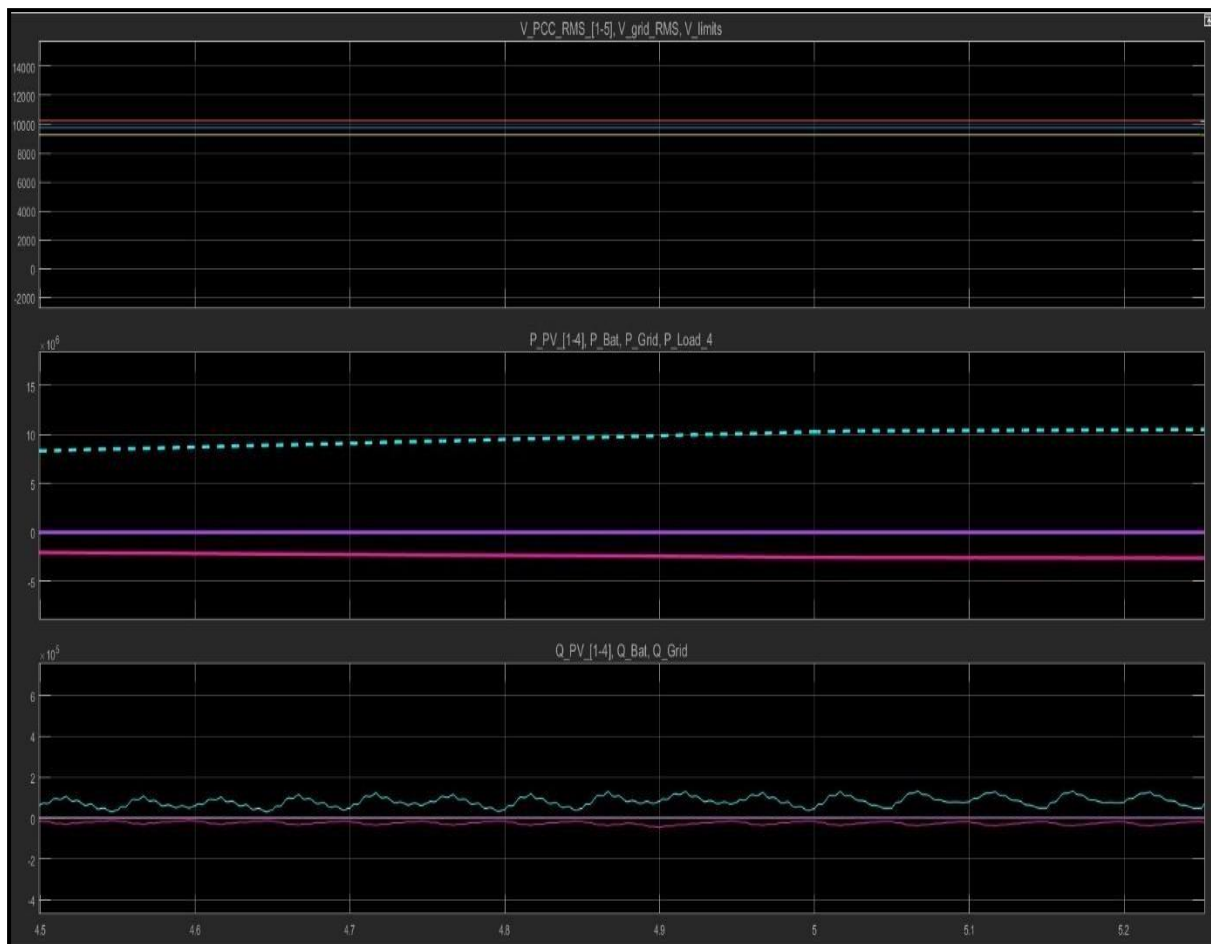


Ilustración 7 Curvas en Carga Máxima del Sistema

### 3.2 Análisis de la Carga Mínima del Sistema

En la Ilustración 8 se puede observar que la red sigue eficiente debido a que, tenemos una demanda escasa y se podría intuir que debemos entregar energía reactiva a la red, pero en este horario del día no podríamos cumplir nuestra hipótesis ya que, nuestras baterías se encuentran cargando. Por esta razón la última curva está por debajo del cero, debido que este no está entregando ningún tipo de energía a la red, solamente se está manteniendo por el sistema eólico, fotovoltaico y generadores térmicos .

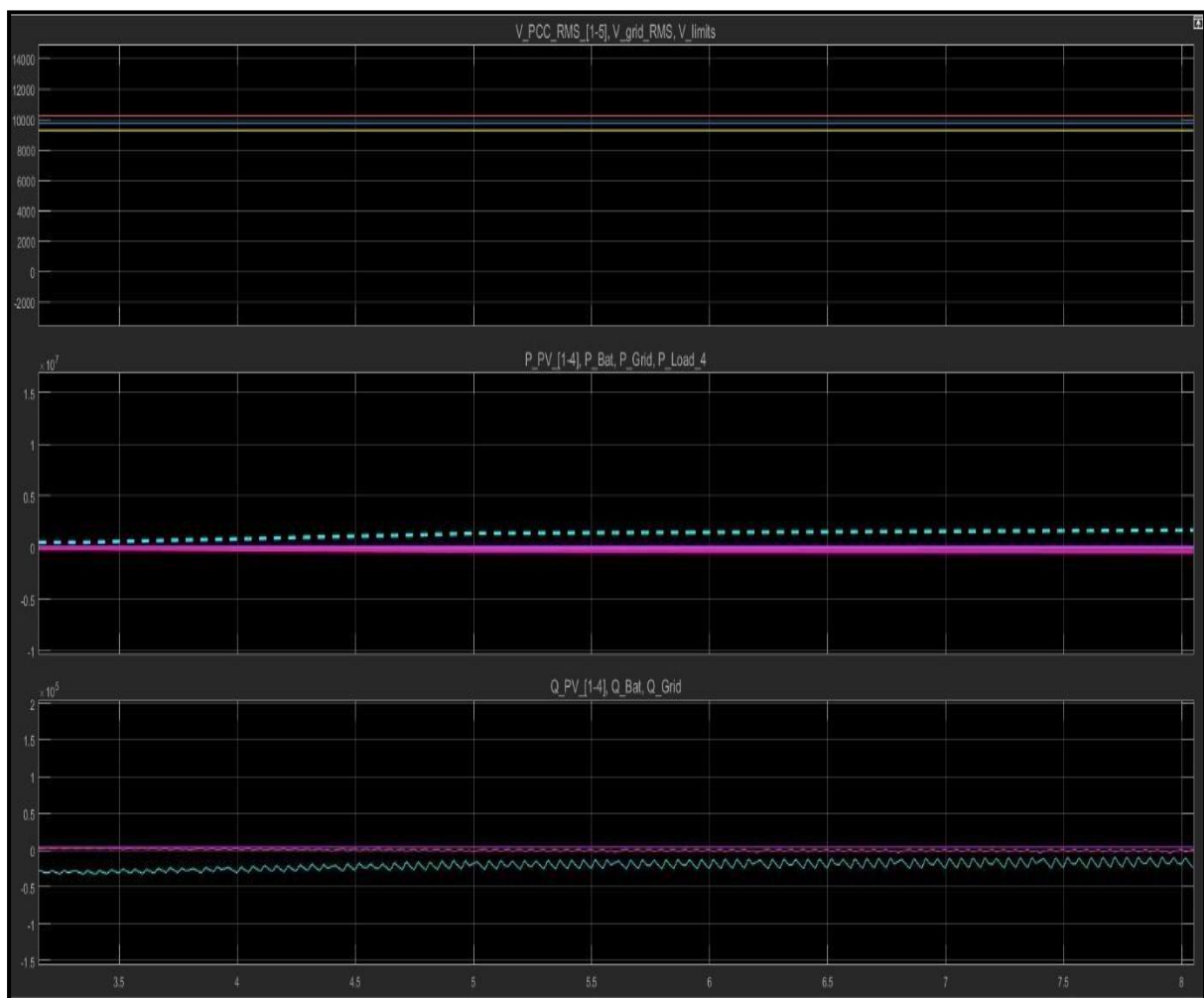


Ilustración 8 Curvas de Carga Mínima del Sistema

### 3.3 Análisis de la Radiación Máxima del Sistema

En este caso, nuestro horario de medición es al medio día por ello tenemos una demanda un poco más elevada que el caso anterior, aunque no estén funcionando el banco de baterías porque ya mi sistema fotovoltaico, eólico y térmico están supliendo toda mi demanda, este es el caso donde el banco de baterías no necesita generar activos para cubrir la demanda de la red, sino que de ser posible vamos a poner generar y vender energía reactiva a otro usuario sin afectar al voltaje de nuestra subestación.

La venta de energía reactiva será una adquisición factible, para cualquier tipo de agente, ya sea residencial, comercial o industrial como se observa en la Ilustración 9

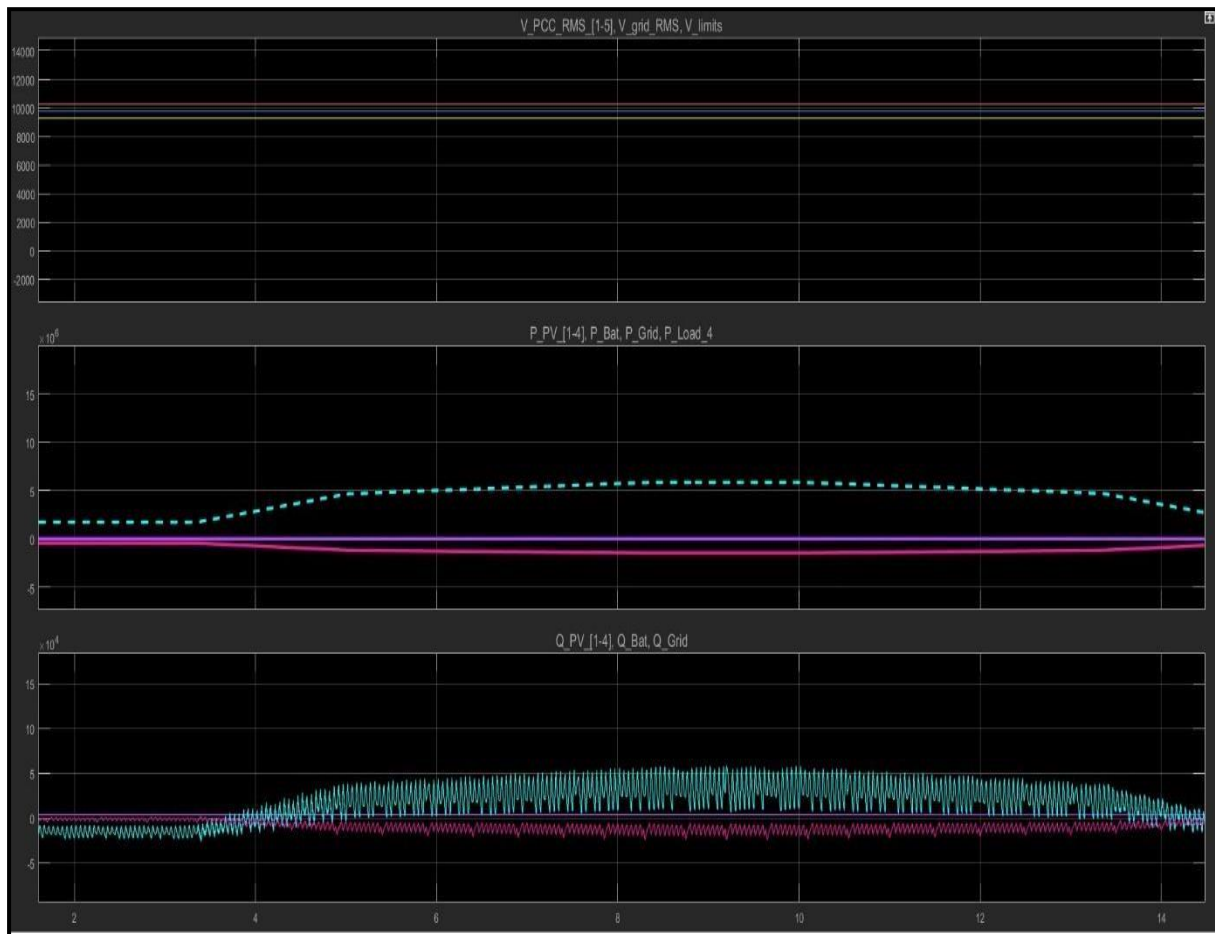


Ilustración 9 Curvas en Radiación Máxima del Sistema

### 3.4 Análisis de la Radiación Mínima del Sistema.

En la Ilustración 10 nuestra demanda es 0.437W, en este horario no tenemos un alto incremento, aunque dependemos mucho de la demanda poblacional, ya que en otros meses tiene a elevarse y mis baterías deben suplir esta carga.

Por lo consecuente , aunque se vea factible el uso de mi batería de Ion-Litio, en algunas ocasiones del año no vamos a tener la carga suficiente para generar reactivos que se necesita para la red. La eficiencia de red nuevamente no se ve afectado por los diversos tipos de generadores en la red eléctrica.

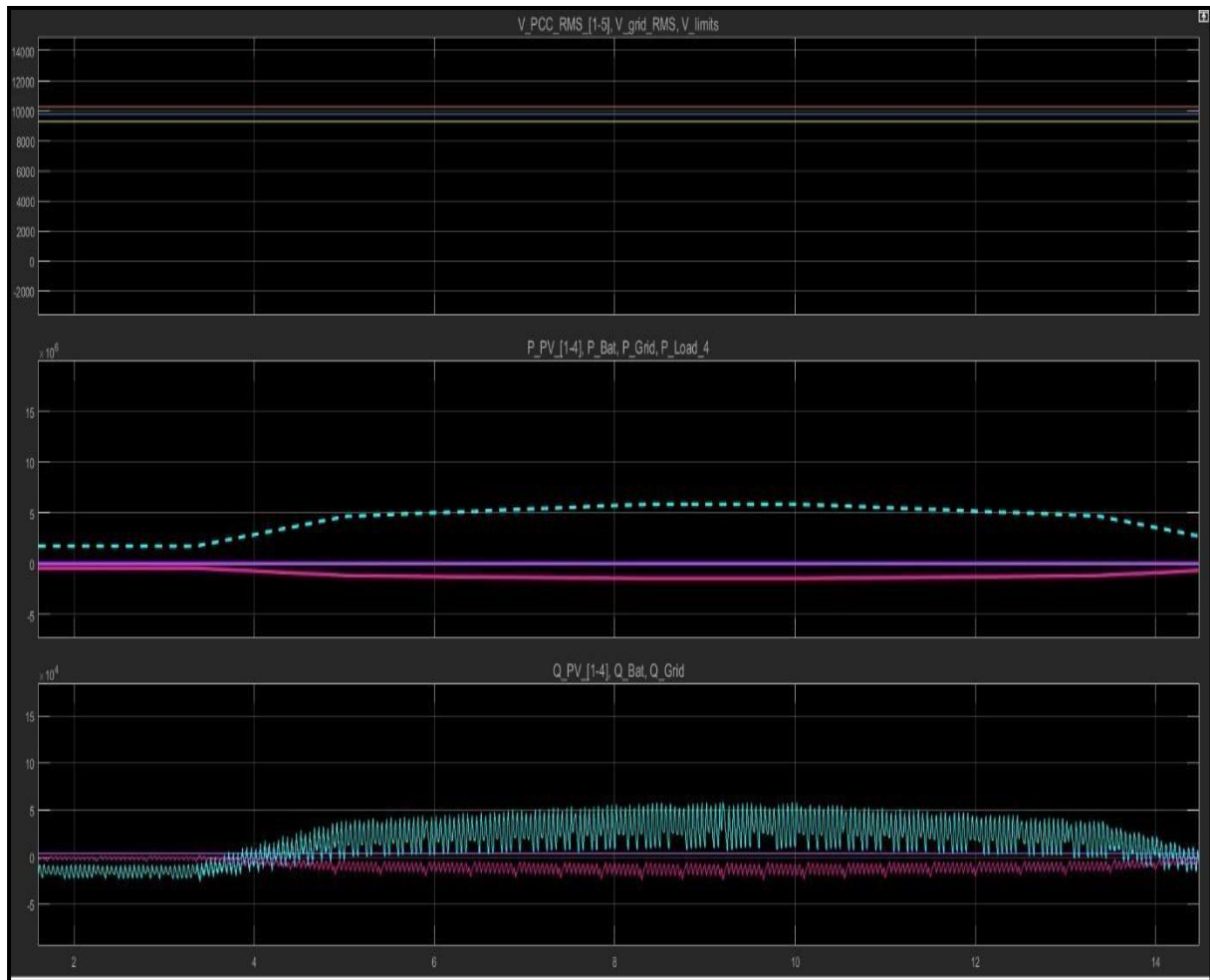


Ilustración 10 Curvas en Radiación Mínima del Sistema



### 3.5 Análisis de la Demanda de Viento Máximo

En el análisis de la ilustración 11 tenemos una demanda de 1.18 MW, el cual es tomada en un horario matutino donde mis generadores eólico están produciendo 800MW, tenemos una generación fotovoltaica baja, debido a que tenemos ausencia de radiación, en este caso mis baterías están a un 30% de carga y trata de suplir a la red enviando un 10% de ellas, es decir que no se podría generar reactivos con las baterías de Ion litio pero si podremos cubrir la carga total del sistema de la Isla de San Cristóbal.

La eficiencia de red nuevamente no se ve afectado por los diversos tipos de generadores en la red eléctrica.

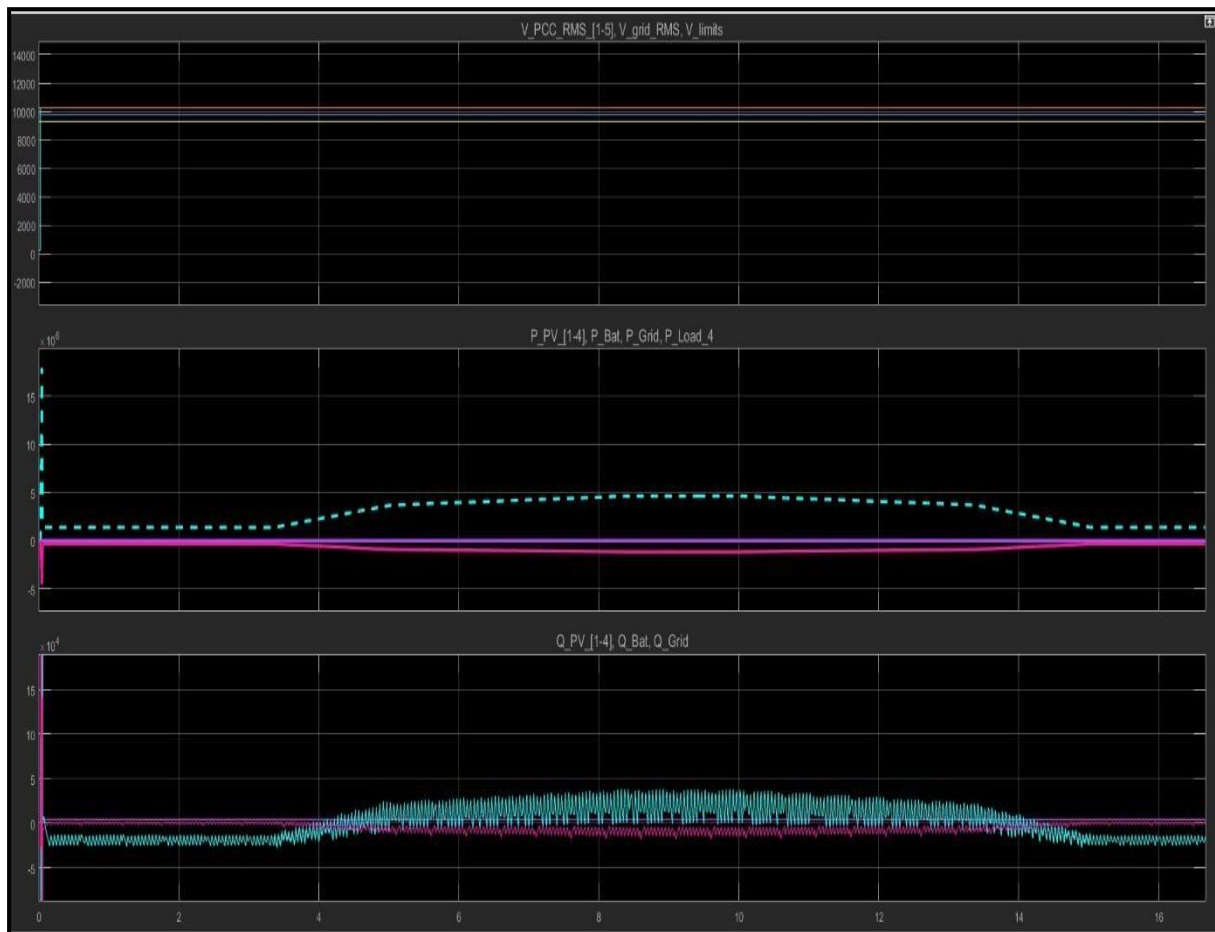


Ilustración 11 Curvas de la Demanda de Viento Máximo

### 3.6 Análisis del Viento Mínimo de la Red

En nuestra red de 13,8KV no esta sienta afectada por la presencia de energía reactiva como se observa en la ilustración 12. La demanda en el horario de la madrugada es de 0.428MW , donde la producción del sistema fotovoltaico no esta presente pero las baterías tampoco ya que, nuestro generador térmico esta trabajando al 25% y la generación eólica está en una producción de 0.0211MW.

La eficiencia de red nuevamente no se ve afectado por los diversos tipos de generadores en la red eléctrica.

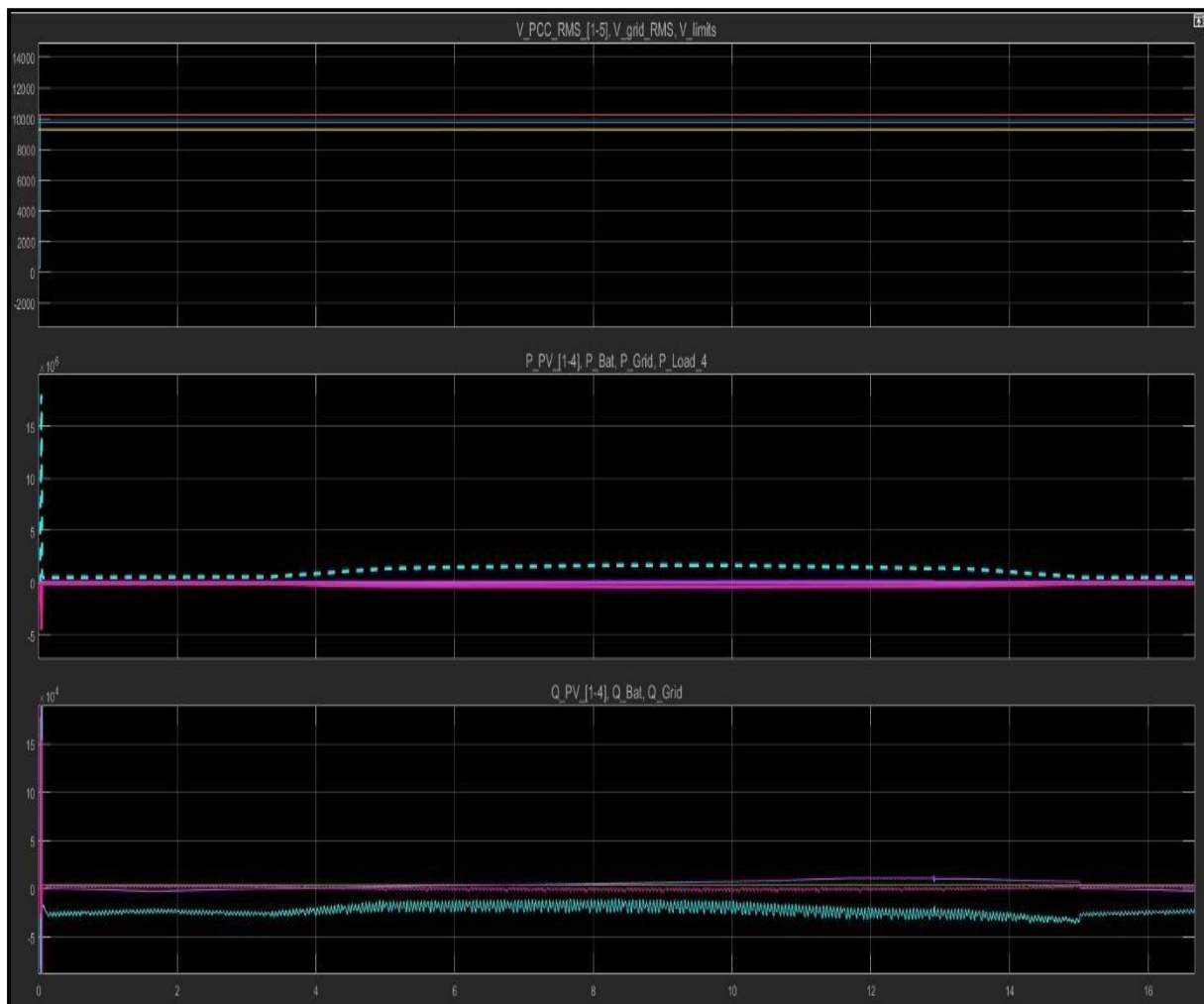


Ilustración 12 Curvas de la Demanda de Viento Mínimo

# CAPÍTULO 4

## 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El mercado de vehículos eléctricos continúa en constante expansión en Ecuador, así como en el mundo. Pese a que la comercialización de estos busca constantemente disminuir la contaminación del aire, su uso plantea nuevos retos ambientales a futuro, como la contaminación que las baterías, posterior a su uso causarían.

La disposición final o reciclaje de las baterías es un tema que las empresas que comercializan estos vehículos deben empezar a considerar para los próximos años. En países más avanzados en este aspecto, ya empiezan a plantear ideas para que las baterías no se transformen en un claro problema ambiental de hecho, la idea sería que no solamente funcionen para poder elaborar otras iguales, sino que de hecho sus elementos se apliquen para otros fines. Las que no puedan ser recuperadas deberán ser depositadas en lugares que cuenten con las condiciones especiales requeridas para que estas no se conviertan en un problema para el suelo. [21]

Hoy en día uno de los temas de mayor relevancia mundial es acerca de los índices de contaminación existentes, el mal manejo de desechos e incluso el desaprovechamiento de los mismos, en nuestro caso de las baterías empleadas en vehículos eléctricos.

Es así que podemos determinar que un Sistema de Baterías de Almacenamiento (Storage Battery System) hará posible la generación de 10000 [kW] de electricidad, lo que sería equivalente a 10000 baterías, lo mismo que contribuirá a evitar la creación de depósitos de baterías comúnmente conocido como cementerio de baterías ya que estas poseen altos índices de toxicidad. Estos cementerios deberían poseer una especie de relleno sanitario especializado, que deben tener mecanismos para evitar que contaminen el suelo, sin embargo, eso es algo que actualmente no sucede.

Al combinarse en grandes cantidades, las baterías usadas, incluso con una capacidad reducida, pueden ser reutilizadas para introducir ajustes en la oferta y la demanda energéticas, gestionar las fluctuaciones de frecuencia y gestionar las fluctuaciones de voltaje en los sistemas de distribución, todos ellos factores paralelos a la introducción generalizada de las energías renovables.

Ejemplos de uso del Sistema de Baterías de Almacenamiento para resolver problemas del sistema de suministro eléctrico:

- Utilización para el ajuste de la oferta y la demanda energéticas
- Utilización para contrarrestar las fluctuaciones de frecuencia.
- Utilización para contrarrestar las fluctuaciones de voltaje en los sistemas de distribución. [22]

## **Conclusiones**

- Mediante el análisis a la generación de potencia reactiva a través de Sistemas de Baterías Battery Energy Storage System (BESS) se ha determinado que la reutilización de baterías de litio de los carros eléctricos en un SEP para la conservación del medio ambiente es perfectamente viable, ya que no sólo contribuirá al ecosistema sino que también beneficiará económicamente al sistema puesto que permitirá contrarrestar problemas de fluctuaciones de frecuencia, así como de voltaje que claramente representan pérdidas monetarias, además del hecho de que se efectuó el estudio del sistema de baterías de litio basado en la entrega de energía reactiva de los cual se puede manifestar que es un recurso óptimo para utilizar en una subestación, sistema fotovoltaico, etc. Se debe recalcar que las baterías de ion litio en nuestros sistemas eléctricos son eficiente ya que no poseen una memoria de carga/descarga y tenemos una larga duración debido al mecanismo de funcionamiento que no se degradan rápidamente.
- Una vez efectuadas las simulaciones del sistema en cuestión mediante la realización de simulaciones y obtención de las diferentes curvas se puede manifestar que la hora con mayor exactitud que generamos de reactivos es a las horas cercanas del medio día ya que, presenta mayor radiación en el sistema fotovoltaico, nuestras baterías están cargadas y no tenemos una demanda máxima.
- El sistema sería notoriamente rentable puesto que una batería de litio nueva presenta un valor de \$6000, sin considerar IVA y Aranceles, mientras que una batería de Segundo Uso oscila entre un valor neto de \$3000 y \$4000 dependiendo su potencia.

## **Recomendaciones**

- En caso de que las baterías no sirvan para un Segundo uso porque se encuentran extremadamente averiadas se deberían depositar en un cementerio de baterías que vigilen las normas sanitarias adecuadas para evitar la contaminación del suelo.
- El reciclaje y la reutilización de los materiales de las baterías también serían una alternativa viable para poder cerrar su ciclo de uso, se recomienda para ello un método económico además de energéticamente eficiente para separar y reutilizar los materiales que se encuentran en el ánodo y en el cátodo de las baterías, es más los materiales obtenidos cuentan con la misma calidad que los extraídos, es decir todavía vírgenes, de la corteza terrestre, pudiendo ser utilizados nuevamente por la industria. [23]
- Antes de realizar la generación y venta de energía reactiva debemos realizar un estudio exhaustivo sobre el análisis de calidad y energía en la red , para no desestabilizar a la red.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. N. Q. M. M. V. Iglesias, «Modelado y Simulación de una Batería de Ion-Litio,» España.
- [2] «Cambio Energético,» 21 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.cambioenergetico.com/blog/comparacion-baterias-de-plomo-acido-y-bateria-de-litio-para-energia-solar/>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [3] J. A. Lamadrid, «DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES,» Lambayeque, 2018.
- [4] F. M. Chaves, «Estudio del Marco para regulación de Energía Reactiva en Colombia: Modelo de Simulación de Mercados,» Bogotá, 2005.
- [5] «Transacciones de Potencia Reactiva en el MEM,» [En línea]. Available: [http://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-PotenciaReactiva-009\\_99.pdf](http://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-PotenciaReactiva-009_99.pdf). [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [6] «Estudios Eléctricos,» [En línea]. Available: <https://www.estudios-electricos.com/casos/battery-energy-storage-system-bess-modelado-y-validacion/>. [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [7] «Estudios Eléctricos,» [En línea]. Available: <https://www.estudios-electricos.com/casos/battery-energy-storage-system-bess-modelado-y-validacion/>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [8] «HRUDNICK,» [En línea]. Available: <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno15/bess/tecnologia.html>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [9] «aetecno,» [En línea]. Available: <https://tecno.americaeconomia.com/articulos/todo-lo-que-deberias-saber-de-las-baterias-de-litio#:~:text=Las%20de%20ion%20de%20litio,energ%C3%ADa%2C%20pueden%20aumentar%20su%20autonom%C3%ADa>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [1] «Foro Coches Electricos,» [En línea]. Available: <https://forococheselectricos.com/2013/04/vida-0-y-muerte-de-una-bateria-de-ion.html>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [1] «Etecnic,» [En línea]. Available: <https://etecnic.es/noticias/vive-etecnic/energia-1-renovable/baterias-para-coches-electricos-una-segunda-vida-es-posible/>. [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [1] P. G. Bejerano, «Blog Think Big,» 15 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://blogthinkbig.com/segunda-vida-baterias-coches-electricos>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [1] «Etecnic,» [En línea]. Available: <https://etecnic.es/noticias/vive-etecnic/energia-3-renovable/baterias-para-coches-electricos-una-segunda-vida-es-posible/>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [1] «Blog Think Big,» [En línea]. Available: <https://blogthinkbig.com/segunda-vida-baterias-coches-4-electricos>. [Último acceso: 7 Enero 2021].

- [1 «Tecniseguros,» [En línea]. Available: <https://www.tecniseguros.com.ec/blog/vehiculos/estadisticas-de-autos/#:~:text=Por%20ejemplo%2C%20en%20el%20Ecuador,33.093%20autobuses%20y%2045.645%20vans>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [1 «Revista de Logística,» [En línea]. Available: <https://revistadelogistica.com/logistica/top-10-de-6-las-empresas-automotrices-mas-grandes-en-el-mundo/>. [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [1 N. Bejeguen, «Diseño del sistema de protecciones para aumentar la estabilidad de la red de 7) distribución de San Cristobal».
- [1 D. Azuero, Guayaquil, 2020.  
8]
- [1 «Semanthic Scholar,» [En línea]. Available: <https://images.app.goo.gl/LkkdNp4njuSfdw126>.  
9] [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [2 «Semanthic Schoolar 1,» [En línea]. Available: <https://images.app.goo.gl/8KxkPjMyGGqJWV4S6>.  
0] [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [2 «El Comercio,» [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/vehiculos-1-electricos-nuevos-retos-ambiente.html>. [Último acceso: 26 Enero 2021].
- [2 «Revista Nuve,» [En línea]. Available: <https://www.revistanuve.com/toyota-inicia-un-novedoso-2-proyecto-de-reutilizacion-y-reciclaje-de-baterias/>. [Último acceso: 26 Enero 2021].
- [2 «Híbridos y Electricos,» [En línea]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/tecnologias-centenarias-reciclaje-reutilizacion-baterias-litio/20180808072902020902.html>. [Último acceso: 26 Enero 2021].
- [2 ARCONEL, «Estadísticas Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» Quito, 2018.  
4]
- [2 V. V. P. B. J. A. V. F. V. K. y. B. H. K. Mongird, «Energy Storage Technology and Cost 5) Characterization Report,» U.S Department Of Energy, Chicago, 2019.
- [2 T. Z. X. Z. L. W. y. H. J. Y. Zeng, «A low cost iron cadmium redox flow battery for large scale energy 6) storage.,» POWER SOURCES, 2016.
- [2 «Research Gate,» [En línea]. Available: <https://images.app.goo.gl/Wp3UgHAXuvfZHL6YA>. [Último  
7] acceso: 27 Enero 2021].