

ALGORITMO DE PRIORIZACIÓN DE CARGAS PARA UN SISTEMA RESIDENCIAL AUTOMATIZADO BASADO EN UNA MICRORRED HÍBRIDA.

Ing. Héctor Orlando Reyes Herrera, Ing. Oscar Leonardo Tolosa Valderrama, estudiantes de la Especialización en Informática y Automática Industrial de la Universidad Francisco José de Caldas. Director propuesto: Oscar Flórez

Resumen – Este documento presenta los conceptos necesarios para dar solución al algoritmo de priorización de cargas de un sistema automatizado de control de iluminación y consumo de agua residencial de una microrred híbrida, compuesta por panel solar, turbina eólica y banco de baterías, por medio de un controlador lógico programable, primero se definió las señales de control del sistema residencial para que por medio del entorno de desarrollo de CODESYS se implementa el algoritmo, donde se gestiona el uso de la energía generada por el sistema de generación de energía renovable, se administra el uso de la energía de la red eléctrica, además de la priorización de cargas, todo el sistema está coordinado para sacar el mejor rendimiento y beneficio económico.

Índice de Términos – Generación distribuida, control de iluminación, priorización de cargas.

Abstract – This document presents the concepts necessary to solve the algorithm of prioritization of loads of an automated system of control of lighting and residential water consumption of a microrred hybrid, composed of solar panel, wind turbine and bank of batteries, by means of A programmable logic controller, the control signals of the residential system were first defined so that through the development environment of CODESYS the algorithm is implemented, where the use of the generator is managed by the renewable energy generation system, is administered Using the power of electric power, in addition to prioritizing loads, the entire system is coordinated to get the best performance and economic benefit.

I. INTRODUCCIÓN

Las energías alternativas ya dejaron de ser un simple tema de investigación pensado para el futuro, la más reciente crisis energética del país ha dejado en evidencia la necesidad de aplicar nuevas

tecnologías de generación distribuida y de uso eficiente de la energía producida, además está creando leyes (Ley 1715 de 2014) para regular y facilitar la integración de energías renovables al sistema energético nacional. Sin embargo es primordial poder encontrar una forma de ayudar a extender el tiempo de uso de las tecnologías de almacenamiento de energía actuales, dado que son estos dispositivos, los que limitan y encarecen el uso de los sistemas de generación distribuida y es ahí donde entra el concepto de eficiencia energética.

La eficiencia energética se puede abordar como un cambio de hábitos en el consumo actual de nuestros recursos energéticos como conciencia de uso, o como un cambio de las tecnologías existentes que ayudarán a dar un uso mucho más eficiente que el actual a dichos recursos. Crear esa conciencia de consumo eficiente no es tarea fácil, por lo cual es necesario profundizar en el desarrollo de las tecnologías necesarias para alcanzar la meta de consumo eficiente, que permitan dar el cambio de los sistemas de generación energética centralizados a los sistemas distribuidos.

Una forma de abordar los problemas de gasto energético, son los sistemas de priorización de cargas, en los cuales se usan sensores que indican el consumo actual a un algoritmo que gestiona la energía de forma inteligente.

Por lo tanto en este proyecto se muestra el

diseño de un sistema de priorización de cargas enfocado a mantener el mayor tiempo posible un sistema de una microred híbrida usada por un sistema de iluminación y control de uso de agua residencial, por medio del autómatá programable, mediante el algoritmo desarrollado en CODESYS dada su flexibilidad de uso y su estandarización en lenguajes de programación (IEC61131-3).

II. JUSTIFICACIÓN

La optimización de los recursos es de primordial importancia y más en el sector energético de un país que padece de forma casi cíclica, las crisis de energía causada por diferentes circunstancias que ha día de hoy no muestran una solución más haya de acciones de instantes como lo son incentivos al ahorro y castigos al consumo de energía, medidas que a futuro por el crecimiento exponencial de la población y el mayor uso de tecnología quedan obsoletas.

Los incentivos y crecientes mejoras en los sistemas de generación distribuida deben estar acompañados de un uso eficiente de la energía, y una forma es la implementación y uso de los algoritmos de priorización de cargas como mecanismo de ayuda para extender el tiempo de suministro de la energía almacenada por las baterías siendo esa parte del sistema la más delicada y costosa.

Aumentar la producción energética ya sea de forma convencional o no convencional con los actuales hábitos o formas de consumo no compensa los esfuerzos del crecimiento del sector energético ya que a mediano plazo es más costoso que implementar nuevas tecnologías guiadas por algoritmos de priorización de cargas o de consumo.

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

A. Generación Distribuida

En la actualidad la generación eléctrica se centra en grandes zonas de producción que cumplen con

las características y necesidades para suministrar la energía a las principales ciudades y municipios, mientras que los sectores rurales en especial los de mayor distancia son los más afectados debido al alto costo de llevar la energía hasta estos lugares (Costo en la red eléctrica, costo de operación y mantenimiento, además de ser inviable una inversión tan grande para pocos usuarios), sin contar que la creciente demanda de energía tiene al límite a las empresas productoras, un claro ejemplo de esto ha sido la crisis colombiana del año 2016 que estuvo a puertas de un racionamiento nacional, todo esto ha llevado a un fortalecimiento de la generación distribuida, poco demandada debido a sus costos y por la poca necesidad del servicio eléctrico que existía, mientras que hoy en día se tiene una gran necesidad de la energía y los costos propios de las tecnologías de generación a partir de fuentes renovables han bajado.

La generación de pequeña escala como es conocida la generación distribuida, no tiene una definición exacta ya que depende de cada país y sus normas, además algunos autores la definen limitando las cantidades de energía generada, mientras que otros por el tipo de conexión, pero se podría enmarcar con características como generación de energía aislada que puede ser conectada directamente al cliente o a la red eléctrica. Una clasificación por tipos de conexión o instalación son:

- Conexiones aisladas de la red eléctrica.
- Instalaciones conectadas a la red eléctrica.
- Instalaciones híbridas que pueden ser del tipo conectadas o no a la red eléctrica.

B. Fuentes de Energías Renovables

Dentro de las fuentes de energía renovables están todas aquellas fuentes naturales que por su abundancia o gran capacidad de regeneración natural son virtualmente inagotables. Dentro de estas fuentes de energía se encuentran la energía solar y la eólica, que son las que se usaran en el sistema de generación de la microred.

La energía entregada por el sol es enorme y utilizada de diferentes formas, desde los usos domésticos hasta tecnológicos, un ejemplo claro es la energía fotovoltaica que obtiene electricidad a partir de la radiación solar mediante celdas fotovoltaicas (PV) configurables para obtener diferentes voltajes y corrientes, si se desea aumentar la energía producida se deben conectar más celdas.

La energía eólica se obtiene a partir del viento puede ser aprovechada directamente o transformada en energía eléctrica mediante autogeneradores que gracias al movimiento de sus hélices y conexión a un generador producen electricidad.

Para el diseño de un sistema de generación distribuida se requiere consultar la energía consumida en un día de alto uso de los dispositivos eléctricos, mediante un listado de equipos y el tiempo de uso de cada uno, este tiempo normalmente es sobredimensionado al real debido a que el gasto de energía no es estático y a futuro no se puede definir la cantidad de elementos eléctricos que se tendrá en el hogar, ni la cantidad de personas que hagan uso de ellos.

En un sistema de tipo híbrido la determinación de la cantidad de energía eléctrica que debe suministrar cada sistema (fotovoltaico y eólico) es crucial ya que en conjunto deben suplir la necesidad requerida por el domicilio, en la mayoría de los casos se sobre dimensiona el sistema, antes de la ley 1715 de 2014 este sobredimensionamiento era energía perdida pero ahora la energía excedente puede ser comprada por la empresa generadora de energía.

C. Baterías

Las baterías se utilizan primordialmente para almacenar energía que luego será suministrada al sistema y permitirá operaciones con cierta autonomía pero son una de las partes débiles de un sistema de generación de energía con energías alternativas debido a su corto tiempo de vida útil, que suele estar asociada a la edad o número de ciclos de carga y descarga además de ser costosas.

En el dimensionamiento de un banco de baterías

se requiere conocer el gasto de amperios-hora de la residencia, este consumo se obtiene mediante la sumatoria del consumo de energía de todos los artefactos eléctricos y su tiempo de funcionamiento en un periodo semanal, con esta información se calcula la capacidad de las baterías, que se puede realizar por el método simplificado o método amperio-hora.

D. Contador Bidireccional

La energía eléctrica utilizada es medida mediante contadores de consumo eléctrico que muestran la cantidad de energía que circula de la red al usuario pero que sucede cuando el usuario es un productor de energía y puede suministrar energía a la red, en este caso se hace uso de los contadores bidireccionales capaces de medir la energía que fluye de la red al usuario y del usuario a la red, gracias a estos contadores y a la ley (15 de abril d 2016) ya es posible vender en Colombia el excedente de energía a la red convencional.

E. Inversor con Bypass

El inversor con bypass cumple la función de convertir el voltaje de entrada de corriente continua a corriente alterna con la magnitud, frecuencia y sincronización de la onda eléctrica de la red comercial, para alimentar las cargas pero si por algún motivo no se pudiera seguir alimentado, este tiene incorporada una línea llamada bypass que permite mantener el suministro directamente de la red comercial sin que la carga lo perciba.

F. Micro Inversores

Al igual que en el ítem anterior convierte el voltaje de entrada de corriente directa a corriente alterna pero se centra en un modelo de generación distribuido haciendo cada panel o una pareja de paneles del sistema independiente y aprovechando al máximo la energía generada.

G. Priorización de Cargas

Uno de los inconvenientes de los sistemas aislados es la duración de la energía almacenada, en el estudio de las mirorredes de generación se han

tomado algunos conceptos de las redes energéticas inteligentes o *Smart Grids* en la gestión de la energía, respecto al uso eficiente de la energía se toma el concepto de priorización de cargas, en el cual se mide el consumo energético en tiempo real y de acuerdo a una escala de importancia que se le otorga a las cargas conectadas a la red se evalúa la necesidad de suministrar o no energía a una o varias de las cargas.

H. Consumo domiciliario

La energía eléctrica, es fundamental en la vida diaria de la sociedad, se utiliza en los hogares para la iluminación y electrodomésticos. Su consumo está asociado a los hábitos de uso y cantidad de aparatos eléctricos además de sus características.

Una medida referente al consumo eléctrico domiciliario se ha aproximado al clasificar los diferentes tipos de viviendas por estratos socio económicos.

Clasificación por estratos socio económicos relacionados a un consumo promedio mensual del año 2012 al año 2015.

Estrato	Consumo de energía eléctrica promedio mensual (Kwh)			
	2012	2013	2014	2015
1	145,3	155,7	148,6	152,4
2	129,4	134,8	133,9	137,9
3	151	156,5	154,5	154,8
4	181,3	184,65	185,5	183,9
5	221,8	227,6	226,5	221,7
6	338,9	347,4	357,1	352,3

Tabla 1: Consumo de energía eléctrica por estratos

El consumo básico de agua en Colombia es aquel que satisface las necesidades esenciales de una familia en el uso de agua, un estudio hecho por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico junto con el Departamento Nacional de Planeación en 18 ciudades capitales y considerando las variables como clima y estrato en un periodo de 10 años dio como resultados un

consumo definido por pisos climáticos de la siguiente forma:

- Clima frío 11m³ por suscriptor durante un mes
- Clima templado 13 m³ por suscriptor por un mes
- Clima cálido 15 m³ por suscriptor durante un mes

Aun cuando el consumo básico a la fecha de hoy (2016) está reglamentado en 20 m³ para toda la población, se llevara paulatinamente a los nuevos niveles para el año 2018.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

Materiales para la elaboración del algoritmo de priorización de cargas para un sistema automatizado de control de iluminación y consumo de agua residencial de una microred híbrida.

- Computador
- Software CODESYS

La metodología de ejecución del proyecto inicia consolidando la base teórica del entorno de la problemática en el sector energético, dirigido al consumo residencial y los beneficios de la implementación de energía por medio de generación distribuida identificando sus puntos débiles y proponiendo la elaboración de un algoritmo de priorización de cargas para fortalecer el sistema.

Al desglosar el problema global se determina los subproblemas y dependencias entre ellos para así plantear de forma secuencial la solución de la problemática.

La primera parte en ser abordada es la adecuación de la base de herramientas a utilizar para la solución, como lo es un equipo de cómputo con las características mínimas para el uso del desarrollo CODESYS.

La segunda es el planteamiento de las variables principales que intervienen en el funcionamiento del sistema y que son utilizadas como entradas para el

algoritmo de priorización de cargas.

Variables que intervienen en el funcionamiento del sistema:

Vbb: Voltaje de las baterías.

Ibb: Corriente de las baterías.

Pmch: Potencia mínima de carga de baterías.

Ppv: Potencia de paneles.

Pwt: Potencia de las turbinas.

PL: Potencia consumida.

ε: Porcentaje variable.

Vfa: Voltaje de suministro de la red.

Vnfa: Voltaje nominal de suministro.

Prnw: Potencia de las energías renovables.

Vn: Voltaje nominal de la batería.

Pesc: Potencia consumida por el sistema de control.

La tercera parte es la implementación del diagrama de flujo que permite tener la lógica secuencial del comportamiento del algoritmo además de una mayor facilidad de evaluar en prueba de escritorio si el comportamiento es el adecuado.

Descripción general del diagrama aplicado para el algoritmo de priorización de cargas, que se presenta de forma completa en el Anexo 1.

La secuencia del diagrama inicia realizando la lectura de los datos de entrada para luego evaluar si la potencia generada por el sistema de energía renovable es mayor o igual a la consumida por la residencia, si la energía es mucho mayor que la consumida, este hace uso de la energía renovable y adicionalmente se activa el suministro de energía a la red eléctrica para así vender el excedente a la red eléctrica, esta energía excedente es medida por el contador bidireccional.

Si la generación de energía proveniente del sistema eólico y solar no es mucho mayor sino simplemente mayor o igual, el suministro de energía es usado solo por el domiciliario.

Para el caso opuesto al anterior donde el sistema generador de energía renovable no produce la

cantidad requerida, y a su vez la potencia del suministro de la red es mayor a la potencia nominal de suministro, se habilita la alimentación del domicilio por medio de la red pública, pero si la condición es contraria se evalúa con respecto a la condiciones de la batería si su nivel es superior al 92% de su voltaje nominal y además la potencia de la generada por la energía renovable es superior a la potencia mínima de la recarga de las baterías, se alimenta el sistema domiciliario con el sistema de respaldo y se cargan las baterías con la energía renovable, cuando la energía producida por las fuentes renovables no alcanza el nivel mínimo de recarga de baterías y no hay red eléctrica pero la energía almacenada en la batería es superior al 92% del voltaje nominal, se aplica el sistema de priorización de cargas para mantener el mayor tiempo posible el suministro eléctrico domiciliario. Si se cumple la condición de la batería a un nivel menor al 92% del valor nominal de la batería pero la potencia mínima de recarga de baterías, se desconecta mientras se normaliza o se genera la energía suficiente para ser almacenada.

También se presentan 3 casos, en los cuales se evalúa el uso de la energía generada por las fuentes alternativas, dependiendo en qué sub-proceso se encuentre el sistema de gestión, ya sea alimentación domiciliaria entrega de excedente a red eléctrica o recarga de baterías.

Caso 1: La energía producida por los paneles solares es mucho mayor que la generada por la turbina eólica. Si el sistema está recargando baterías, se evalúa si es suficiente para cargar las baterías con la turbina eólica, si no se están recargando baterías el algoritmo activa la entrega de la potencia producida por la turbina a la red, mientras la energía solar producida alimenta al domicilio.

Caso 2: La energía producida por la fuente eólica es mucho mayor que la generada por la solar. Se evalúa si es suficiente para cargar las baterías con la turbina eólica y/o entregar a la red, mientras la energía eólica producida alimenta al domicilio.

Caso 3: La energía producida por ambas fuentes es similar, se evalúa si alcanza y es necesario

recargar baterías.

La cuarta parte es la implementación en el entorno de desarrollo para la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC) de CODESYS en el lenguaje GRAFCET conforme al estándar industrial internacional IEC 61131-3.

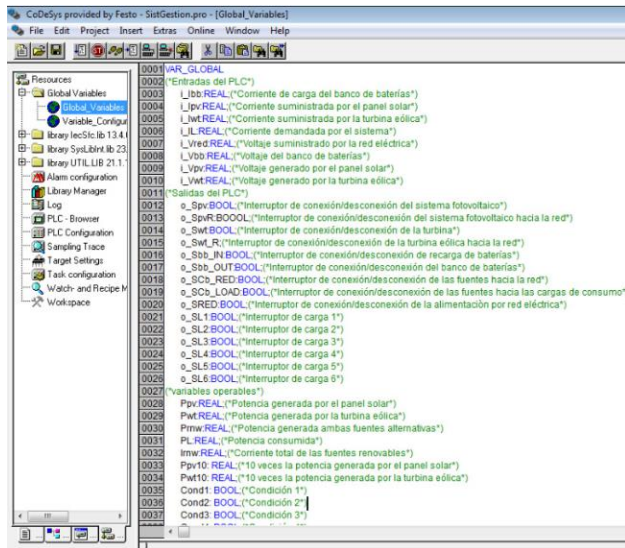


Figura 1. Definición de las variables de entrada, salida y de operación en el entorno de desarrollo CODESYS en la implementación del algoritmo de priorización de cargas.

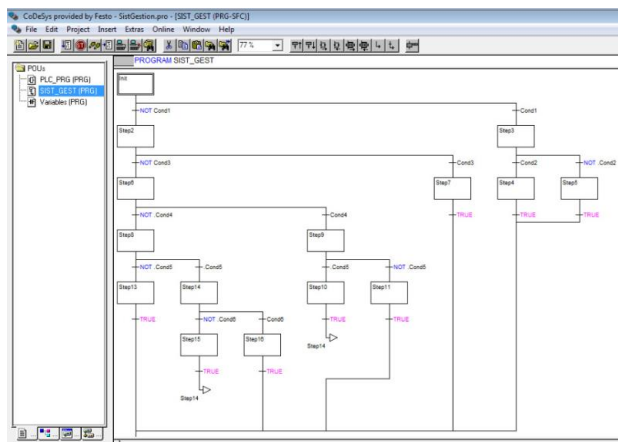


Figura 2. Programación de la lógica del algoritmo de priorización de cargas en el entorno de desarrollo CODESYS en el lenguaje GRAFCET

Las condiciones de transición en el desarrollo del código en GRAFCET para el algoritmo son:

- Prnw>=PL :=Cond1
- Prnw>=10PL :=Cond2
- i_Vred>110 :=Cond3
- i_Vbb>0.92Vn :=Cond4
- Irnw>Imch :=Cond5
- i_Vbb>=1.2Vn :=Cond6

Las condiciones presentadas en cada caso son:

- Caso 1: Ppv>10Pwt
- Caso 2: Pwt>10Ppv
- Caso 3: Ppv=Pwt

La quinta parte es la implementación del HMI en el entorno gráfico de CODESYS, donde se puede interactuar con el funcionamiento del algoritmo de priorización de cargas, dando la posibilidad de elegir el modo de función, en modo manual se tiene la posibilidad de seleccionar por medio de botones digitales la activación de las diferentes formas de suministro de energía (paneles solar, turbina eólica, red eléctrica), su uso en: cargar baterías, alimentación de cargas o función de respaldo. En modo automático el funcionamiento del algoritmo se comporta de la forma preestablecida, en cualquier instante de funcionamiento se puede visualizar individualmente la potencia generada por los paneles, por la turbina eólica además del voltaje en la batería.

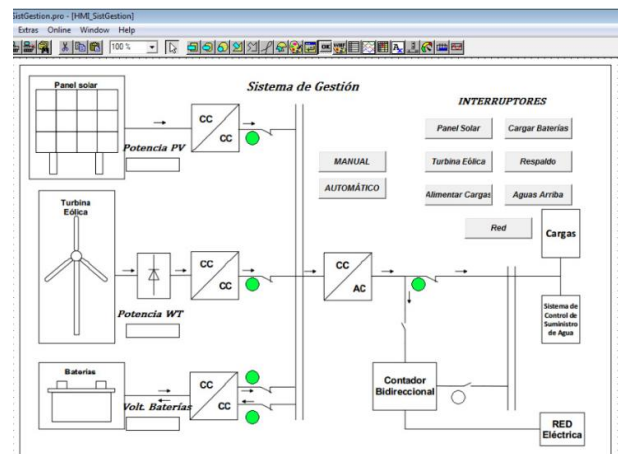


Figura 3. Presentación del HMI, que presenta el sistema de gestión.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

La implementación del algoritmo de priorización de cargas auto regula el consumo según las condiciones de suministro de la batería y actúa según las prioridades definidas para cada carga, evitando consumos de energía innecesarios o dicho de otra forma, salva guardando la energía para la carga definida como principal o de mayor nivel de priorización.

El algoritmo se desarrolló y responde bajo los parámetros de priorización de tres diferentes cargas puramente resistivas, aun cuando el algoritmo tiene sus niveles de prioridades definidos, variarlas o modificarlas según un requerimiento específico para el sistema pasa a ser un tema de reconfiguración, lo que muestra la versatilidad debido a que el algoritmo puede modificarse para los requerimientos de un cliente en particular o consumo específico de una residencia.

El algoritmo tiene la capacidad de administrar la energía recibida por el sistema de energía renovable, debido a que según las condiciones de generación energética del momento puede ser dirigido su uso para cargar las baterías, consumo del sistema residencial o suministro a la red eléctrica para ser comercializada.

La capacidad de gestionar los diferentes tipos de suministro de energía eléctrica a los que la residencia tiene acceso como lo son: los paneles solares, turbina eólica, baterías y red eléctrica ya sea de forma independiente o conjunta, con una coordinación orientada a la obtención de rendimientos económicos.

VI. CONCLUSIONES.

Como resultado del trabajo de grado, es posible concluir que la aplicación del algoritmo de priorización de cargas en un sistema de generación distribuida en una microred híbrida no solo administra el consumo de la energía sino su gestión desde la etapa de generación ya que la energía se direcciona según las prioridades de uso en el instante de generación.

Por otro lado el algoritmo posee la información sobre la energía en los paneles solares, turbina eólica, batería y red eléctrica, lo que permite ser configurado para la optimización en el uso de energía o en el rendimiento económico si su orientación se enfoca el suministro a la red pública.

VII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIA.

- [1] R. Almanza, O. Tolosa "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE GESTIÓN

ENERGÉTICA PARA UNA MICRORRED AISLADA BASADO EN UN ESQUEMA DE PRIORIZACION DE CARGAS" Proyecto de Grado Ing. Electrónica, Univ. Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia, 2016.

- [2] M.A. Haque, H. Aydin, D. Zhu, "Energy management of standby-sparing systems for fixed-priority real-time workloads," Green Computing Conference (IGCC), 2013 International, pp.1-10, Jun., 2013.
- [3] REGULACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍA RENOVABLES NO CONVENCIONALES AL SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL. Ley 1714 UPME, 2014.
- [4] D. M. Tagare "Electric Power Generation: The Changing Dimensions" IEEE Press 2011
- [5] J. Momoh "SMART GRID: Fundamentals of Design and Analysis" IEEE Press

Anexo 1. Algoritmo de priorización de cargas

