



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**GESTIÓN DE ENERGÍA EN MICRORREDES MÚLTIPLES EN  
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN QUE INCLUYEN HOGARES  
INTELIGENTES CON ALTA PENETRACIÓN DE RECURSOS  
ENERGÉTICOS RENOVABLES.**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: JUAN DIEGO CHUQUIGUANGA SINCHI**

**DIRECTOR: ING DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ**

**CUENCA- ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
*Comunidad educativa al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**GESTIÓN DE ENERGÍA EN MICRORREDES MÚLTIPLES EN  
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN QUE INCLUYEN HOGARES  
INTELIGENTES CON ALTA PENETRACIÓN DE RECURSOS  
ENERGÉTICOS RENOVABLES.**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: JUAN DIEGO CHUQUIGUANGA SINCHI**

**DIRECTOR: ING DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ**

**CUENCA- ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARACIÓN

Yo Juan Diego Chuquiguanga Sinchi portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105497671. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Gestión de Energía en Microrredes Múltiples en Sistemas de Distribución que incluyen hogares inteligentes con alta penetración de Recursos Energéticos Renovables.” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 6 de Marzo de 2023

F:  .....

Juan Diego Chuquiguanga Sinchi

C.I. 0105497671

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por el estudiante Juan Diego Chuquiguanga Sinchi bajo mi supervisión.



---

Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez MGs.

**DIRECTOR**



## **DEDICATORIA.**

Dedico este presente trabajo de titulación a nuestro padre dios por permitirme realizar y alcanzar mis sueños personales y académicos, además de guiarme, cuidarme en todos los instantes de mi vida y llenarme de bendiciones para seguir adelante.

A mis padres por todo el apoyo incondicional que me brindaron en los buenos y malos momentos en mi periodo académico, guiándome moralmente para que sea una persona de bien con sus buenos consejos.

A mi hermano que siempre fue un pilar fundamental en mi vida apoyándome en toda mi carrera universitaria el quien me motivo para que pueda formarme académicamente y llegar ser un profesional.

A una persona muy especial que siempre me apoyo y estuvo a mi lado en los buenos y malos momento dándome valor y las fuerzas necesarias para seguir adelante y poder culminar con mis estudios.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco a mis padres por todo su esfuerzo que hicieron para apoyarme en toda mi carrera y poder formarme académicamente, a mis hermanos y hermanas por siempre darme un apoyo moral y estar a mi lado dándome las fuerzas para seguir adelante y superarme.

A toda mi familia y amigos por estar siempre pendiente de mi bienestar y apoyarme para poder continuar con los estudios.

De manera muy especial quiero agradecer al MSC Daniel Orlando Icaza Alvares quien es mi tutor de trabajo de titulación el quien me ha brindado todo sus conocimientos académicos y profesionales siendo así un excelente docente y amigo, además brindándome su apoyo incondicional en una etapa muy importante de mi vida para poder culminar satisfactoriamente mi trabajo de titulación, que dios le cuide y le bendiga.

Agradezco a todos los docentes de esta prestigiosa universidad por haberme guiado y formado, brindándome sus conocimientos académicos y profesionales durante toda la carrera de Ing. Eléctrica.

## RESUMEN

Esta tesis presenta un marco de referencia para la programación y reconfiguración de microrredes y alimentadores de distribución considerando la incertidumbre debido a la generación de energía renovable, demanda de la carga y precio en el modelo propuesto interviene un modelo de bus IEEE 96 modificado de un sistema de prueba, incluyendo microrredes y hogares inteligentes.

El problema se ha formulado con dos modelos de etapas, en la primera etapa se lleva a cabo la auto programación diaria de cada una de las microrredes como un problema de optimización de dos objetivos, que son la minimización del costo total de la operación y la maximización del índice de comodidad de los consumidores.

Con la solución obtenida se determina la configuración óptima del sistema para poder minimizar los costos de operación de la red principal y la penalización de desviarse de la planificación de la microrred, se debe considerar que la penalización es la diferencia de la energía solicitada por las microrredes de compensación que será energía entregada por el Operador del Sistema de Distribución y la optimización se realiza presentando un modelo de marco de programación lineal (MILP) con cuatro modelos de casos de estudios y todos estos resueltos en GAMS utilizando el Solver de Gurobi y Lp Solver.

Los resultados de la simulación demostraran que el Operador del Sistema de Distribución es capaz de reconfigurar el sistema siendo menor la desviación de la programación óptima en las microrredes con configuración fija.

*Palabras clave:* microrredes, bus, energías renovables, GAMS, Solver de Gurobi

## **ABSTRACT.**

This thesis presents a framework for scheduling and reconfiguring microgrids and distribution feeders considering uncertainty due to renewable energy generation, load demand, and price in the proposed model involving a modified IEEE 96 bus model of a test system including microgrids and smart homes.

The problem has been formulated with two-stage models, in the first stage, the daily self-scheduling of each microgrid is performed as a two-objective optimization problem, which is minimizing the total cost of operation and maximizing the consumer comfort index.

With the obtained solutions, the optimal configuration of the system is determined to minimize the operating costs of the primary grid and the penalty for deviating from the microgrid planning. It should be considered that the penalty is the difference of the energy requested by the balancing microgrids that will be energy supplied by the Distribution System Operator. The optimization is carried out by presenting a linear programming framework model (MILP by its Spanish acronym) with four case study models and all these solved in GAMS (General Algebraic Modeling System) using the Gurobi's Solver and Lp Solver.

The simulation results will show that the distribution system operator can reconfigure the system with less deviation from the optimal schedule in microgrids with fixed configuration.

*Keywords:* microgrids, bus, renewable energy, GAMS, Gurobi Solver

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	x
NOMENCLATURA: .....	xi
CAPITULO 1	
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivos General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Delimitación del problema.....	3
1.4 Definición de la zona de estudio.....	3
1.5 Justificación.....	4
CAPITULO 2.....	6
2 MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Energía solar fotovoltaica.....	6
2.1.1 Ventajas.....	7
2.2 Energía eólica.....	7
2.3 Turbinas hidro cinéticas HKT en sistemas híbridos.....	8
2.4 Microrredes.....	9
2.5 Sistemas híbridos de electrificación eléctrica.....	10
2.6 Aplicaciones.....	11
CAPITULO 3.....	12
3 REVISIÓN .....	12
3.1 Revisión de la literatura.....	12
3.2 Contribución.....	16
3.3 Obtención de datos.....	17
3.4 Descripción del sistema de estudio.....	18
3.5 Formulación matemática.....	20
3.5.1 Funciones objetivas.....	20

3.5.2	Flujo de energía.....	20
3.5.3	DRF (Registrador de Fallas de Perturbación). ....	22
3.5.4	Accesorios. ....	22
3.5.5	Unidades de generación. ....	24
3.5.6	Sistemas EES (Almacenamiento de Energía Eléctrica) de la red.....	25
3.5.7	Sistemas EES (Almacenamiento de Energía Eléctrica) en cada hogar inteligente. ....	26
3.6	Proceso de optimización en la zona de estudio.....	27
3.7	Desarrollo de optimización. ....	29
3.8	Procesos de modelado de incertidumbre.....	34
3.8.1	Modelado multi escenario. ....	35
3.8.2	Metodología de estudio. ....	35
CAPITULO 4.....		39
4	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	39
4.1	Recopilación de datos. ....	39
5	CONCLUSIONES.....	55
6	RECOMENDACIONES.....	56
7	BIBLIOGRAFÍA .....	56
8	ANEXOS.....	63

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1	Isla Mocoli. ....	4
Fig. 2	Casa autosustentable de energía eléctrica mediante la implementación de paneles solares. ....	6
Fig. 3	Parque Eólico.....	7
Fig. 4	Turbinas Hidro cinéticas HKT .....	8
Fig. 5	Conexión de Microrredes.....	9
Fig. 6	Sistemas Híbridos.....	10
Fig. 7	Aplicación de Microrredes. ....	11
Fig. 8	Descripción general del sistema de distribución bus IEEE 96 modificado.....	19
Fig. 9	Diagrama específico de tipos de generadores de voltaje bidireccional.....	19
Fig. 10	Grafica de zona de estudio Isla Mocoli.....	27
Fig. 11	Grafica de flujo de potencia de la red eléctrica .....	27
Fig. 12	Grafica de la ubicación de cada Microred entre los flujos de potencia eléctrica	28
Fig. 13	Grafica de distribución de posibles puntos candidatos en las diferentes microrredes.....	28
Fig. 14	Escenario no Optimizado con los puntos Candidatos.....	29
Fig. 15	Resultados obtenidos en LpSolve .....	30
Fig. 16	Grafica de escenario no optimizado .....	31
Fig. 17	Grafica de escenario optimizado .....	32
Fig. 18	Grafica de la ubicación de los diferentes puntos de generación de Energías Renovables.....	33
Fig. 19	Diagrama de flujo del modelo propuesto.....	38
Fig. 20	Escenarios generados de parámetros inciertos .....	40
Fig. 21	Escenario reducido de parámetros inciertos .....	41
Fig. 22	Escenarios tradicionales de carga del hogar.....	41
Fig. 23	Escenario del caudal de agua de río de un sistema HTK .....	41
Fig. 24	Cambio horario en los casos 2 y 4. ....	48
Fig. 25	Diferentes tipos de topologías para la red obtenidas en el caso 4. ....	50
Fig. 26	Magnitud de voltaje en cada hora.....	51
Fig. 27	Potencia total generada por DERs en diferentes casos del 1 a 4. ....	52
Fig. 28	Resultados de programación obtenida de una casa inteligente en una microrred 3.....	53
Fig. 29	Puntos de funcionamiento de sistemas EES que están ubicados en hogares inteligentes .....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación del estudio con recientes investigaciones. ....	17
Tabla 2.	Ubicación de cada una de las microrredes. ....	34
Tabla 3.	Pasos que se realizaron en la programación. ....	37
Tabla 4.	Caso de estudio y sus correspondientes suposiciones. ....	39
Tabla 5.	Datos de entrada de las microrredes.....	42
Tabla 6.	Datos de programación de cada electrodoméstico en los hogares inteligentes.....	42
Tabla 7.	Valores requeridos para la simulación.....	43
Tabla 8.	Resultados obtenidos de cada caso de estudio.....	45
Tabla 9.	Resultados obtenidos en diferentes casos de estudio de cada microrred. ....	46
Tabla 10.	Estado de los interruptores en diferentes horarios. ....	47

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 1. ....	63
ANEXO B.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 2. ....	64
ANEXO C.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 4. ....	64
ANEXO D.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 5. ....	65
ANEXO E.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 6. ....	66
ANEXO F.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 7. ....	66
ANEXO G.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 8. ....	67
ANEXO H.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 9. ....	68
ANEXO I.	Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 10. ...	68
ANEXO J.	Características de Paneles Solares.....	71
ANEXO K.	Características de Generador Eólico. ....	73
ANEXO L.	Datos de Turbinas Hidro cinéticas HKT.....	76



## NOMENCLATURA:

### Abreviaciones.

CV	Convenience Value
GAMS	Software the high level model mathematic
ENS	Energy Not Supplied
ECC	Estimated energy consumption
LOT	Length of operation time
PCV	Preferred convenience value
PTR	Preferred time range
UCL	User convenience level
DFR	Disturbance Fault Recorder
UTR	Utilization time range
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
EES	Electrical Energy Storage
SG	Smart grid
DMS	Demand side management
EMS	Energy management system
DER	Distributed energy resources
RES	Renewable energy sources
DR	Demand responce
DSO	Distribution System Operator
ODR	Distribution Resorce Operator
MILP	Mixed Integer Linear Programming

### Índices

$D_i^g$	Set of connected turbines to network buses
$D_{mg}^i$	Set of connected network buses belongs to microgrids
$D_i^{st}$	Set of connected network buses to substation
$D_i^{pv}$	Set of connected pothovoltaic panels to network buses
$D_i^w$	Set of connected wind turbines to network buses
$D_{mg,t}^{ij-}$	Dinamic set of connected network branches to microgrid with negative flow
$D_{mg,t}^{ij+}$	Dinamic set of connected network branches to microgrid with positive flow

g	Turbine index
h	Heaviside time window index
i,j	Network bus index
mg	Microgrid service área index
l	Branch index
n,m	Appliances index
pv	Photovoltaic panel index
$PTR^n$	Preferred time range of appliances
s	Scenario index
st	Substation index
t,tt	Time index
$UTR^n$	Utilization time range of appliances
w	Wind turbinesindex

### Scalars

$\Delta t$	Time step(h)
$\eta^{ch}/\eta^{dch}$	Changing/Dischanging efficiency of EES (%)
$\eta^{conv}$	EES's converter efficiency(%)
$\eta_{pv}^{conv}$	PV's converte efficiency(%)
$\eta^{gen}$	Turbinnes efficiency(%)
M	A positive big number
$N^{sw}$	Total, switching limit

### Parametros

$\beta_n$	Damping coefficient in preferred convenience curve
$EEC_n$	Estimated energy consumption of appliance(kWh)
$E_w^0/E_{pv}^0$	Initial stored energy in EES units (kWh)
$E_w^{max}/E_{pv}^{max}$	Máximum rate of energy stored in EES units (kWh)
$E_w^{min}/E_{pv}^{min}$	Minimum rate of energy stored in EES units (kWh)
$G_{i,j}^{line}/G_{i,j}^{line}$	Conductance/Susceptance of network branches(S)
$G_{std}$	Irradiation of sun at the standard condition(W/m <sup>2</sup> )
$LOT_n$	Length of operation time of appliances(h)
$P_{i,t,s}^{fix}$	Active fix demand in network buses (kW)
$\pi_t^e$	Electricity Price(\$/kWh)

$\pi_{mg}^{penalty}$	Penalty cost for deviating from the microgrids scheduling(\$/kWh)
$P_w^{ch,max} / P_{pv}^{ch,max}$	Maximun changing rate of EES units(kW)
$P_w^{dch,max} / P_{pv}^{dch,max}$	Maximun discharging rate of EES units(kW)
$P_{pv}^r$	Rated active power of Photovoltaic panels(kW)
$P_w^r$	Rated active power of wind turbines(kW)
$\pi_{pv}^{solar}$	Solar power Price(\$/kWh)
$\pi_w^{wind}$	Wind power Price(\$/kWh)
$Q_g^{min} / Q_g^{max}$	Max/Min reactive power generation limito f gas turbines(kVar)
$r_{i,j} / x_{i,j}$	Resistance/Ractance of network branches(ohm)
$\rho_s$	Probability of scenarios (%)
$S_b / S_b^2$	Base/quadratic value of piecewise block(kVA/kVA <sup>2</sup> )
$S_{i,j}^{max}$	Maximun apparent power of network branches(kVA)
$\theta_{i,t,s}^{min} / \theta_{i,t,s}^{max}$	Max/Min voltaje angle(rad)
$T_{n1,n2}^{gap}$	Maximun time gap between consecutive appliance(h)
$t_n^{start} / t_n^{end}$	Starting/ending points of PTR for appliances(h)
$V_{i,t,s}^{min} / V_{i,t,s}^{max}$	Max/Min voltaje magnitud(p.u.)
$V_i / V_r / V_o$	Wind turbine characteristics (cut-in/rated/cut-out speed) (m/s)
$W_n$	Weight coefficient of appliances
$\xi_{i,j}^{line}$	Power factor of network branches

## Variables

$\alpha_{i,j,t,s,b}$	The piecewise block operating point
$C_{g,t,s}^{gen}$	Operating cost of micro turbines (\$)
$C_{pv,t,s}^{solar}$	Operating cost of PV panels (\$)
$C_{w,t,s}^{wind}$	Operating cost of wind turbines (\$)
$cost_{mg,s}$	Operating cost of microgrid (\$)
$CV_{i,s,n}$	User's convenience value (%)
$comfort_{mg,s}$	User's comfort level in each microgrid (%)
$E_{w,t,s} / E_{pv,t,s}$	Energy stored in EES (kWh)
$G_{pv,t,s}$	Sun irradiance (W/m <sup>2</sup> )
$\mu$	Multi-Objetive normalized value
$\mu^1$	Normalized value of operation cost

$\mu^2$	Normalized value of users' comfort level
$P_{pv,t,s}^{solar}$	Active generated power by PV panel (kW)
$P_{w,t,s}^{wind}$	Active generated power by wind turbines(kW)
$P_{i,j,t,s}^{loss}$	Active power los in network branches (kW)
$P_{i,t,s,n}^{schedule}$	Active schedulable demand in network buses(kW)
$P_{g,t,s}^{gen} / Q_{g,t,s}^{gen}$	Active/Reactive generated power by turbines(kW/kVar)
$P_{i,t,s}^{demand}$	Active/Reactive power demand in network buses(kW/kVar)
$/Q_{i,t,s}^{demand}$	
$P_{st,t,s}^{sub} / Q_{st,t,s}^{sub}$	Active/Reactive power generation of substation(kW/kVar)
$P_{i,t,s}^{inj} / Q_{i,t,s}^{inj}$	Active/Reactive power injection at network buses(kW/kVar)
$P_{i,j,t,s}^{line} / Q_{i,j,t,s}^{line}$	Active/Reactive power transfered in network branches(kW/kVar)
$P_{i,j,t,s}^{line,req}$	Requested power Exchange by the microgrids(kW)
$P_{w,t,s}^{ch}$	Change active power of EES units (kW)
$P_{pv,t,s}^{dch}$	Discharging active power of EES units (kW)
$PCV_{t,n}$	Preferred convenience value(%)
$S_{i,j,t,s}^{line}$	Apparent power transferred in network branches(kVA)
$\theta_{i,t,s}^{bus}$	Angle of votage in the network buses (rad)
$UCL_{i,s}$	User's convenience level (%)
$V_{i,t,s}^{bus}$	Magnitud of voltaje in the network buses(p.u.)
$V_{w,t,s}$	Wind speed(m/s)

### Variables de decisión

$I_{i,t,s,n}^{appliance}$	Indicator for scheduling appliance
$I_{pv,t,s}^{ch} / I_{pv,t,s}^{dch}$	Indicator of PV panels' EES in charging/discharging mode
$I_{w,t,s}^{ch} / I_{w,t,s}^{dch}$	Indicator of wind turbine's EES in charging/discharging mode
$I_{i,t}^{flow}$	Indicator for status of network branches
$I_{i,j,t}^{flow} / I_{j,i,t}^{flow}$	Indicator of power Flow direction in network branches
$I_{i,t,s,n,h}^{step}$	Indicator of time window

## CAPITULO 1

### 1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años el mercado eléctrico ha tenido que hacer una reestructuración, por la alta tasa de introducción de unidades de generación de energía renovables(Almeida, 2022),(Urgilés Bermeo, 2019), debido a que ha aumentado los sistemas de distribución.

Estos sistemas consisten en unidades de generación, que son fuentes de energía renovable o no renovable y serán los que van a proporcionar Energía para los clientes lo más cercano posible a los puntos de consumo de potencia y consistirán en nuevos sistemas de distribución modernos.

Las unidades de generación serán integradas con sistemas de almacenamiento propio de energía eléctrica(Kim et al., 2017),(Cabrera Merchán & Villa García, 2022), estos sistemas serán gestionadas por un control central en la microrred, la misma podrá funcionar de dos maneras en conexión a la red y en conexión modo isla(Salto Uzhca, 2018), cuando esté conectado a la red, la microrred podrá intercambiar energía con el sistema de distribución y cuando esté activo en modo isla, nuestra micro red utilizará su propia energía que está producirá, estos dos sistemas serán diseñados para poder satisfacer la demanda de los consumidores(usuarios) que estarán conectados.

En la actualidad las micro redes tienen un papel muy importante para realizar la transformación de redes existentes con sistemas antiguos en nuevas redes inteligentes, tienen la ventaja de tener costos reducidos, mejor eficiencia energética, emisiones reducidas, mejores ventajas y confiabilidad en los sistemas, también tenemos que tomar en cuenta el problema de la operación que integra la microrred, sus aspectos económicos, sus aspectos técnicos y también la seguridad que este sistema sobrelleva.

En esta investigación se presenta un estudio en dos etapas, en la primera etapa se revisará la microrred y su programación diaria considerando las condiciones técnicas y aspectos económico, y la segunda etapa tendremos la programación final de toda la red tomando en consideración resultados.

En estudios recientes se pretende lograr una estructura que sea más sostenible, además de la gestión energética que estará integrada en múltiples microrredes en mercados competitivos el propósito principal es satisfacer la demanda de los consumidores al menor costo posible, los costos de operación de la microrred dependerían de su programación diaria, confiabilidad de la carga, generación de energía con recursos renovables y la electricidad(Apraez Cando & Armijos Yalama, 2020).

Los precios son los que afectan significativamente la programación de las microrredes y plantea un desafío, por lo tanto, se considera este tipo de incertidumbres en la programación de cada microrred.

En esta investigación la confianza de demanda de las cargas, el precio de la electricidad y la producción de potencia serán consideradas para realizar la programación, para que sea robusta a las fluctuaciones de generación y los consumos de energía.

También nos enfocamos en sistemas más eficientes, para hacer frente a las incertidumbres, que puedan aumentar la flexibilidad en nuestros sistemas, además podrán almacenar generación excedente de los recursos, para luego poder inyectarlos en la red durante horas pico si es que fuera necesario, este método evita la reducción de exceso de energía generada, además reduce los costos operativos durante una escasez de energía, debido a condiciones desfavorables y puede ser compensada por esta energía almacenada.

Las dos etapas de estudio son para mejorar la flexibilidad operativa y la respuesta a la demanda cuando el sistema cambié a la topología de la red, para poder lograr objetivos cómo reducir costos operativos, reducir pérdidas y dar una mejor confiabilidad al sistema, las mismas podrán ser aplicables en redes radiales con el objetivo de reducir la desviación del horario final, en un horario optimo en su microrred.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivos General.***

El objetivo es analizar esquemas de diversas simulaciones, escenarios de programación diaria de cada microrred, mismas que dependerá de diferentes problemas, como optimización, demanda, generación, y consumo de la red en el domicilio.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos.***

- El objetivo es minimizar el costo total de operación y maximizar los índices de comodidad de los consumidores.
- Se pretende determinar la configuración óptima del sistema, con el objetivo de minimizar costos operativos de la red principal y mejorar la confiabilidad en el sistema, considerando a los distintos hogares inteligentes.
- Extender el uso de nuestra energía renovable en cada vivienda, durante horarios de alto consumo de potencia, mediante la programación de los equipos que gestionaran el uso de la energía.

## **1.2 Formulación del problema.**

El problema que se va a investigar se trata del efecto de las topologías fijas y reconfigurables que hay en las microrredes, podemos investigar distintas funciones de programación en las microrredes, se realizará en distintos escenarios generados por la demanda de la carga, los precios del mercado, velocidad del viento, radiación solar, velocidad del caudal de agua y la funcionalidad de cada microrred.

En cada uno de los escenarios propuestos, estarán relacionados con su propia carga fija de los mismos hogares inteligentes, se debe recalcar que se sumaran las cargas propias por ejemplo los electrodomésticos programables cuando estos entren en funcionamiento o se activen (dependerá del tiempo de activación de cada electrodoméstico) y en qué periodo funcionaran en el domicilio.

En este estudio se pretende obtener una solución para mejorar la eficiencia energética y su uso en cada uno de los hogares inteligentes, utilizando la energía necesaria en cada uno de los aparatos eléctricos y electrónicos que se utilizaran según sea el requerimiento de los usuarios.

## **1.3 Delimitación del problema.**

Esta investigación se va a realizar en un área específica que será en la provincia del Guayas cantón Samborondón, quedarán conformadas por varias microrredes de la siguiente manera: paneles solares , generados eólicos y turbinas hidro cinéticas HKT, que estarán interconectadas para inyectar voltaje en una red de distribución de IEEE 96 buses en un horario designado, el horario de programación de nuestra microrred será en las horas pico, para poder satisfacer las necesidades de los usuarios y si es necesario podrá inyectar energía a la red eléctrica en el caso de que haya altos consumos de energía eléctrica debido a la alta tasa poblacional.

## **1.4 Definición de la zona de estudio.**

La zona de estudio es Samborondón y la isla Mocoli que está ubicada en la riveras del del rio Babahoyo que pertenecen a la provincia del Guayas, tiene proyectado convertirse en miniciudades autónomas que lo tendrá todo , y una gran ventaja es el caudal de agua y las corrientes de viento, además de contar con una buena irradiación solar, donde se podrán implementar fuentes de energías renovables que serán las que provean de energías eléctrica a estas miniciudades del futuro, para este análisis se propuso la implementación de paneles solares , aerogeneradores y turbinas hidro cinéticas HKT .

En este estudio las familias que se beneficiarían serían alrededor de 20.000 habitantes que residen en la isla y podrán tener acceso a cualquiera de los tres tipos de energías renovables.

Ubicación geográfica de la zona de estudio:

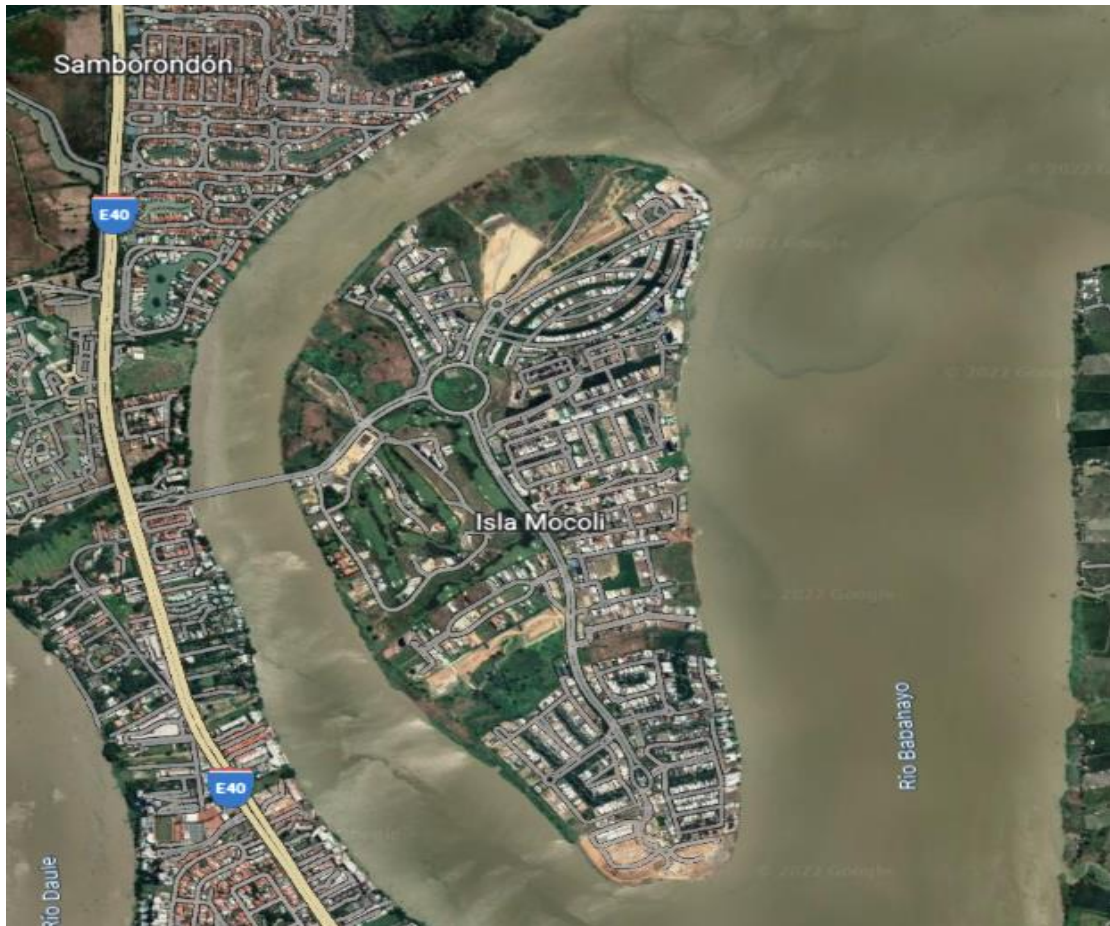


Fig. 1 Isla Mocoli.

Fuente:(Google Street Map).

### 1.5 Justificación.

Es necesario realizar un estudio de las energías renovables, debido a sus avances y sus nuevas tecnologías, para poder realizar sus instalaciones en los domicilios o redes de distribución, hoy en día hay implementaciones con sistemas híbridos bidireccionales y al mismo tiempo tienen ventajas de ser programables y robustas, para una mejor optimización del uso de las mismas, estas pueden estar agrupadas o en islas.

En la actualidad, en las instalaciones de energía renovable es necesario tener un control de cuanta potencia está produciendo y poder administrarla de mejor manera y optimizar su uso en las microrredes (usuarios), con la ventaja de implementar nuevos



sistemas que serán programables, se puede tener un mejor ambiente de control de magnitud para los consumidores finales.

Es viable esta investigación, que dispondrá de recursos económicos, humanos, además de varias fuentes de información, que son necesarias para poder desarrollar nuestro estudio.

El área que se estudiara, tendrá el beneficio de mejorar el uso de las energías renovables, con una mejor calidad y flexibilidad para que las microrredes, sean más eficientes en los horarios que se designe su funcionamiento.

En la presente tesis se pretende contribuir, con nuevos estudios a nivel nacional sobre la importancia de las microrredes, para poder mejorar su implementación, optimizar los procesos de instalaciones, tiempos de uso en los domicilios, mejorar su calidad, la eficiencia y eficacia de todo el sistema y poder llegar a punto más óptimo en su uso diario en cualquier lugar que se instale.

## CAPITULO 2

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Energía solar fotovoltaica.

Este tipo de energía se obtiene de la radiación solar, que incide sobre la tierra en forma de fotones que son partículas de energía, este tipo de conversión se realiza, mediante la exposición del sol en materiales semiconductores cristalinos, en donde actúan los fotones y se produce una diferencia de potencial eléctrico(López et al., 2019).

En la actualidad las nuevas tecnologías y sus avances, tienen la ventaja de proporcionar energía eléctrica en zonas aisladas o no aisladas con microrredes, mediante paneles solares para la electrificación de domicilios, sistemas de señalización vial, sistemas de telecomunicaciones, sistemas meteorológicos y sistemas de mediciones hídricas(Ovalle Cubillos, 2014).

Las energías fotovoltaicas mediante dispositivos, inyectaran directamente su energía a las redes eléctricas pequeñas, medianas y de grandes capacidades de potencia, que estarán instaladas según sea su diseño como pueden ser sistemas fotovoltaicos en viviendas y edificaciones privadas y públicas(Rodríguez-Borges & Sarmiento-Sera, 2011).



Fig. 2 Casa autosustentable de energía eléctrica mediante la implementación de paneles solares.

Fuente (Propia del Autor).

### **2.1.1 Ventajas.**

- Produce energía limpia y ecológica de fuentes naturales como el sol.
- Es accesible desde cualquier lugar.
- Es fácil de manejar y se pueden realizar mantenimientos básicos en ámbito local.
- Su mantenimiento es sencillo y de muy bajo costo.

## **2.2 Energía eólica.**

La energía eólica se obtiene del viento, es decir este tipo de energía cinética se genera por el efecto de las corrientes de aire, para luego transformar en energía eléctrica, u otro tipo de energías que pueden ser utilizadas por el hombre(Jara & Alberto, 2009).

Hoy en día la energía eólica(Icaza et al., 2016), mediante aerogeneradores produce energía eléctrica, este tipo de fuentes es cada vez más utilizado en las microrredes locales, esto hace que la energía sea más barata y que sea más competitiva con las fuentes de energía eléctrica convencionales.

Este tipo de energía renovable, puede integrarse fácilmente como una fuente más de energía eléctrica en una microrred, tiene la ventaja de poder generar energía en el día y en la noche, requiere menos espacio para su instalación y puede abastecer a pequeños consumidores en comunidades aisladas(Gómez-Rivera et al., 2011).



Fig. 3 Parque Eólico

Fuente (Propia del Autor).

### 2.3 Turbinas hidro cinéticas HKT en sistemas híbridos.

Se utilizan en generación de energía eléctrica mediante una fuente renovable, constituyen una tecnología que beneficia la conservación de medio ambiente al no necesitar la construcción de infraestructuras como represas, esta es una gran ventaja para poder utilizar en cualquier lugar del mundo(Arévalo Cordero, 2021).

La principal ventaja de una turbina (HKT) es su facilidad de instalación y son óptimas para sistemas híbridos, aprovechan el flujo de velocidad de agua para poder generar energía eléctrica y pueden generar una potencia nominal de 5kW en velocidades de 3m/s, los sistemas (HKT) son combinados con sistemas PV y WT y estos ayudan a reducir las contaminaciones y efectos invernaderos en nuestro planeta.

El uso de energía cinética mediante canales abiertos de agua podrá generar fuerza para que se realice el movimiento en las turbinas hidro cinéticas(«SMART HYDRO POWER | Hydrokinetic in-stream Turbines», s. f.) (HKT), mediante esta ventaja se han creado diferentes métodos limpios para generar energía utilizando de la mejor manera la potencia de los ríos y mares, en países en desarrollo se podrán implementar para alimentar a comunidades aisladas, en la actualidad los proyectos desarrollados con turbinas (HKT) están en lugares cercanos a las costas por sus escenarios de la influencia de mareas que son los que permitirán la generación de energía eléctrica(Lata García, 2019), además, se debe hacer un estudio de ubicación para cuando se implemente funcione en óptimas condiciones y ayude a minimizar la inversión el impacto ambiental y los costos de operación(Mesa Beleño, 2020).

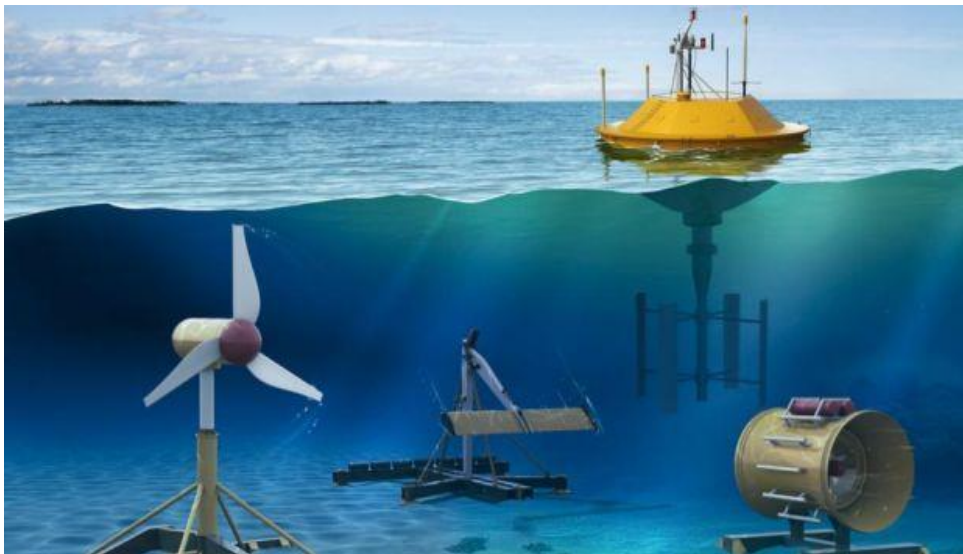


Fig. 4 Turbinas Hidro cinéticas HKT

Fuente (Propia del Autor).

## 2.4 Microrredes.

Son sistemas de distribución eléctrica y hoy en la actualidad han migrado a sistemas complejos, para brindar un servicio continuo con mejor calidad, para evitar cortes o interrupciones en el suministro de la red eléctrica (Mata et al., 2013).

En el mundo hay un gran consumo de energías eléctrica y dependencia de los combustibles fósiles, esto ha dado como resultado la búsqueda de energías renovables, con estas energías se proyecta reducir las contaminaciones con impacto ambiental, de la misma manera la tecnología ha desarrollado nuevos métodos para la generación de energía eléctrica mediante generadores eólicos, paneles fotovoltaicos y generación con las turbinas hidro cinéticas (HKT).

La generación de energías renovables en las microrredes, son instalaciones pequeñas que se encuentran cerca de los puntos de consumo (usuarios) y por lo general están conectadas en redes de media y baja tensión para poder inyectar potencia a la red, en el caso que fuera necesario, o de la misma manera se podrá utilizar el consumo en la microrred, en el caso de un desabastecimiento energético (Pazmiño & Ortiz, 2022).

Las microrredes son un conjunto complejo de generadores de energía eléctrica, sistemas de almacenamiento que estarán aislados o conectados a una red eléctrica, conjuntos de cargas domiciliarias, comerciales e industriales y a todo esto se define como generación distribuida.

Cuando se implementa microrredes en la red eléctrica (Trujillo Sandoval et al., 2021), tiene como ventajas la disminución de impacto ambiental, se evita perdidas energéticas y se descongestiona el transporte de energía en horas de alto consumo por eso en países de desarrollo han migrado a las energías renovables (Mejía et al., 2021).

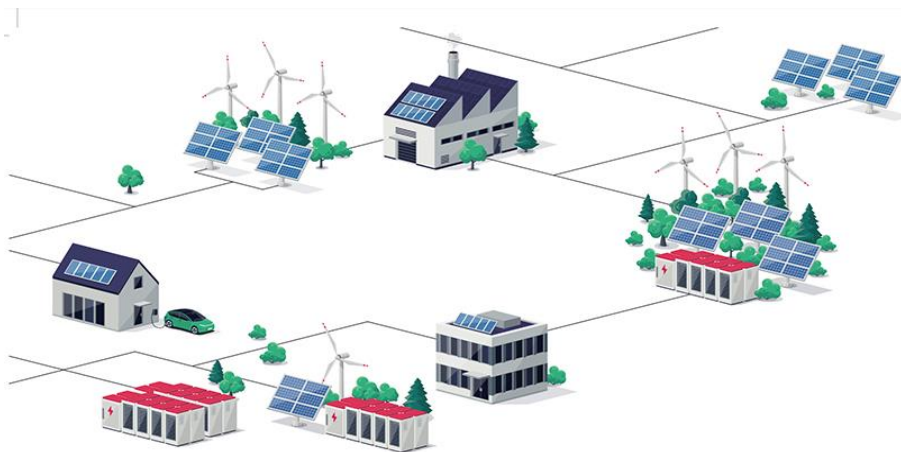


Fig. 5 Conexión de Microrredes.

Fuente (Propia del Autor).



## 2.5 Sistemas híbridos de electrificación eléctrica.

Son la combinación de dos o más sistemas conectados a la red eléctrica(Alvarez et al., 2017) o aislados que se encontraran fuera de la red donde estará conectado algún sistema de generación eléctrica que podrán ser los que sustentan de energía a la red, en algunos casos tendrán acumuladores de energía como baterías(Tostado-Véliz et al., 2021) y serán sistemas bidireccionales(Cruz & Jesús, 2018).

Tiene la ventaja de contar siempre de energía en cualquier tipo de situación, esto es posible por utilizar baterías que permiten almacenar el exceso de energía y poder ser utilizada cuando los suministros de energía eléctrica se vean afectados por algún motivo, este sistema trabajara de igual manera que uno conectado a la red pero tiene la diferencia de usar un inversor híbrido y baterías que almacenaran la energía, esta ventaja de poder almacenar energía permitirá a los sistemas híbridos funcionar como fuente de alimentación durante un corte de energía eléctrica(Moreno et al., 2007).

Los sistemas híbridos(Sami & Icaza, 2015) son dos o más fuentes de energía que suelen integrarse de paneles solares, generadores eólicos y generadoras hidro cinéticas HKT, cualquiera de estos sistemas es importantes en sitios donde la red eléctrica no esté en condiciones óptimas o que no exista(Domenech Léga, 2013).

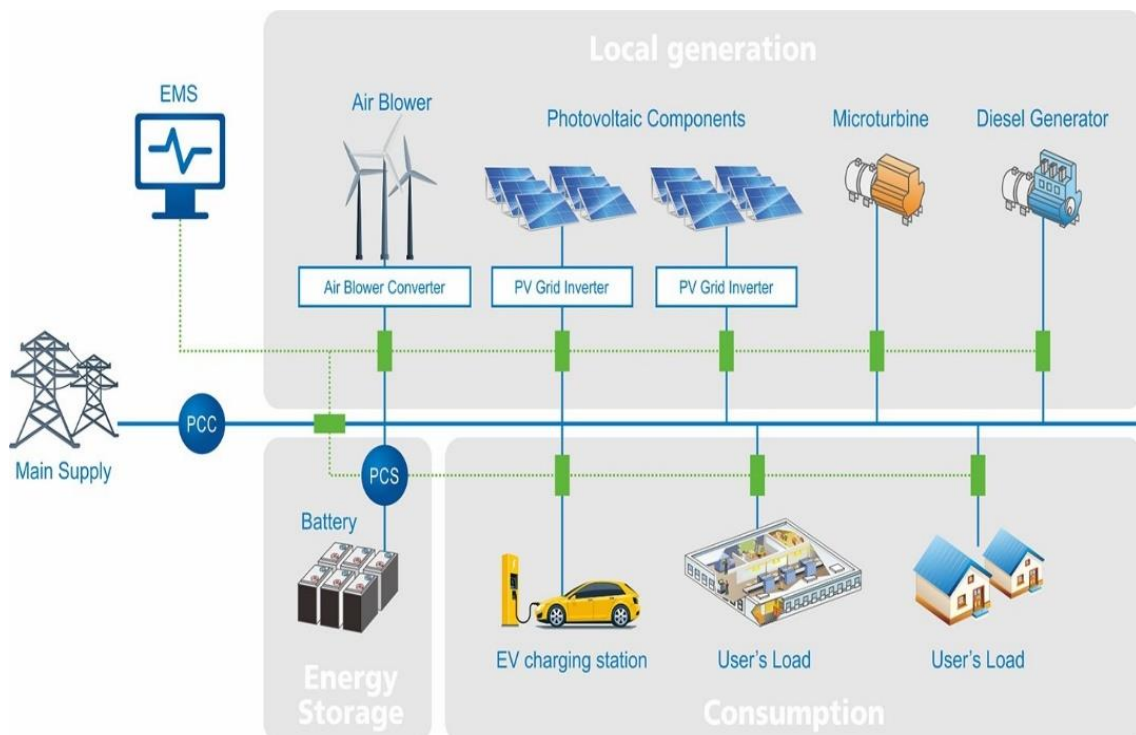


Fig. 6 Sistemas Híbridos

Fuente (Propia del Autor).

## 2.6 Aplicaciones.

Las aplicaciones de las microrredes intervienen en los diferentes sectores, como en viviendas, locales comerciales y áreas industriales (Díaz-Rodríguez et al., 2012).

Hoy en día se implementan más en los sectores domésticos, para poder abastecer la demanda energética y cumplir un alto nivel de eficiencia de energía, al mismo tiempo que cumpla con un consumo casi nulo de energía de la red que procederá de fuentes de energía renovable.

En los sectores comerciales, se utilizarán en la elaboración de materias primas, productos no elaborados para que sean utilizados en procesos industriales.

Además, también se utilizan en sectores como como campos educativos, turísticos, sanitarios y comerciales, las microrredes se mantienen funcionando conjuntamente con la red eléctrica convencional y cuando sea necesario realizan un bypass para conectarse a la red para consumir energía o para inyectar energía a la red (Perez Ramirez et al., 2015).

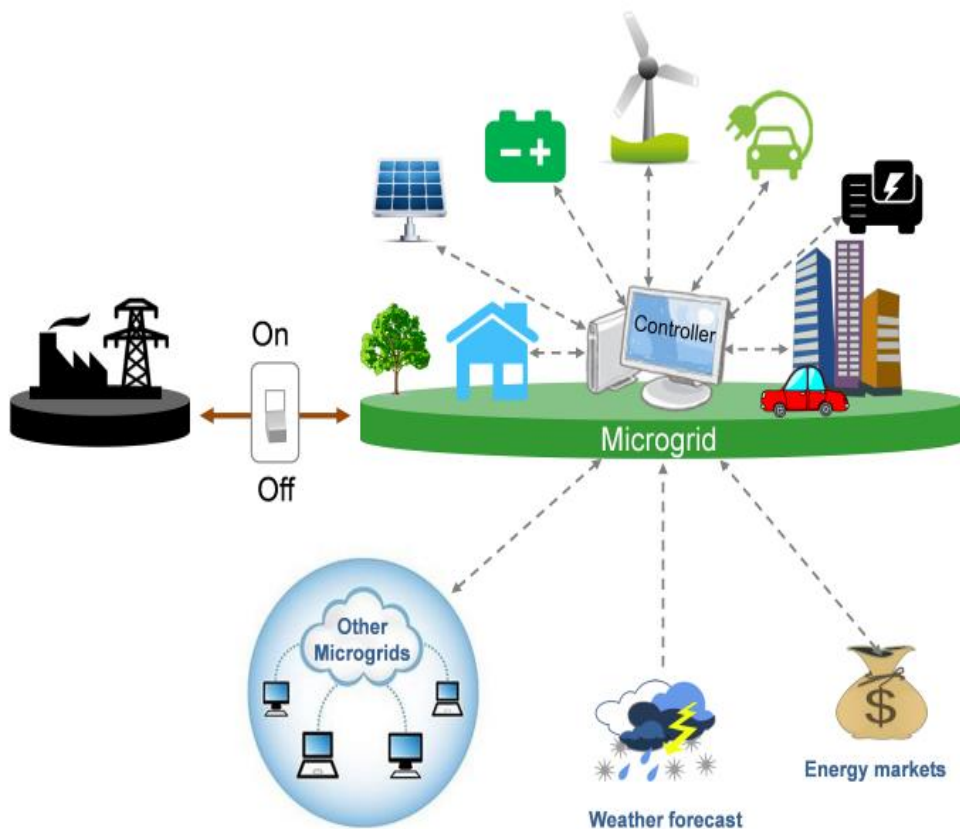


Fig. 7 Aplicación de Microrredes.

Fuente (Propia del Autor).

## CAPITULO 3

### 3 REVISIÓN

#### 3.1 Revisión de la literatura.

El estudio que se realiza en el presente artículo se da a conocer una metodología de programación lineal entera mixta (MILP) que servirá para calcular los dimensionamientos más óptimos de plantas híbridas que estarán conformadas (fotovoltaica-eólicas) en áreas de uso industrial, mediante esta metodología se considera algunos puntos: Costos de operación, costos de mantenimiento de la planta, restricciones geométricas y físicas en la instalación de energías renovables, requisitos de la carga de la planta y energía eléctrica que será absorbida por la red eléctrica local (Lamedica et al., 2018).

Se explora la posibilidad de poder utilizar los recursos renovables en una región de Surrey en el sureste de Inglaterra para poder satisfacer la demanda energética que esta zona necesita y se utilizara una optimización bio objetiva para poder evaluar los diferentes impactos económicos y ambientales en sistemas híbridos de energías renovables, este enfoque utilizara un modelo MILP mixta que permitirá la selección de tecnologías a utilizar, capacidad de operación, producción de energías renovables (Kelechi & Tokos, 2016).

Se gestiona la energía óptima y dimensionamiento de energías renovables en sectores residenciales a través de un modelado MILP, los suministros de las energías renovables serán de mayor importancia en el futuro, en este caso los autores Farrokifar Meisan, Aghdam Farid, Alahuari Arman Monavari Ali y Safary Amin propone un modelado óptimo para determinar la capacidad de los FER en los paneles fotovoltaicos y en aerogeneradores, en este estudio se utiliza un mecanismo llamado la rueda de la ruleta, además las funciones de distribución más adecuadas para poder generar distintos escenarios de incertidumbre, incluyendo a los paneles solares y generadores eólicos, demandas y precios del mercado de la electricidad, en este caso se realiza una verificación en dos casos distintos que son una vivienda individual y una microrred obteniendo resultados de varias simulaciones numéricas que demostraran la efectividad del modelo propuesto, en este artículo el objetivo principal es determinar y diseñar el mejor tipo de energías renovables, el tipo de dimensión de las microrredes y el tiempo que tomara la instalación en cada una de las microrredes, ellos proponen un modelo probabilístico multiobjetivo para poder planificar redes de distribución activas con programas de respuesta a la demanda (Farrokhifar et al., 2020).



Se presenta un nuevo modelo de programación lineal mixta (MILP) realizado por los autores Pinzón Jerson, Vergara Pedro, Silvia Ruiz y Ryder Marcos para poder gestionar el consumo energético y el confort de los usuarios en edificios inteligentes, en este artículo el modelado MILP será una forma de tener una gestión óptima de consumo energético los edificios inteligentes, formulando un modelo bien detallado de su programación no lineal entera mixta (MINLP), en este estudio van a considerar la gestión de algunas unidades como calefacción, aire acondicionado, iluminación, aparatos de generación fotovoltaica (PV) y los sistemas de almacenamiento de energía (ESS), en segundo plano se maneja conjuntos de representaciones lineales y equivalentes donde podrán aproximarse al problema mediante un modelo (MILP) y reducir los costos de la factura de la electricidad mediante la gestión de cargas, obteniendo como resultados modelos matemáticos de la energía optimizando la red. (Pinzon et al., 2017)

Hoy en día la integración de generaciones distribuidas como paneles fotovoltaicos, energía eólica y sistemas de almacenamiento de energía, pretenden plantear oportunidades para poder estabilizar la tecnología de energía y las diferentes estructuras de distribución, por este motivo la demanda y oferta de la electricidad no puede estar equilibrada.

En casos de escasez en la producción o entrada de la electricidad podría interrumpir en nuestro sistema y causar muchos problemas que pueden ser críticos incluyendo la caída y el aumento de tensión y en casos de especiales los cortes de energía, para evitar esto en nuestros sistemas de energía los autores Meliani Meryem, BArkany Abdellah, Abbassi Ikram, Darcherif Abdel y Mahmoudi Morad dicen que se puede realizar una gestión de energía donde se puede aumentar efectivamente un equilibrio entre la oferta y la demanda de la misma y podría disminuir su carga máxima durante algunos períodos que no estarían planificados.

Este sistema podrá ser capaz de gestionar la energía entre los distintos recursos energéticos y también de suministrar todas las cargas de forma segura, económica y eficaz en las condiciones que sea necesaria en la red eléctrica.

Los autores proponen la gestión de la electricidad y diversas estrategias de incertidumbre incluyendo una valoración de las principales técnicas de optimización de la estructura de la energía (Meliani et al., 2021)

El estudio realizado en Ecuador sobre factibilidad para el uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional San Antonio de Riobamba por los Autores Mónica Alejandra y Chávez Guerrero en donde evaluaron los requerimientos de una vivienda tipo residencial y su consumo energético, además

determinaron el potencial de generación energética de dicha localidad de 11.88Kw que será mediante paneles solares y tendrá que abastecer a una carga de 55.76 Amperios.

En este estudio se indica que sus gastos se recuperaran en un plazo de 23 años por el alto costo de sus equipos y se justifica por no ser agresiva con el medio ambiente y poder ser una alternativa para nuevas fuentes de energías renovables dentro de nuestra matriz energética y son muy viables para poder utilizar como potencial energético disponibles. (Chávez Guerrero, 2013)

Las microrredes aisladas deben tener confiabilidad para garantizar el suministro eléctrico en este artículo los autores Wu Xiong, Zhao Wencheng, Wang Xiuli Y Li Haoyu proponen un modelo (MILP) mediante programación donde podrán determinar el tamaño de una microrred óptima y autónoma, también proponen el método Monte Carlo para evaluar la confiabilidad del sistema, además proponen una linealización multidimensional para poder aproximar la función evaluación de confiabilidad no lineal e implícita. (Wu et al., 2021)

En la última década se han presentado muchos desafíos en la industria energética por los niveles de energía que han alcanzado niveles máximos de consumo hoy y se han creado algunos requisitos para equilibrar dicha demanda y para la generación de electricidad.

Se han considerado razones económicas y medioambientales por las empresas distribuidoras para poder balancear la potencia y sistemas complejos, también en futuras generaciones de electricidad se considerará el impacto ambiental y las redes inteligentes, los autores Bradac Zdenek, Kczmarczyk Vaclav y Fiedler Petr indican que un sistema inteligente tiene capacidad computacional y control para mejorar el suministro de energía eléctrica, también explican que un sistema tonto se volverá inteligente realizando una serie de procesos y retroalimentaciones ajustándose continuamente a los nuevos modelos, todo este desarrollo permitirá mejorar la optimización y confiabilidad del sistema para minimizar el uso de energía y garantizar la reducción de costos.

Los autores proponen reducir los problemas de programación de la demanda y se enfocan en una programación lineal realizando cambios en la toma de decisiones redundantes para que sea más eficaz (Bradac et al., 2015).

Hoy en día los sistemas pueden gestionar la energía doméstica y son parte integral de la red inteligente donde pueden permitir controlar más cómodamente los diferentes electrodomésticos inteligentes, además podrán reducir la factura de la electricidad, según el estudio de los autores Vukasovic Milan y Vukasovic Bojan pretenden realizar la integración de sistemas con baterías en los hogares que se convertirán en sus propios prosumidores y tendrán la posibilidad de poder optimizar su

propio uso durante un periodo de tiempo, también podrá vender su excedente de energía y el objetivo de este estudio es minimizar los costos totales de la energía(Vukasovic & Vukasovic, 2017).

En desarrollo de programas de respuesta de las demandas en la red eléctrica inteligente brindara al operador del sistema muchas ventajas y oportunidades para poder realizar la reducción del congestionamiento de la carga de la red, los autores Shen Ziqi, Wei Wei, Wu Lei, Shafie-khah Mia y Catalao Joao P.S. proponen un modelo de programación lineal de enteros mixtos para solucionar el problema de despacho económico de la carga dependiente, además la solución de equilibrio en la estrategia de despacho de energía, en este caso se demuestra las dificultades en los enfoques tradicionales y la solución con resultados muy efectivos en el método propuesto.(Shen et al., 2021)

En el estudio la integración de tecnologías en redes inteligentes en unidades estocásticas son de múltiples objetivos que analizan los temas económicos , donde los autores Soltani Z., Ghaljehei M, Gharehpet G.B y Aalami H.A indican que hoy en día las redes eléctricas son inteligentes capaces de mejorar a las antiguas redes existente para que sean mejor económicamente, más flexibles, ecológicas y confiables, en la actualidad incluso hay redes inteligentes con tecnologías que incluyen hasta vehículos eléctricos, hay que tomar en cuenta que se requiere nuevas metodologías para poder vincular la programación en el lado de la oferta y en el lado de la demanda y poder beneficiarse de sus ventajas, por otra parte las tareas de programación se vuelven más complejas hoy en día debido al aumento de las variables de toma de decisiones esto incluye las nuevas restricciones y el tipo de funciones objetivas no lineales, este estudio propone nuevos modelos para programar adecuadamente y tener control de la red inteligente utilizando métodos de programación lineal (MILP).(Soltani et al., 2018)

A lo largo de los años la demanda se ha convertido en uno de los principales temas de estudio de una red inteligente, los autores Singab Hemanth, Jain Amit y Bhatta Tulica nos indica que las demandas de clientes que tienen instalado cargas eléctricas en redes inteligentes, almacenamiento y generación distribuida, pueden vincular el almacenamiento distribuido a las baterías en tiempo real a través de un umbral de precio, esto se realizará mediante programación lineal(MILP), para poder programar de manera más eficiente y óptima todas las cargas eléctricas de las baterías y poder obtener una reducción del precio de la factura del consumo diario (Singabhattu et al., 2017).

Se analiza diferentes modos de viabilidad económica para poder instalar microrredes con generación renovable en la primera etapa y suministrar energía para un aserrío, en la segunda etapa se pretende generar energía para una potencia de

300kW o más que pueda suministrar de forma eficiente mediante una turbina fluvial hidro cinética que podrá abastecer a un alumbrado público, para el desarrollo de este estudio se utiliza HOMER Pro se pretende obtener unos eficaces y prometedores resultados así lo indican los autores Godoy Jose Luis, Schierloh Rodrigo Manuel y Vega Jorge en este estudio(Godoy et al., 2018).

Los servicios básicos no llegan a todo el mundo y menos a personas de bajos recursos económicos, por lo cual el autor Guerra Zu Yordan Oliver pretende diseñar una turbina hidro cinética que pueda favorecer a la comunidad amazónica donde se implican planeación, diseño y aplicación en el rio Santiago que pertenece a la amazonia, este estudio se basa en reportes que indica la falta de electricidad en algunas zonas que no tienen conexión a la red de nuestro país y la mayoría de comunidades no cuentan con los servicios básicos, el estudio pretende diseñar una turbina hidro cinética que genere una potencia de 6.73 kW y podrá cumplir con la demanda con un total de 2445.6 kW anual por familia.(Guerra Zurita, 2020)

### **3.2 Contribución.**

Esta tesis demuestra un marco de dos etapas para poder programar las microrredes y el DRF (Registrador de fallas de perturbación) en nuestro modelo, implementamos un sistema de prueba de bus IEEE 96 modificado que están constituidas por 9 microrredes conformados por cargas tradicionales y hogares inteligentes, las incertidumbres por dicha demanda de la carga, el precio del mercado y la generación de energía se ha aplicado a nuestro modelo para tener en cuenta las condiciones. En este modelo se ha formulado como un problema de optimización en dos etapas para poder abordar el problema de optimización a una gran escala con un alto número de variables continuas y discretas.

En la primera etapa se resuelve la programación diaria de cada microrred como un problema de optimización de dos objetivos se utiliza el método difuso min-Max, estos objetivos los definimos como la minimización de los costos totales de las operaciones mínima y máxima del índice de comodidad de los consumidores finales.

En la segunda etapa el DRF (Registrador de fallas de perturbación) optimo, realizado por el DSO (Operador del Sistema de Distribución) con el objetivo de minimizar la desviación de programación optima de las microrredes será determinada en la primera etapa para obtener un mejor resultado.

En esta tesis indicamos las siguientes novedades y podemos resumirlas de la siguiente manera:

- Se propone un marco de optimización de dos etapas para poder realizar la programación en las microrredes y el DFR (Registrador de fallas de perturbación).
- Se considero los hogares inteligentes y las cargas eléctricas tradicionales para nuestro modelo.
- Se resuelve los problemas de programación diarias de las microrredes mediante dos objetivos que serían el costo de la operación y los índices de comodidad de los consumidores.
- Resolviendo los problemas del DRF (Registrador de fallas de perturbación) con respecto de la programación optimas de las microrredes.
- Se realiza una investigación de impacto de las diferentes funciones objetivas en la programación de hogares inteligentes.

En esta tesis los temas se organizan de la siguiente manera se presenta la descripción del problema, se realiza la formulación de problemas matemáticos, además se presentan los algoritmos y los diagramas de flujo para resolver el presente modelo de estudio, y por último se presentan las simulaciones y sus resultados.

Tabla 1. Comparación del estudio con recientes investigaciones.

Referencia	Objetivo	Modelo Matematico	Modelo de problemas		Multi Ecenario	DFR	Aplicaciones de casa		Indice de comodidad	DR	EES	REF			Incertidumbre
			Unico objetivo	Multi objetivo			Lote	Arreglo				Eolico	PV	HKT	
[28]	Ganancia	MILP	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓
[29]	Economico Ambiental	MILP	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓
[30]	Ganancia	MILP	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
[31]	Economica	MILP	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
[34]	Economico Ambiental	MILP	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
[35]	Economica	MILP	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x
[36]	Economica	MILP	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
[37]	Economico Ambiental	MILP	x	✓	✓	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	x
[38]	Economica	MILP	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x
[34]	Economica	MILP	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
[39]	Economico Ambiental	MILP	✓	x	x		✓	x	✓	x	✓	x	x	✓	x
[40]	Estudio	MILP	✓	x	✓		x	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x

Fuente (Propia del Autor).

### 3.3 Obtención de datos.

En la primera etapa se estudiaría el problema de operación, desde el punto de vista de cada microrred, nos encaminaremos en la optimización del costo operativo y el índice de comodidad de cada consumidor, cabe señalar que el problema de programación de cada micro red, se podrá resolver como un solo objetivo o de dos objetivos.

Si elegimos la programación de 2 objetivos formaremos una tabla de pagos para resolver el problema de programación de la microrred, la tabla de pagos de multiobjetivo es ayudar a formar un modelo de restricción en la siguiente tarea, (funciones de pertenencia) determinando los niveles superior o inferior de las funciones objetivo.

Las funciones de pertenencia es una curva que define como cada punto en el espacio de entrada se asigna a un valor de membresía entre 0 y 1, y al final de cada etapa los resultados son relacionados con la operación de la microrred incluyendo la nueva curva de demanda de la carga, además de la transacción horaria de energía y estos se fijan en sus valores óptimos y se entregan a la base de datos.

En la segunda etapa se realiza una evaluación y se ve la posibilidad de una nueva programación de la microrred, también se observa que la topología del sistema se podrá reconfigurar en esta etapa, si se reconfigura el sistema se lleva a cabo con el objetivo de minimizar la desviación de la programación óptima de las microrredes determinadas en la primera etapa, si no es posible implementar la programación horaria, de alguna microrred las señales correctivas(cortes de optimización) serian generadas y enviadas a la base de datos respectiva de la microrred, estas señales se agregan a los problemas como nuevas restricciones y la programación continua hasta satisfacer el criterio propuesto para obtener una mejor eficiencia.

### **3.4 Descripción del sistema de estudio.**

En el presente documento se realiza el estudio de un sistema IEEE 96-bus modificado que está conformado por 9 microrredes representadas en la Fig.8, como se puede observar cada microrred abastece su demanda mediante la utilización de RES (Fuente de Energía Renovable), esta incluirá la generación solar, eólica e hidro cinética HKT, cabe destacar que se utilizará sistemas de almacenamiento eléctrico EES (Almacenamiento de Energía Eléctrica) simultáneamente con tecnologías de las energías renovables.

Para nuestro estudio se ha considerado varios interruptores para el DFR (Registrador de fallas de perturbación) como se indica en la Fig.8 en color rojo, cada microrred asistirá la demanda en los hogares inteligentes, así como la demanda tradicional y en este caso se realizará la programación de día anterior, con el objetivo de poder maximizar el índice de confort de cada uno de los hogares inteligentes.

En este asunto la ubicación de una casa inteligente en nuestra microrred estará especificada de color verde y las cargas controladas estarán conformadas por un conjunto de aparatos eléctricos por ejemplo serán microondas, lavavajillas, plancha, secadora, lavadora, cocina, tostadora y una cafetera.

Se debe tomar en cuenta las cargas fijas que son calefacciones, refrigeraciones e iluminación, cada hogar inteligente está equipado con una propia autogeneración tecnológica como puede ser paneles solares, generador eólico o una turbina HKT y también un sistema EES para reducir el monto de consumo eléctrico y reducir el costo de las facturas eléctricas y así poder aumentar la flexibilidad de nuestro sistema.

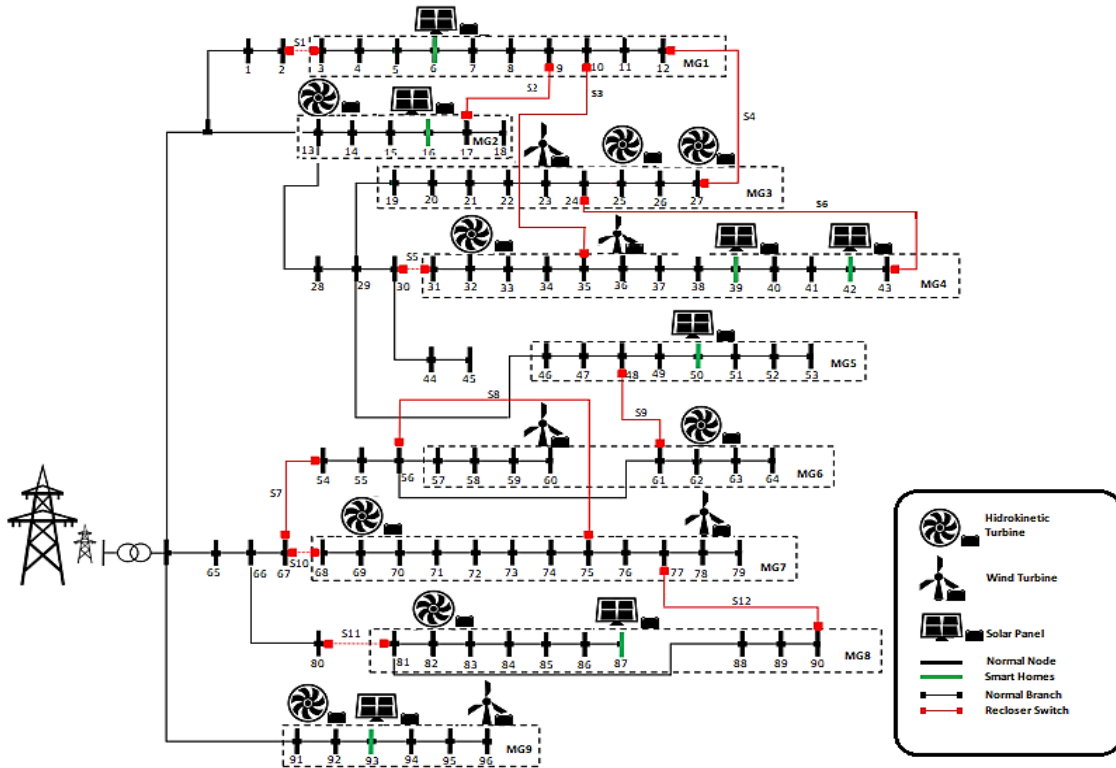


Fig. 8 Descripción general del sistema de distribución bus IEEE 96 modificado.  
Fuente (Propia del Autor).

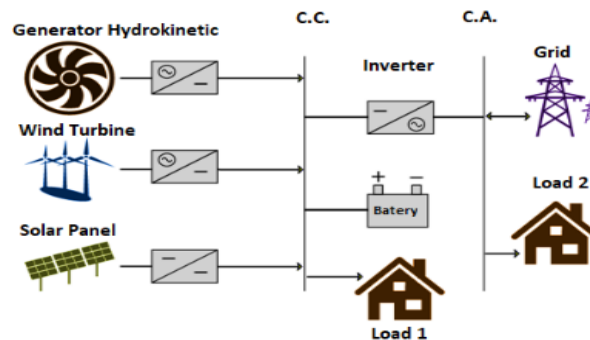


Fig. 9 Diagrama específico de tipos de generadores de voltaje bidireccional.  
Fuente (Propia del Autor).

### 3.5 Formulación matemática.

#### 3.5.1 Funciones objetivas.

En la primera etapa las funciones objetivas es la minimización del costo total de la operación y poder maximizar el índice de comodidad de los consumidores que podemos expresar en las fórmulas matemáticas (1a) y (1b) respectivamente, en cada área de servicio de la microrred.

La expresión (1c) indica la función de pertenencia asignada a cada objetivo, en este caso la función objetivo de la segunda etapa estará representa en la ecuación (1d), que será para poder minimizar la operación de costos de la red principal y poder penalizar por la desviación de la programación de las microrredes.

La función objetiva indica que la red será penalizada si no cumple con el intercambio de energía solicitado de las microrredes.  $P_{i,j,t,s}^{line,req}$  con el intercambio de energía solicitado por la microrred, mientras que.  $P_{i,j,t,s}^{line}$  es el intercambio de energía resultante por el DSO,  $\pi_{mg}^{penally}$  es el costo por desviarse de la programación de las microrredes, en la función objetivo de esta etapa se resuelve a partir del punto de vista del DSO.

$$\min \sum_{s=1}^S \rho_s \sum_{mg=1}^{MG} Cost_{mg,s} \quad (1a)$$

$$\max \sum_{s=1}^S \rho_s \sum_{mg=1}^{MG} Comfort_{mg,s} \quad (1b)$$

$$\max \mu \leq \begin{cases} \mu^1 = \frac{Cost^{max} - Cost^{opt}}{Cost^{max} - Cost^{min}} \\ \mu^2 = \frac{Comfort^{opt} - Comfort^{min}}{Comfort^{max} - Comfort^{min}} \end{cases} \quad (1c)$$

$$\min \sum_{s=1}^S \rho_s \left[ \sum_{t=1}^T \sum_{i \in D_{mg}^i} \left( \sum_{g \in D_i^g} C_{g,t,s}^{gen} + \sum_{w \in D_i^w} C_{w,t,s}^{wind} + \sum_{pv \in D_i^{pv}} C_{pv,t,s}^{solar} \right) + \sum_{t=1}^T \sum_{st \in D_i^{st}} \pi_t^e P_{st,t,s}^{sub} \Delta t \right] - \sum_{mg=1}^{MG} \pi_{mg}^{penalty} \sum_{t=1}^T \sum_{(i,j) \in \{D_{mg,t}^{ij+}, D_{mg,t}^{ij-}\}} |P_{i,j,t,s}^{line} - P_{i,j,t,s}^{line,req}| \Delta t \quad (1d)$$

#### 3.5.2 Flujo de energía.

El flujo de potencia de corriente alterna linealizado (ACPF) que se utiliza en este documento está representado por las fórmulas (2a) -(2o), en este caso la conductancia y la susceptancia del alimentador se calculan con las siguientes fórmulas (2a) y (2b), las fórmulas que representan el flujo de las potencias activas y reactiva de las líneas son (2c) -(2d) como funciones de magnitud y el ángulo del voltaje, para poder calcular la inyección de potencia activa y reactiva de cada barra en los ramales se usa las fórmulas (2e) y (2f) , para el cálculo del flujo de potencia aparente en cada línea en función de los flujo de las potencias activas y reactivas y el factor de potencia medio de los buses



emisores y receptores se utiliza la formula (2g), y para el último punto la desigualdad (2h) aplicara la restricción de la seguridad que estará relacionada con el flujo de potencia mínimo y máximo de las líneas .

Para el cálculo de equilibrio de potencia nodal activa y reactiva se utilizarán las fórmulas (2i) y (2j), para las restricciones (2k) y (2l) serán las que limitan la magnitud del voltaje y el ángulo de voltaje dentro del ángulo permitido, en el caso de las pérdidas de potencia del sistema se deberá calcular mediante las relaciones individuales (2m) y (2o), para este caso la ecuación (2m) indicara el flujo de potencia en cada línea y especificara el punto de operación en la línea, la ecuación (2n) será la que indique la limitación del punto de operación en la línea, (2o) será la que indique las perdidas en cada línea.

$$G_{i,i}^{line} = \frac{r_{i,j}}{r_{i,j}^2 + x_{i,j}^2} \quad (2a)$$

$$B_{i,i}^{line} = \frac{x_{i,j}}{r_{i,j}^2 + x_{i,j}^2} \quad (2b)$$

$$G_{i,i}^{line} = (V_{i,t,s}^{bus} - V_{j,t,s}^{bus}) + B_{i,j}^{line} (\theta_{i,t,s}^{bus} - \theta_{j,t,s}^{bus}) + \frac{P_{i,j,t,s}^{loss}}{2} - M(1 - I_{i,t,s}^{flow}) \leq P_{i,j,t,s}^{line} \leq \quad (2c)$$

$$G_{i,i}^{line} = (V_{i,t,s}^{bus} - V_{j,t,s}^{bus}) + B_{i,j}^{line} (\theta_{i,t,s}^{bus} - \theta_{j,t,s}^{bus}) + \frac{P_{i,j,t,s}^{loss}}{2} + M(1 - I_{i,t,s}^{flow})$$

$$B_{i,i}^{line} = (V_{i,t,s}^{bus} - V_{j,t,s}^{bus}) + G_{i,j}^{line} (\theta_{i,t,s}^{bus} - \theta_{j,t,s}^{bus}) - M - I_{i,t,s}^{flow} \leq Q_{i,j,t,s}^{line} \leq \quad (2d)$$

$$B_{i,i}^{line} = (V_{i,t,s}^{bus} - V_{j,t,s}^{bus}) + G_{i,j}^{line} (\theta_{i,t,s}^{bus} - \theta_{j,t,s}^{bus}) - M(1 - I_{i,t,s}^{flow})$$

$$P_{i,t,s}^{inj} = \sum_{j(j \neq i)}^J P_{i,j,t,s}^{line} \quad (2e)$$

$$Q_{i,t,s}^{inj} = \sum_{j(j \neq i)}^J Q_{i,j,t,s}^{line} \quad (2f)$$

$$S_{i,j,t,s}^{line} = P_{i,j,t,s}^{line} + \xi_{i,j}^{line} Q_{i,j,t,s}^{line} \quad (2g)$$

$$-S_{i,j}^{max} I_{i,t,s}^{flow} \leq S_{i,j,t,s}^{line} \leq S_{i,j}^{max} I_{i,t,s}^{flow} \quad (2h)$$

$$\sum_{st \in D_i^{st}}^{ST} P_{st,t,s}^{sub} + \sum_{g \in D_i^g}^G P_{g,t,s}^{gen} + \sum_{w \in D_i^w}^W (P_{w,t,s}^{wind} + P_{w,t,s}^{dch} + P_{w,t,s}^{ch}) + \sum_{pv \in D_i^{pv}}^{pv} (P_{pv,t,s}^{solar} + P_{pv,t,s}^{dch} + P_{pv,t,s}^{ch}) = P_{i,t,s}^{inj} + P_{i,t,s}^{Demand} \quad (2i)$$

$$\sum_{st \in D_i^{st}}^{ST} Q_{st,t,s}^{sub} + \sum_{g \in D_i^g}^G Q_{g,t,s}^{gen} = Q_{i,t,s}^{inj} + Q_{i,t,s}^{Demand} \quad (2j)$$

$$V_{i,t,s}^{min} \leq V_{i,t,s} \leq V_{i,t,s}^{max} \quad (2k)$$

$$\theta_{i,t,s}^{min} \leq \theta_{i,t,s} \leq \theta_{i,t,s}^{max} \quad (2l)$$

$$|S_{i,j,t,s}^{line}| = \sum_b \alpha_{i,j,t,s,b} S_b \quad (2m)$$

$$0 \leq \sum_{b=1}^B \alpha_{i,j,t,s,b} \leq 1 \quad (2n)$$

$$P_{i,j,t,s}^{loss} = r_{i,j} \sum_b \alpha_{i,j,t,s,b} S_b^2 \quad (2o)$$

### 3.5.3 DRF (Registrador de Fallas de Perturbación).

En este caso de análisis la formulas (3a) -(3c) serán las que garantizan la radialidad de la red durante el DRF, la ecuación (3a) determinara la dirección del flujo de potencia en las líneas activas que estarán presentes en la operación  $I_{l(i,j),t}^{Flow}$  será la variable de tipo binario que determinara la presencia y ausencia de cada una de las líneas en el tiempo  $t$ , la ecuación (3b) establecerá que cada bus podrá recibir energía de una sola línea, la ecuación (3c) será la que evite la inyección de energía en el bus y por último la ecuación (3d) es quien limitara la cantidad de interruptores que estarán activos.

$$I_{i,j,t,s}^{flow} + I_{j,i,t,s}^{flow} = I_{l(i,j),t,s}^{flow} \quad (3a)$$

$$\sum_{j(j \neq i)}^J I_{j,i,t,s}^{flow} = 1 \quad (3b)$$

$$\sum_{j(j \neq i)}^J I_{j,i \in D_i^t,t,s}^{flow} = 0 \quad (3c)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L |I_{l,t,s}^{flow} - I_{l,t-1,s}^{flow}| \leq N^{sw} \quad (3d)$$

### 3.5.4 Accesorios.

En este estudio cabe mencionar que cada microrred incluirá una serie de casas inteligentes y podrá operar considerando las cargas tradicionales y hogares inteligentes, con las ecuaciones (4a)- (4p) se podrán representar las relaciones existentes y necesarias para poder realizar un modelo de funcionamiento de los electrodomésticos, el tipo de demanda y carga de cada una de las viviendas que deberán incluirán dos tipos de categorías como cargas fijas y programables, que se indican en la ecuación (4a).

Para el cálculo del consumo horario de cada uno de los electrodomésticos se establece la siguiente ecuación (4b), con la ecuación (4c) se podrá indicar que el tiempo de funcionamiento de cada uno de los aparatos será igual a la duración del tiempo de operación (LOT), en la ecuación (4d) se puede establecer que cada aparato se debe activarse en un solo intervalo de rango de tiempo de utilización UTR(Rango de tiempo de utilización), la ecuación (4e) nos indica que el funcionamiento del aparato es interrumpido, en este caso hay que señalar que algunos electrodomésticos tienen función dependiente, por ejemplo el primero funcionara en WM y después se iniciara el

SD trabajando, para la operación de tales aparatos indicados se ha podido modelar con la siguiente ecuación (4f)-(4h).

La ecuación (4f) afirma el correcto funcionamiento de cada aparato, por otra parte (4g) modelara la limitación de variable binaria  $H_{i,t,s,n,h}$ , en la ecuación (4h) cada uno de los dispositivos dependientes deberá encenderse después que finalice el funcionamiento del aparato independiente, en cambio las ecuaciones (4i) -(4k) son para poder garantizar los intervalos de tiempos permitidos y requeridos entre las operaciones de los aparatos dependientes del consumidor.

Para calcular el índice de comodidad se utilizará la ecuación (4l) en función del índice de confort de cada uno de los aparatos, las ecuaciones (4m) y (4n) podemos utilizar para determinar el nivel de conveniencia de los usuarios (UCL) de los electrodomésticos y el nivel de confort de todas las casas inteligentes y se utilizará la ecuación (4o).

En la ecuación (4n) se utilizan dos funciones exponenciales para poder determinar UCL, esta ecuación establece que si el aparato en el tiempo de activación estará en el rango preferido de los consumidores el valor del UCL será igual a 1, y si el tiempo de activación de dicho dispositivo esta fuera del rango preferido de los consumidores el valor del UCL disminuirá con cierta pendiente, donde  $\beta_n$  indicará en coeficiente de amortiguamiento de la curva de conveniencia preferida.

$$P_{i,t,s}^{demand} = P_{i,t,s}^{fix} + \sum_{n=1}^N P_{i,t,s,n}^{schedule} \quad (4a)$$

$$P_{i,t,s,n}^{schedule} = \frac{EEC_n I_{i,t,s,n}}{LOT_n} \quad (4b)$$

$$\sum_{t \in UTR^n} I_{i,t,s,n}^{appliance} = LOT_n \quad (4c)$$

$$\sum_{t \in UTR^n} I_{i,t,s,n}^{appliance} = 0 \quad (4d)$$

$$\sum_{t \in UTR^n} |I_{i,t,s,n}^{appliance} - I_{i,t-1,s,n}^{appliance}| \leq 2 \quad (4e)$$

$$\sum_{t \in UTR^n} I_{i,t,s,n}^{appliance} - LOT_n = \sum_h I_{i,t,s,n,h}^{step} \delta_h \quad (4f)$$

$$\sum_h I_{i,t,s,n,h}^{step} = 1 \quad (4g)$$

$$I_{i,t,s,m}^{appliance} \leq I_{i,t,s,n,h=H}^{step} \quad (4h)$$

$$I_{i,t,s,m}^{turn-on} \leq I_{i,t,s,n}^{turn-off} = I_{i,t,s,n} - I_{i,t-1,s,n} \quad (4i)$$

$$0 \leq I_{i,t,s,n}^{turn-on} + I_{i,t,s,n}^{turn-off} \leq 1 \quad (4j)$$

$$I_{i,t,s,m}^{turn-on} + I_{i,t,s,n}^{turn-off} \leq T_{n,m}^{gap} \quad (4k)$$

$$UCL_{i,s} = \frac{\sum_{n=1}^N w_n CV_{i,s,n}}{\sum_{n=1}^N w_n LOT_n} \quad (4l)$$

$$CV_{i,s,n} = \sum_{t=1}^T I_{i,t,s,m}^{appliance} PCV_{t,n} \quad (4m)$$

$$PCV_{t,n} = \begin{cases} 1 & , t \in PTR \\ \beta_n e^{t-t_n^{start}} & , t < t_n^{start} \\ \beta_n e^{-t_n^{end}-t} & , t > t_n^{end} \end{cases} \quad (4n)$$

$$Comfort_{mg,s} = \sum_{i \in D_{mg}^i} UCL_{i,s} \quad (4o)$$

### 3.5.5 Unidades de generación.

Con las siguientes formulas (5 a) -(5h) se relacionarán con la generación de energía de DER(Recursos Energéticos Distribuidos) y sus costos operativos que están asociados, en esta etapa la ecuación (5a) indicará la generación de energía por hora de la turbina eólica, que será en función de la velocidad del viento por horas y que tipo de características tiene la turbina, la energía generada por los paneles fotovoltaicos están demostrados en la ecuación(5b) en función de la hora solar, además se observó la eficiencia del convertidor  $\eta_{pv}^{conv}$  es considerado por el 95%. Los costos operativos de las turbinas eólicas y paneles solares se indican en las ecuaciones (5f)- (5h) respectivamente, y los costos operativos totales de todas las microrredes se calcularán con la ecuación (5i).

$$P_{w,t,s}^{wind} = \begin{cases} 0, & V_{w,t,s} < V_i, V_{w,t,s} > V_o \\ P_w^r \frac{V_{w,t,s}-V_i}{V_r-V_i} & V_i \leq V_{w,t,s} < V_r \\ P_w^r, & V_r \leq V_{w,t,s} < V_o \end{cases} \quad (5a)$$

$$P_{pv,t,s}^{solar} = \frac{G_{pv,t,s}}{G_{std}} P_r \eta_{pv}^{cov} \quad (5b)$$

$$P_{g,t,s}^{hydrokinetic} = G_{g,t,s}^{hydrokinetic} \eta^{hydrokinetic} \quad (5c)$$

$$P_g^{min} I_{g,t,s}^{hydrokinetic} \leq P_{g,t,s}^{hydrokinetic} \leq P_g^{max} I_{g,t,s}^{hydrokinetic} \quad (5d)$$

$$Q_g^{min} I_{g,t,s}^{hydrokinetic} \leq Q_{g,t,s}^{hydrokinetic} \leq Q_g^{max} I_{g,t,s}^{hydrokinetic} \quad (5e)$$

$$C_{g,t,s}^{hydrokinetic} = \pi_g^{hydrokinetic} P_{g,t,s}^{hydrokinetic} \Delta t \quad (5f)$$

$$C_{w,t,s}^{wind} = \pi_w^{wind} P_{w,t,s}^{wind} \Delta t \quad (5g)$$

$$C_{pv,t,s}^{solar} = \pi_{pv}^{solar} P_{pv,t,s}^{solar} \Delta t \quad (5h)$$

$$C_{hkt,t,s}^{hydrokinetic} = \pi_{hkt}^{hydrokinetic} P_{hkt,t,s}^{hydrokinetic} \Delta t \quad (5i)$$

$$Cost_{mg,s} = \sum_{t=1}^T \sum_{i \in D_{mg}^i} \left( \sum_{g \in D_i^g} C_{g,t,s}^{hydrokinetic} + \sum_{w \in D_i^w} C_{w,t,s}^{wind} + \sum_{pv \in D_i^{pv}} C_{pv,t,s}^{solar} \right) + \sum_{t=1}^T \left[ \pi_t^e \left( \sum_{(i,j) \in D_{mg,t}^{ij+}} P_{i,j,t,s}^{line} - \sum_{(i,j) \in D_{mg,t}^{ij-}} P_{i,j,t,s}^{line} \right) \Delta t \right] \quad (5j)$$

### 3.5.6 Sistemas EES (Almacenamiento de Energía Eléctrica) de la red.

En los sistemas de energía renovable por lo general están equipadas con sistemas EES y podemos indicar las ecuaciones (6a) -(6h) que nos indicarán el modelo de las operaciones de los sistemas EES que estarán instalados junto con las turbinas eólicas mediante la ecuación (6a), la misma que indicará la energía disponible en el sistema EES en cada hora será la función de energía almacenada en el sistema en la hora anterior y la potencia de carga y descarga en la hora presente.

Se debe indicar que  $\Delta t$  es el paso de tiempo y su valor será igual a 1 hora, la ecuación (6b) mostrara la cantidad inicial almacenada de energía del sistema ESS cuando es el comienzo del periodo de programación, las limitantes de la energía almacenada se establecen en la ecuación (6c), mientras que las ecuaciones (6d)-(6e) indicaran que las tazas de carga y descarga se mantenga dentro del rango permitido, en la ecuación (6f) el sistema está obligado a operar en carga o en modo de descarga, en la ecuación (6g) la cantidad de energía debe estar disponible en el sistema EES al final de periodo de la programación y esto debe ser igual o superior a toda la cantidad inicial.

$$E_{w,t,s} = E_{w,t-1,s} + \left( P_{w,t,s}^{ch} \eta^{ch} - \frac{P_{w,t,s}^{dch}}{\eta^{dch}} \right) \Delta t \quad (6a)$$

$$E_{w,t=0,s} = E_w^0 \quad (6b)$$

$$E_w^{min} \leq E_{w,t,sc} \leq E_w^{max} \quad (6c)$$

$$0 \leq P_{w,t,s}^{ch} \leq P_w^{ch,max} I_{w,t,s}^{ch} \quad (6d)$$

$$0 \leq P_{w,t,s}^{dch} \leq P_w^{dch,max} I_{w,t,s}^{dch} \quad (6e)$$

$$0 \leq I_{w,t,s}^{ch} + I_{w,t,s}^{dch} \leq 1 \quad (6f)$$

$$E_{w,t=24,s} \geq E_w^0 \quad (6g)$$

### 3.5.7 Sistemas EES (Almacenamiento de Energía Eléctrica) en cada hogar inteligente.

En el siguiente tema las ecuaciones (7a)- (7i) se presenta un modelo de operación en los sistemas EES, que estarán instalados junto a PV, en donde la ecuación (7a) establecerá las limitaciones de las cantidades de energía que se almacenaran en los sistemas EES.

Las ecuaciones (7b) y(7c) nos indicarán el cálculo de la respectiva potencia de carga y la potencia de descarga, que serán la función de las respectivas eficiencias y de su energía disponible en los sistemas EES, la potencia de carga y la potencia de descarga están limitadas como se indican en las ecuaciones (7d) y (7e)

El problema entre los modos de carga y descarga se evitará utilizando la ecuación(7g), los valores iniciales y finales de la energía almacenada en el sistema EES estarán determinadas por la ecuación (7h), y la ecuación (7i) establecerá que los niveles de energía de los sistemas EES ubicados en cada una de las casas inteligentes deberá ser igual o mayor que los niveles de la energía inicial en las últimas horas de proyección.

$$E_{pv}^{min} \leq E_{pv,t,s} \leq E_{pv}^{max} \quad (7a)$$

$$P_{pv,t,s}^{ch} \Delta t \leq E_{pv}^{max} \frac{(1-E_{pv,t-1,s})}{(1-\eta^{ch})\eta^{cov}} \quad (7b)$$

$$P_{pv,t,s}^{ch} \Delta t \leq E_{pv}^{max} (E_{pv,t-1,s} - 1)(1 - \eta^{dch})\eta^{cov} \quad (7c)$$

$$P_{pv,t,s}^{ch} \Delta t \leq \frac{E^{ch,conv}}{\eta^{conv}} I_{pv,t,s}^{ch} \quad (7d)$$

$$P_{pv,t,s}^{dch} \Delta t \leq \frac{E^{dch,conv}}{\eta^{conv}} I_{pv,t,s}^{dch} \quad (7e)$$

$$0 \leq I_{pv,t,s}^{ch} + I_{pv,t,s}^{dch} \leq 1 \quad (7f)$$

$$E_{pv,t,s} = E_{pv,t-1,s} - \frac{\Delta t}{E_{pv}^{max}} \left[ \frac{P_{pv,t,s}^{dch}}{(1-\eta^{dch})\eta^{dch,conv}} + P_{pv,t,s}^{ch} (1 - \eta^{dch})\eta^{ch,conv} \right] \quad (7g)$$

$$E_{pv,t=0,s} = E_{pv}^0 \quad (7h)$$

$$E_{pv,t=24,s} \geq E_{pv}^0 \quad (7i)$$

### 3.6 Proceso de optimización en la zona de estudio.

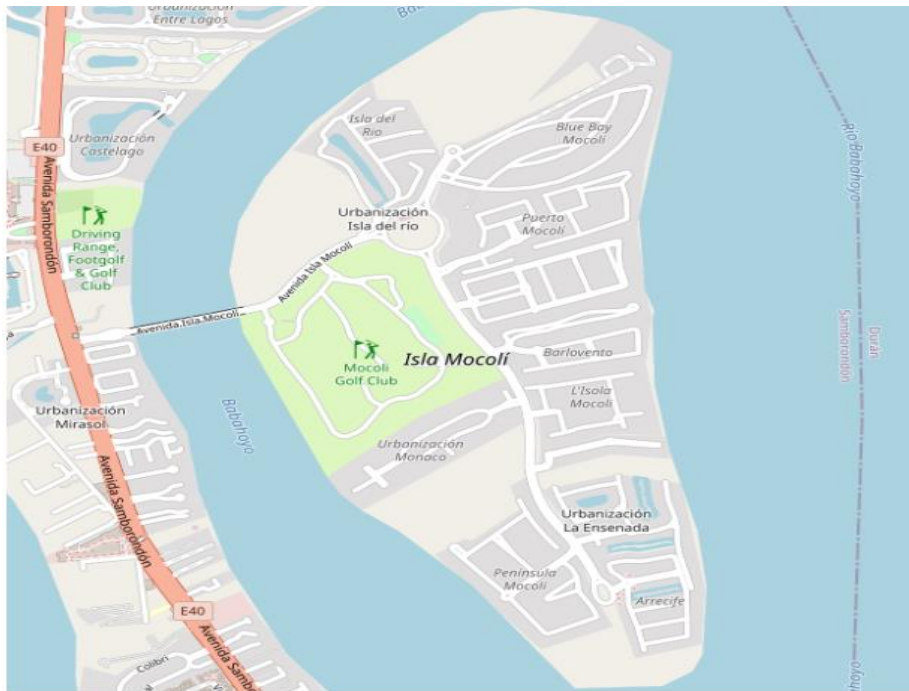


Fig. 10 Grafica de zona de estudio Isla Mocoli

Fuente (Propia del Autor).



Fig. 11 Grafica de flujo de potencia de la red eléctrica

Fuente (Propia del Autor).

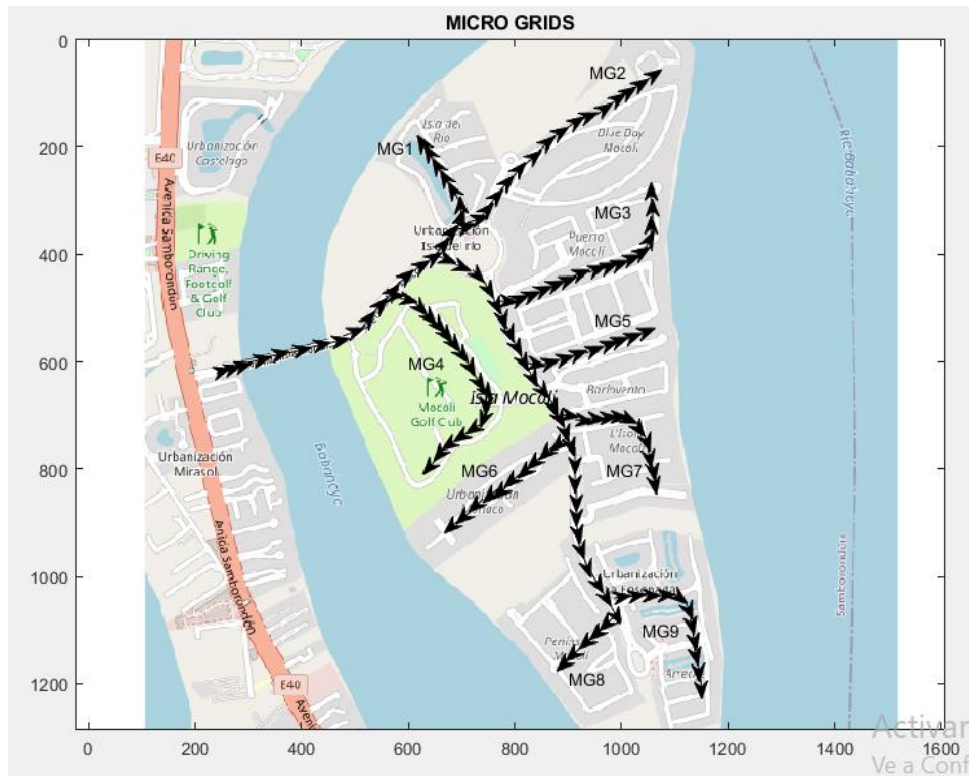


Fig. 12 Grafica de la ubicación de cada Microred entre los flujos de potencia eléctrica  
Fuente (Propia del Autor).

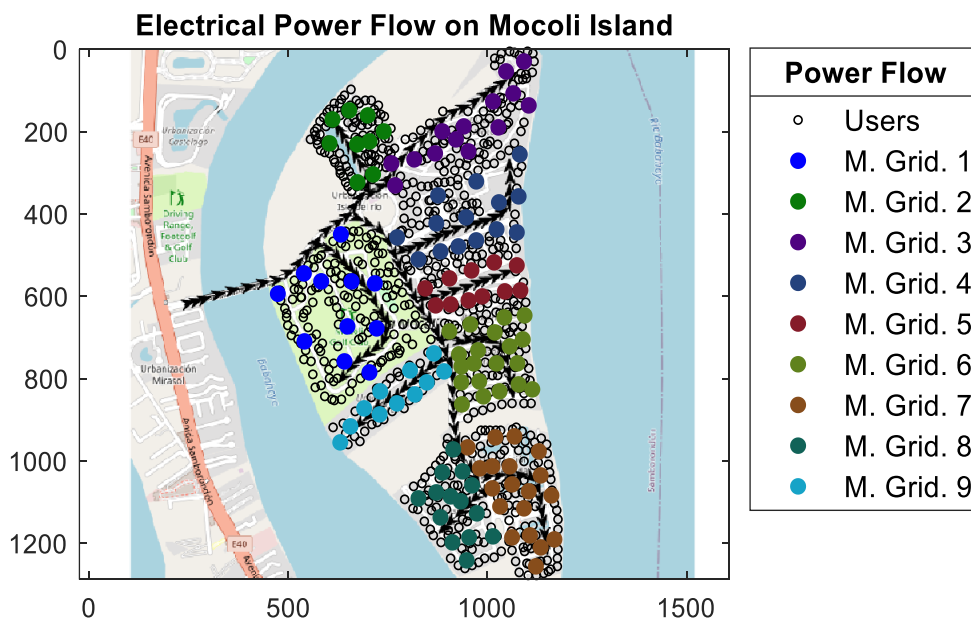


Fig. 13 Grafica de distribución de posibles puntos candidatos en las diferentes microrredes

Fuente (Propia del Autor).



### 3.7 Desarrollo de optimización.

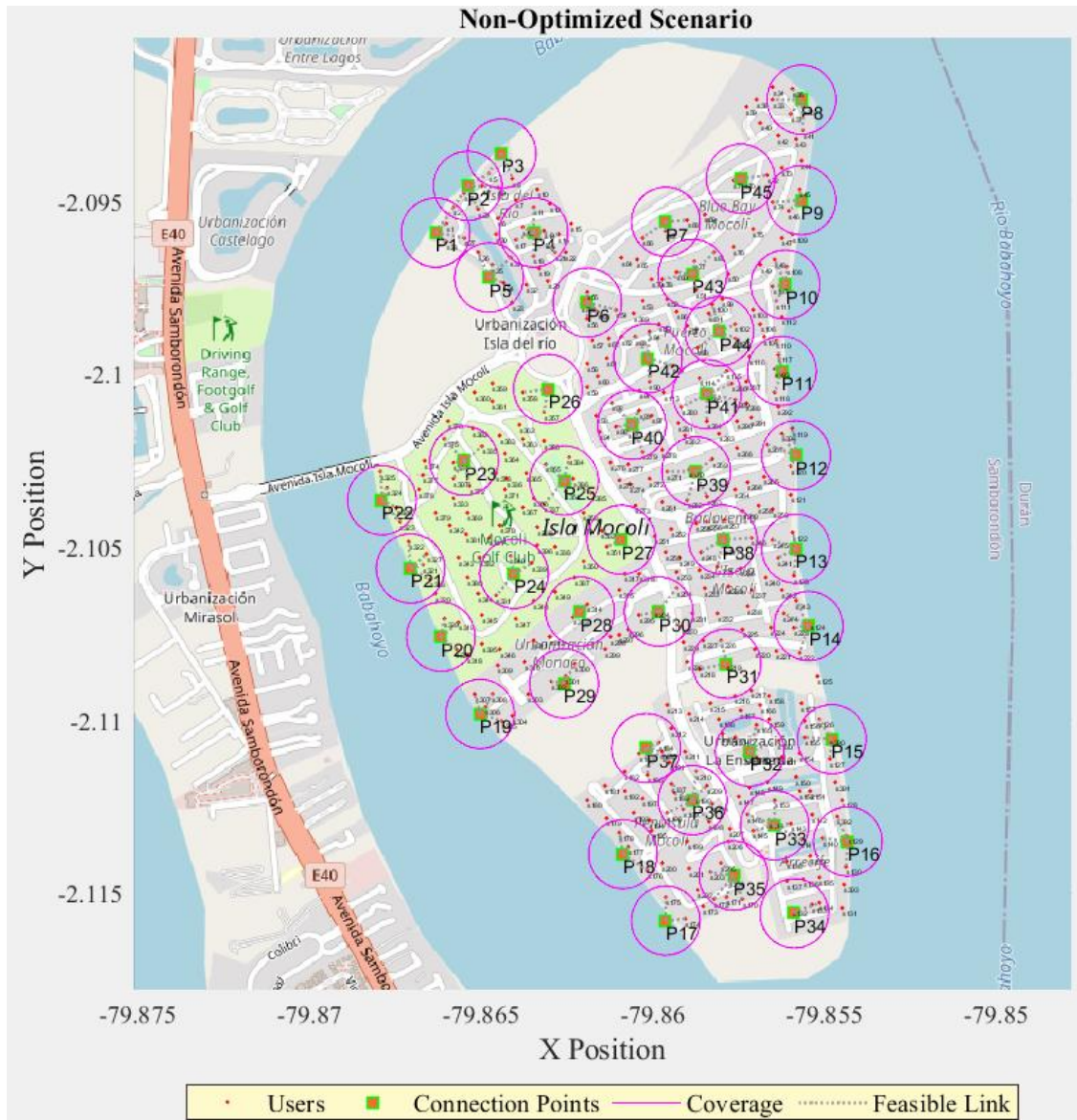


Fig. 14 Escenario no Optimizado con los puntos Candidatos.

Fuente (Propia del Autor).

En esta grafica podemos observar que mediante programas y las herramientas de Matlab podemos simular puntos candidatos de diferentes usuarios para el análisis de cobertura, en donde podrían ser instalados los puntos de generación de energías renovables, además podemos utilizar el software LP Solve que desarrollara ecuaciones matemáticas y nos dará una solución lo más acertada a la realidad, para que después mediante Matlab podamos interpretar y graficar sus resultados.

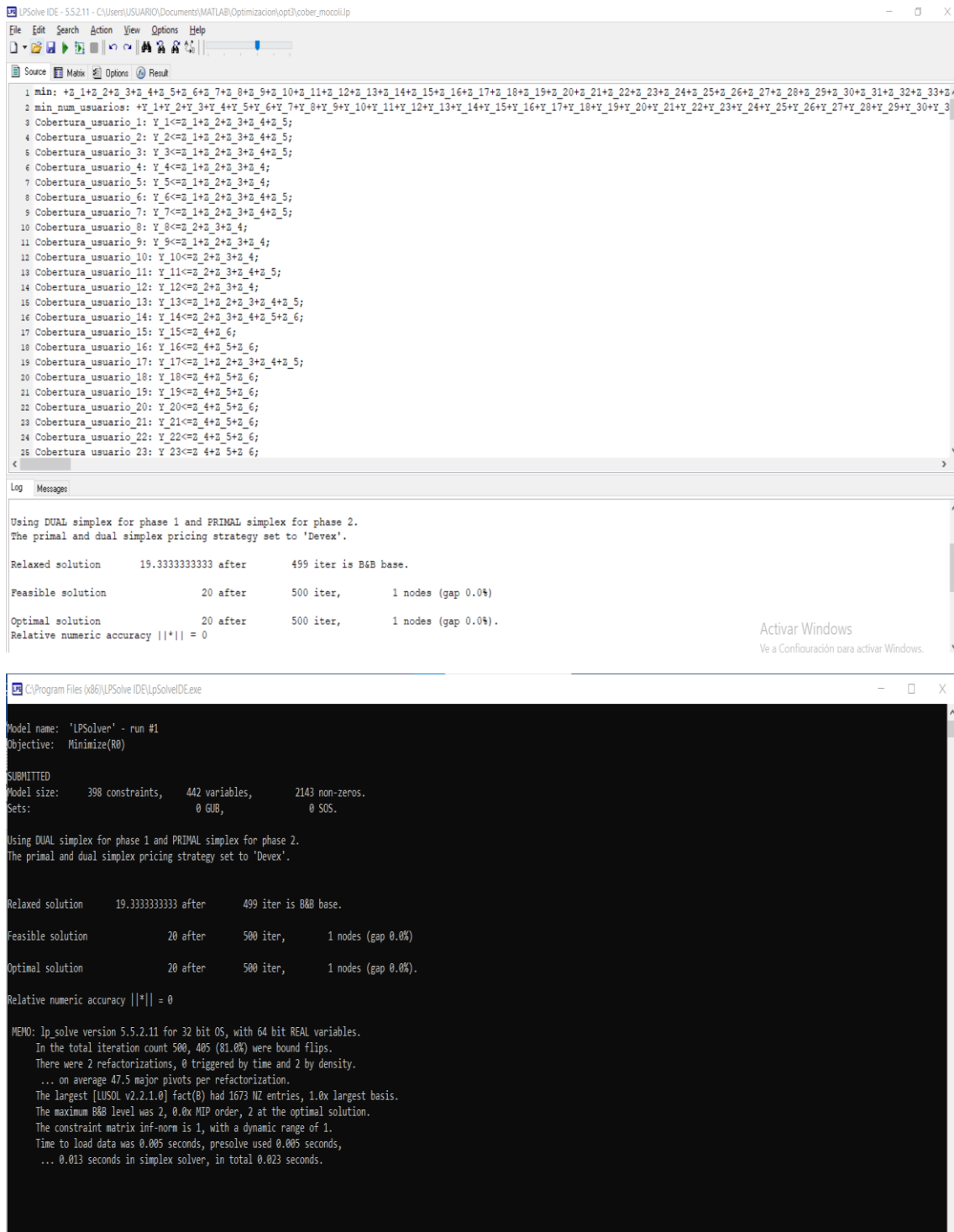


Fig. 15 Resultados obtenidos en LpSolve

Fuente (Propia del Autor).

En estas dos graficas obtenemos el procedimiento realizado con LpSolve y generando una respuesta, dando así la solución y obteniendo como resultado 20 puntos en donde se podrán instalar los puntos de generación eléctrica de energías renovables.

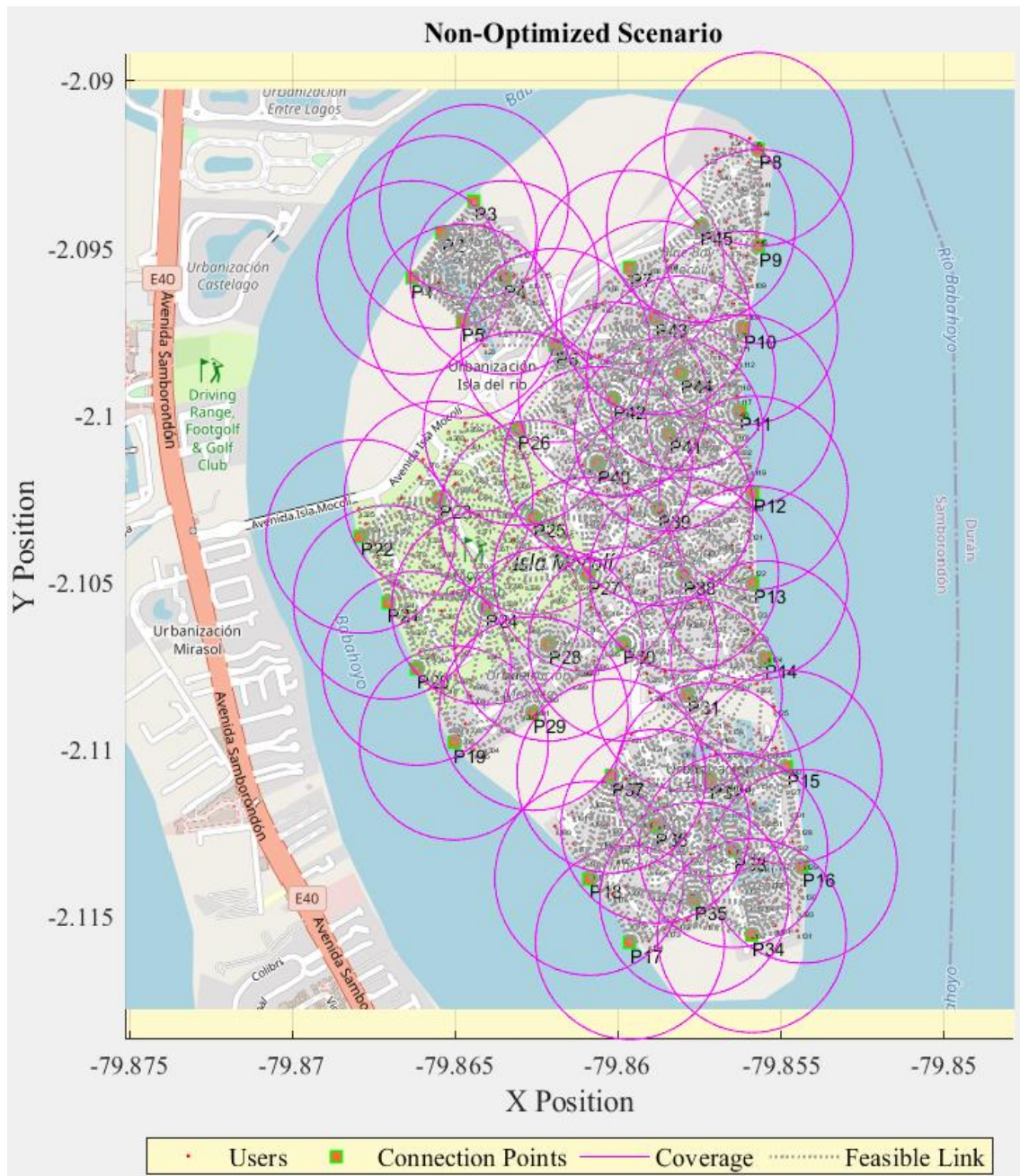


Fig. 16 Grafica de escenario no optimizado

Fuente (Propia del Autor).

Con los resultados de LpSolve y mediante Matlab se puede obtener esta gráfica donde podemos observar un escenario no optimizado, indicando donde cada uno de los usuarios podría conectarse a una red, además podemos indicar que el rango de cobertura de los puntos candidatos están interconectados entre cada uno de ellos y como resultado final tenemos una diversidad de conexiones entre todas las posibles soluciones para este escenario.



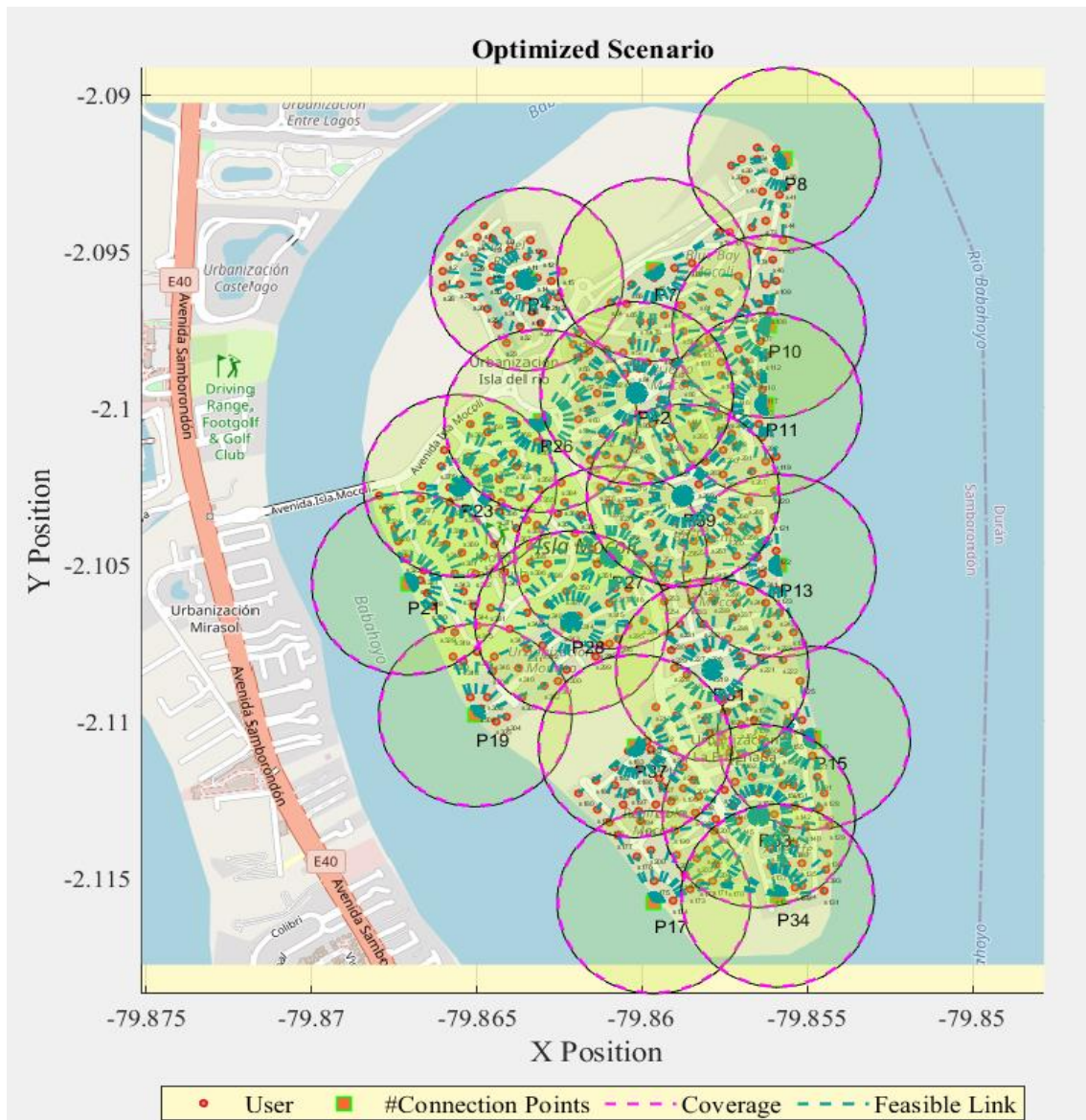


Fig. 17 Grafica de escenario optimizado

Fuente (Propia del Autor).

En esta figura se presenta la solución grafica que se obtuvo mediante LpSolve y Matlab, en el cual podemos observar los resultados finales, mediante estas herramientas podemos elegir los distintos lugares en donde podrían ser implementados los lugares de generación de energías renovables que estarán conectados en cada uno de los hogares inteligentes abasteciendo de energía eléctrica, como podemos observar en cada lugar de generación de energía renovable tendrá la posibilidad de abastecer a una pequeña microrred de usuarios y volverla autosostenible de energía eléctrica y en algunos casos hasta vender la misma conectándose a la red eléctrica en las horas pico cuando están en su máxima demanda de energía.

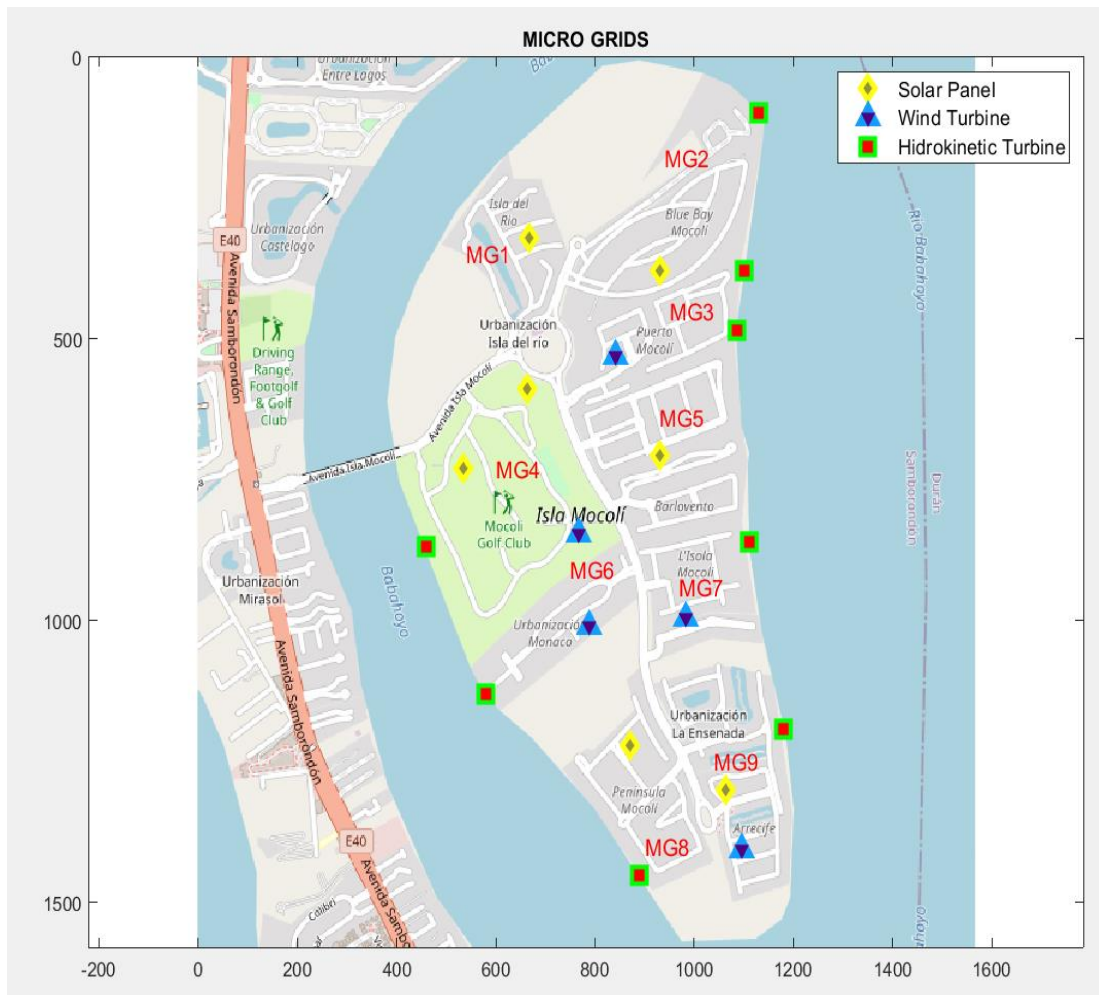


Fig. 18 Grafica de la ubicación de los diferentes puntos de generación de Energías Renovables.

Fuente (Propia del Autor).

Mediante la simulación de optimización en MatLab y Lp Solve se obtuvo como resultado la fig. 17 donde se puede observar los resultados y como quedara conformado el sistema de energías renovables.

En esta grafica podemos observar en donde se instalaran cada uno de los puntos de generación y según su simbología se indica en la gráfica de MatLab, se puede indicar que los paneles solares tienen la simbología con forma de rombo de color amarillo y estarán ubicados en lugares abiertos para poder recibir de la mejor manera la radiación solar durante todo el día, los generadores eólicos se identifican mediante la simbología con forma triángulo de color celeste y las turbinas hidro cinéticas se identifican con la simbología de forma cuadrada de color rojo que estarán en las orillas del rio Babahoyo para poder aprovechar su caudal.

Tabla 2. Ubicación de cada una de las microrredes.

Microrred	Turbina Eólica	Panel Solar	Turbina Hidro cinética HKT
MG1	0	1	0
MG2	0	1	1
MG3	1	0	2
MG4	1	2	1
MG5	0	1	0
MG6	1	0	1
MG7	1	0	1
MG8	0	1	1
MG9	1	1	1

Fuente (Propia del Autor).

### 3.8 Procesos de modelado de incertidumbre.

En el modelo de estudio la incertidumbre generada por la demanda de carga, el precio de costo en el mercado y la generación de energía renovable que se han aplicado a este problema para poder obtener una solución y resultados más realistas, en este caso los primeros 1000 escenarios se generaran por cada parámetro incierto mediante las PDF (Funciones de Distribución de Probabilidad), en este caso se utilizara el ejemplo PDF gaussiana para el cálculo de la demanda de la carga, el precio en el mercado y la irradiación solar, y el PDF de Weibull será para la velocidad del viento, en la ecuación (8a) se representa la ecuación Gaussiana,  $\mu_x$  y  $\sigma_x$  son los que indican la media y la desviación estándar respectivamente,  $\Delta_x$  será el que indica el error de la predicción de la carga.

En cambio, los valores de los parámetros  $\mu_x$  y  $\sigma_x$  se considerarán como 0 y 0,3, el PDF de Weibull se representan en la ecuación (8b),  $\lambda$  y  $k$  indican la escala y la forma y sus valores de parámetros serán entre 1 y 1.5 respectivamente.

$$f(\Delta x_t; \mu_x, \sigma_x^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-\frac{(\Delta x_t - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right] \quad (8a)$$

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} & , x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases} \quad (8b)$$

### 3.8.1 Modelado multi escenario.

En esta subsección indicaremos el procedo de modelamiento multi escenario con el fin de formar un serie de estados finitos y hay que indicar que se asignara una probabilidad de ocurrencia a cada estado, en cambio los conjuntos discretos se relaciona con diferentes parámetros de errores de pronósticos y se indican en las ecuaciones (9a)- (9d),  $e_D^i$  indicara el error relacionado con el estado ,  $\rho_D^i$  donde se enseñara la probabilidad del estado y  $n$  indicara el número de estados de conjuntos discretos, los conjuntos discretos de otros parámetros inciertos se determinaran de la misma manera, hay que tomar en cuenta que las probabilidades de los estados se indica en la ecuación (9e).

$$\delta_D = \{(e_D^1, \rho_D^1), (e_D^2, \rho_D^2), \dots, (e_D^n, \rho_D^n)\} \quad (9a)$$

$$\delta_P = \{(e_P^1, \rho_P^1), (e_P^2, \rho_P^2), \dots, (e_P^k, \rho_P^k)\} \quad (9b)$$

$$\delta_W = \{(e_W^1, \rho_W^1), (e_W^2, \rho_W^2), \dots, (e_W^m, \rho_W^m)\} \quad (9c)$$

$$\delta_{PV} = \{(e_{PV}^1, \rho_{PV}^1), (e_{PV}^2, \rho_{PV}^2), \dots, (e_{PV}^q, \rho_{PV}^q)\} \quad (9d)$$

$$\sum_{i=1}^n \rho_D^i = \sum_{i=1}^k \rho_P^i = \sum_{i=1}^m \rho_W^i = \sum_{i=1}^q \rho_{PV}^i = 1 \quad (9e)$$

En los conjuntos discretos que se obtuvieron en las ecuaciones (9 a) – (9d) se utilizan para poder formar conjuntos de escenarios que nos indicara las posibles desviaciones de los diferentes valores previstos de las cargas, precios, viento e irradiancia , en cada escenario se encuentra una probabilidad  $\rho_S^i$  que será igual al producto de las probabilidades de los diferentes estados relacionados con ese escenario como podemos indicar en la ecuación(9f), en cambio en la ecuación (9g) los números totales de escenarios obtenidos serán igual al producto del número de estados de cada uno de los conjuntos discretos.

$$\sum_{i=1}^S \rho_S^i = \sum_{i=1}^n \rho_D^i \rho_P^i \rho_W^i \rho_{PV}^i = 1 \quad (9f)$$

$$S = n \times m \times q \times k \quad (9g)$$

### 3.8.2 Metodología de estudio.

En este modelo de estudio se puede observar un diagrama de flujo en donde se detallan los escenarios para poder resolver mediante SCENRED2(Software de reducción de escenarios Scenred) en GAMS, en donde en la primera etapa se podrá resolver el problema de operación desde un punto de vista de cada microrred, que será enfocado a optimizar el costo operativo del índice de comodidad de los consumidores.

Hay que considerar que el problema de programación de microrredes se puede resolver como un problema de un solo objetivo o de dos objetivos, cuando se elige la programación de dos objetivos se podrá formar una tabla de pagos la misma que servirá para proporcionar el resultado óptimo propio de las funciones objetivo, el objetivo es formar una tabla que contenga los datos necesarios para formular un modelo de restricciones en la tarea de funciones de pertinencia, en donde se determinara los límites superior e inferior de las funciones objetivo.

Una función de pertenencia es una curva que define como se asignara cada punto de entrada en el espacio con un valor de pertenencia o grado de pertenencia que será entre los valores de 0 y 1 al final de la primera etapa, los resultados que se relacionan con cada microrred incluida la nueva curva de la demanda de la carga, además de las transacciones de la energía horaria se fijaran en sus valores óptimos y se entregaran al DSO, en la segunda etapa el DSO estará en condiciones de evaluar la posibilidad de obtener la programación de la microrred, en esta etapa se observa que la topología del sistema se puede arreglar o reconfigurar dependiendo de sus necesidades de corrección que realizara el sistema de programación diaria esto dependerá del tipo de consumo diario de energía del hogar inteligente.

Si fuera necesario reconfigurar el sistema, se lleva a cabo el objetivo de minimizar la desviación de programación óptima de la microrred que se determinara en la primera etapa, en el caso de que no sea posible implementar la programación horaria de alguna microrred, las señales correctivas (cortes de optimización) que serán generadas por el DSO serán enviadas respectivamente a cada microrred, estas señales se agregan al problema como nuevas restricciones y la programación continuara hasta que satisfaga las condiciones de programación del sistemas.

Para esta metodología de estudio los datos se obtuvieron de diferentes sitios de información en el caso de los paneles solares de (*Global Solar Atlas*, s. f.), para el caso de las Turbinas Eólicas se obtuvieron los datos de (*Global Wind Atlas*, s. f.) y de las turbinas Hidro Cinéticas se obtuvo los datos de estudios recientes (Lata-García et al., 2018),(Cano et al., 2020) se recopiló toda la información y datos de estos sitios con la finalidad de poder realizar los cálculos y simulaciones correspondientes de cada uno de los temas expuestos en este trabajo.

En la tabla 3 se presenta un ejemplo de pseudocódigo del programa que indica un proceso de solución del algoritmo que se ha propuesto.



Tabla 3. Pasos que se realizaron en la programación.

Paso 1	<p>Resolución de programación diaria de la microrred.</p> $MO \begin{cases} \min OF_1 = \sum_{mg=1}^{MG} Cost_{mg} \\ \max OF_2 = \sum_{mg=1}^{MG} Comfort_{mg} \end{cases}$ <p>s.t.(2a)- (2o), (4a)- (4o), (5a)- (5i), (6a)- (6g), (7a)- (7i)</p>
Paso 2	<p>Enviar la programación diaria de cada microrred al DSO y convertir el sistema de distribución en una red de área que sea multi zona.</p>
Paso 3	<p>Evaluar los resultados de la operación de las microrredes por el DSO con y sin implementar el DRF en forma de:</p> <p>Ecuación (1d) s.t. (2a)- (2o), (3a)- (3d), (4a)- (4o), (5a)- (5i), (6a)- (6g), (7a)- (7i)</p>
Paso 4	<p>Verificación del tipo de errores en las transacciones de energía de cada microrred</p> <p>Realizar:</p> <p>Si ocurre un error positivo entonces el programa: Definirá un límite inferior para cada línea de programación. Activará un indicador de error positivo activo De lo contrario si ocurre un error negativo entonces Definirá el límite inferior de la línea Se activará un indicador de error negativo Entonces Se detendrá y devolverá los resultados Fin de bucle Fin de bucle</p>
Paso 5	<p>Para cada error positivo: Se agregará un corte para limitar cada nivel inferior de la línea. Fin de bucle</p> <p>Para cada error negativo: Se agregará un corte para limitar el nivel superior de la línea Fin de bucle</p>
Paso 6	<p>Se define cortes como nuevas restricciones para el problema de programación en cada una de las interacciones.</p>
Paso 7	<p>Volver al paso 1 (Inicio)</p>

Fuente (Propia del Autor).

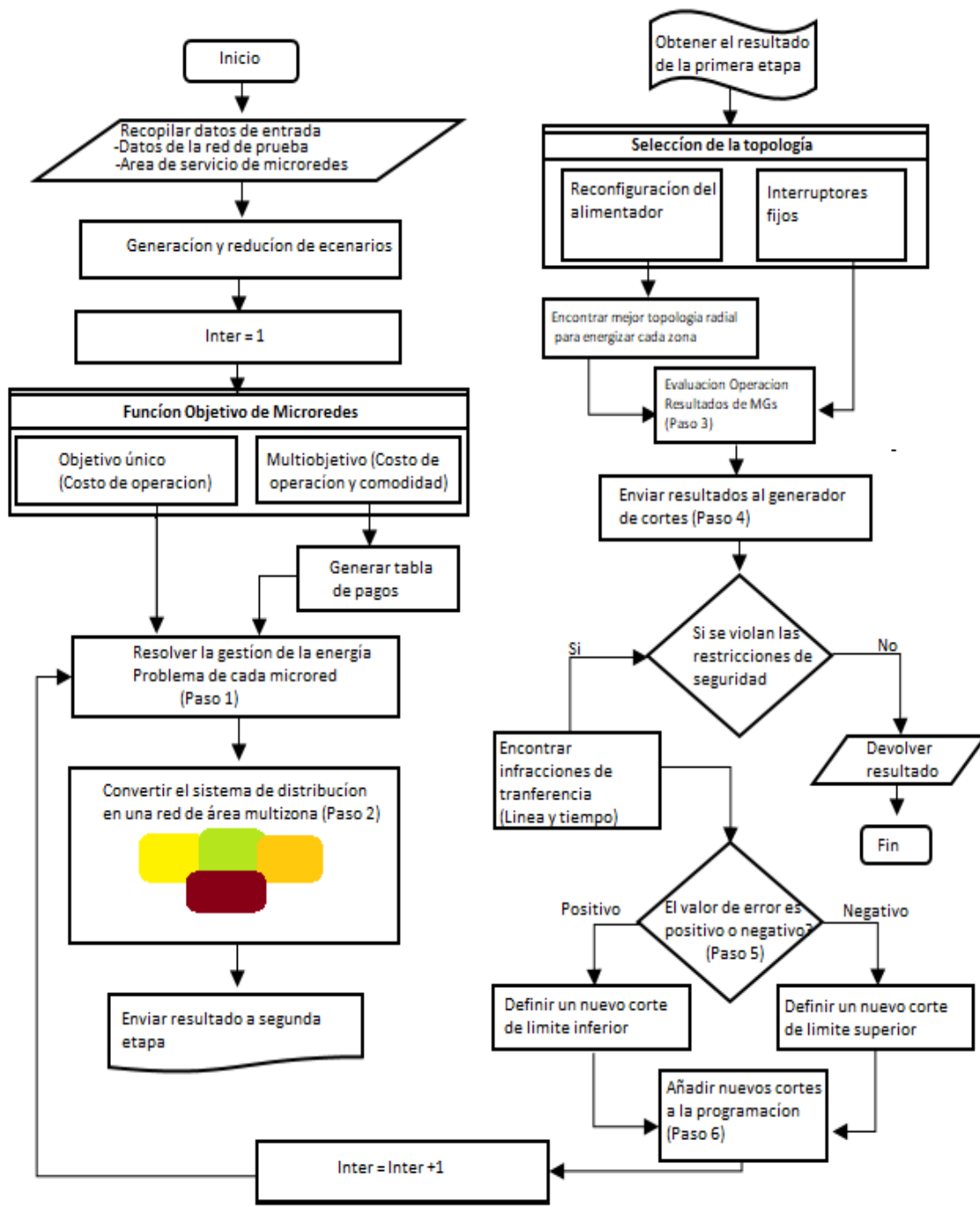


Fig. 19 Diagrama de flujo del modelo propuesto

Fuente (Propia del Autor).

## CAPITULO 4

### 4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

#### 4.1 Recopilación de datos.

La investigación de esta tesis se presenta mediante cuatro casos de estudio que se indican en la tabla 4, se observa el efecto de las topologías fija y reconfigurables, así como los diferentes objetivos y se pretende investigar la distintas funciones en la programación de las microrredes, los diferentes escenarios generados para la demanda de la carga, el precio del mercado, la radiación solar, la velocidad del viento y la velocidad del flujo del agua.

Se investigará diferentes funciones de programación en las microrredes, donde se tomará en cuenta los diferentes escenarios de demanda de carga, precio del mercado, radiación solar, velocidad del viento y caudal del flujo de agua en las figuras (20a – 20d), los escenarios reducidos (21a – 21d), (22a – 22b) y (23a – 23b).

En el escenario que se indica en la figura (16a) se relacionan con la carga fija de los hogares inteligentes se debe notar que a este tipo de carga se le sumara la carga de electrodomésticos programables (dependerá del tiempo de activación del electrodoméstico), anteriormente indicamos que para reducir la carga computacional, el número de escenarios de cada parámetro incierto se ha reducido a 10 mediante el SCENRED2(Software de reducción de escenarios Scenred) en GAMS como se indica en las ecuaciones (4a-4d) ,para los escenarios generados y reducidos para un hogar tradicional la demanda se presentan en las ecuaciones (5 a y 5b) y los datos del bus IEEE 96 modificado estarán disponibles, las tablas (5 y 6) se representaran los datos a modelar las microrredes y hogares inteligentes y por ultimo para simular el problema se indicaran en la tabla 7.

Tabla 4. Caso de estudio y sus correspondientes suposiciones.

Caso	Topología		Función Objetiva	
	Fijo	Reconfigurado	Objetivo Único	Dos Objetivos
1	ü	x	ü	x
2	x	ü	ü	x
3	ü	x	x	ü
4	x	ü	x	ü

Fuente (Propia del Autor).

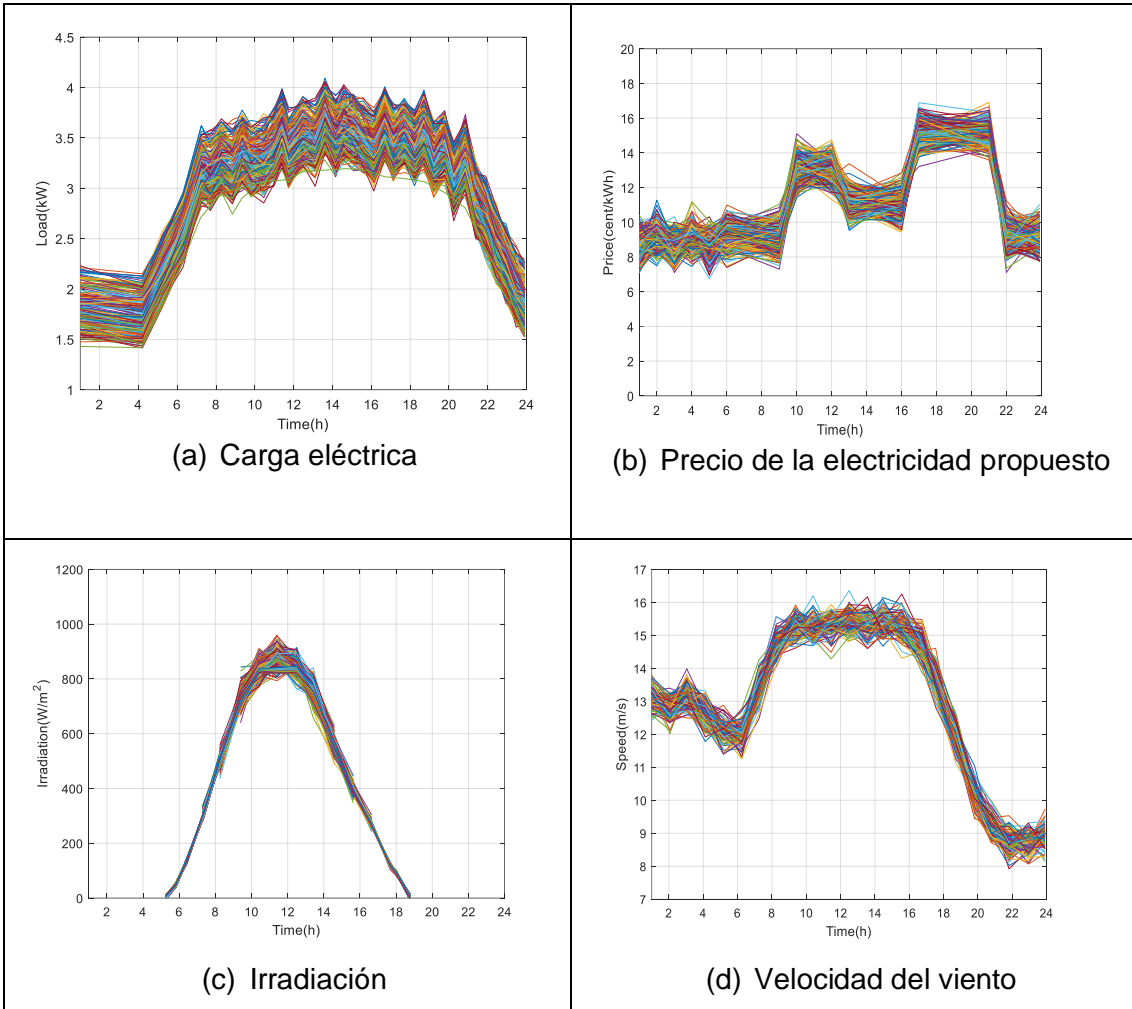
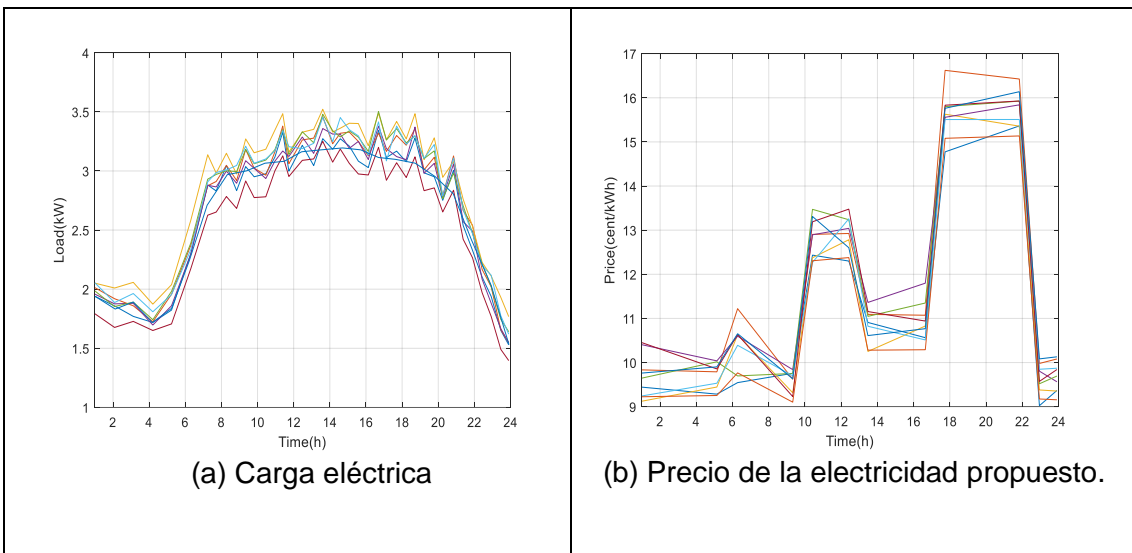


Fig. 20 Escenarios generados de parámetros inciertos

Fuente (Propia del Autor).



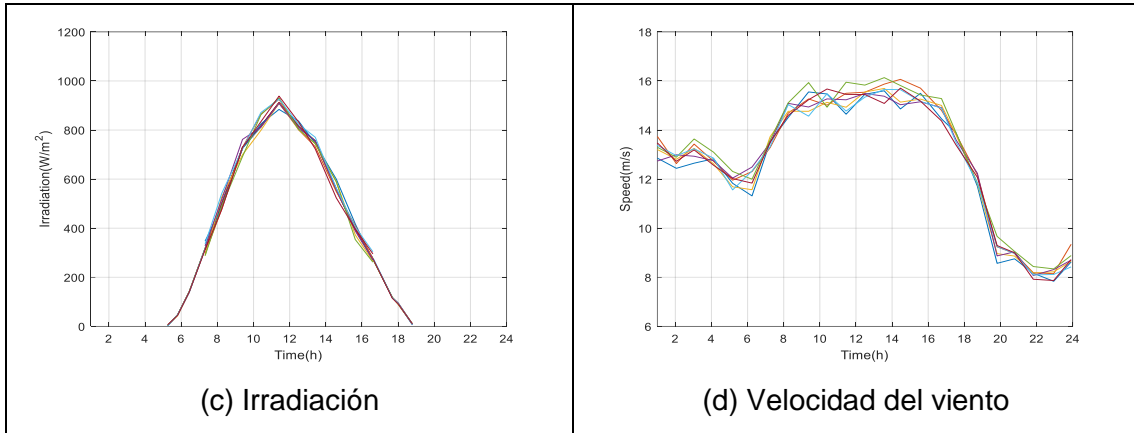


Fig. 21 Escenario reducido de parámetros inciertos

Fuente (Propia del Autor).

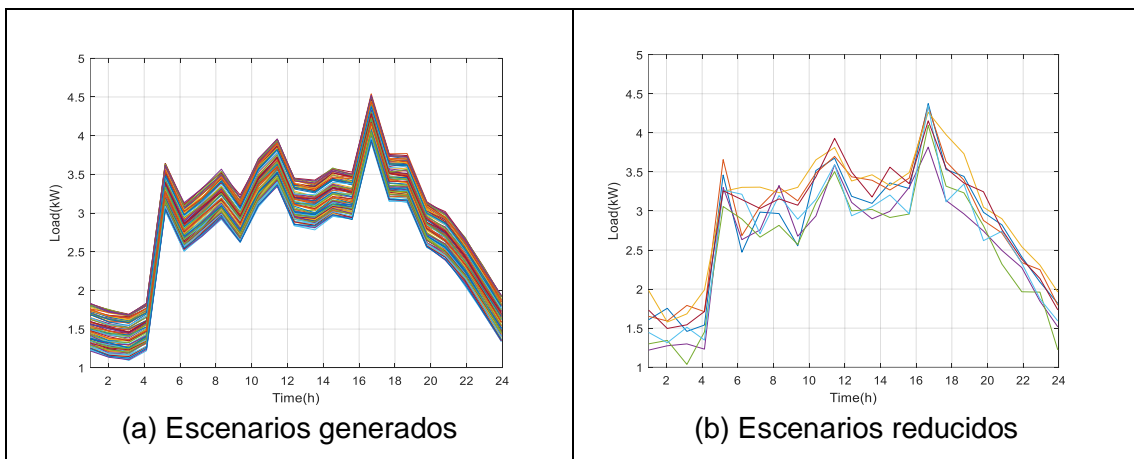


Fig. 22 Escenarios tradicionales de carga del hogar

Fuente (Propia del Autor).

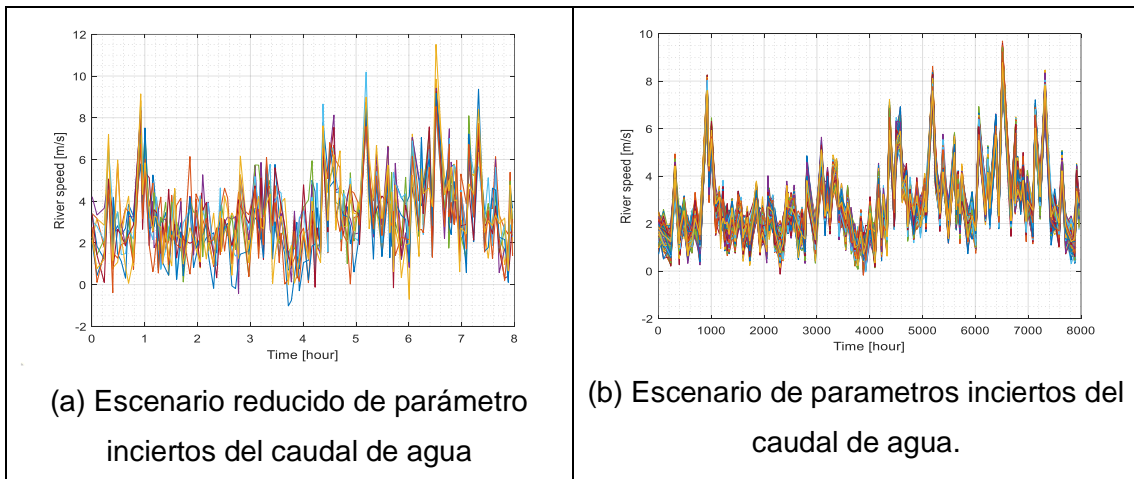


Fig. 23 Escenario del caudal de agua de rio de un sistema HTK

Fuente (Propia del Autor).

Tabla 5. Datos de entrada de las microrredes.

Microrredes	Numero de buses	Número total de clientes	Número de hogares inteligentes	Capacidad de los DRF (kW)	
				Turbina HTK	REF
1	5	107	30	255	
2	9	605	113	900	1200
3	10	299	88	890	0
4	8	235	109	1000	900
5	13	791	178	1120	800
6	8	314	175	2100	550
7	12	603	76	0	2000
8	10	289	105	0	1500
9	5	108	108	2000	0
10	6	63	45	300	0

Fuente (Propia del Autor).

Tabla 6. Datos de programación de cada electrodoméstico en los hogares inteligentes.

Aparato	UTR	PTR	LOTE(h)	CEE (kWh)
Hervidor eléctrico	6:00-10:00	7:00-8:00	1	0.8
Tostadora	6:00-10:00	7:00-8:00	1	1
Hierro	5:00-9:00	6:00-7:00	1	1.1
Lavadora	9:00-17:00	10:00-11:00	2	1
Aspiradora	9:00-19:00	11:00-14:00	1	0.65
Olla arrocera	10:00-15:00	12:00-13:00	2	0.6
Microondas	11:00-16:00	13:00-14:00	1	0.9
Secadora de ropa	11:19-10:00	12:00-13:00	1	1.8
Lavaplatos	12:00-19:00	15:00-19:00	2	1.4

Fuente (Propia del Autor).

En la tabla 6 se indica el horario de funcionamiento de cada uno de los aparatos eléctricos que estarán conectados a la red eléctrica en cada hogar inteligente, cada uno tendrá su hora de encendido y a su vez el sistema trabajará en secuencia para que no se activen todos al mismo tiempo y así evitar sobrecargas y posibles fallas en el domicilio.

Tabla 7. Valores requeridos para la simulación.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$\pi_t^{e,max}$	18 cent	$\pi_g^{gen}$	6 cent
<b>M</b>	1e7	$v_i/v_r/v_o$	2/14/25m/s
$N^{sw}$	40	$G_{std}$	100 W/m <sup>2</sup>
$\eta^{ch}/\eta^{dch}$	95%	$E_w^0/E_{pv}^0$	20%
$\eta^{conv}/\eta_{pv}^{conv}$	95%	$E_w^{min}/E_{pv}^{min}$	20%
$\Delta t$	1 h	$E_w^{max}/E_{pv}^{max}$	100%
$V_{i,t,s}^{min}/V_{i,t,s}^{max}$	0.9/1.1 p. u.	$P_w^{ch,max}/P_{pv}^{ch,max}$	40%
$\theta_{i,t,s}^{min}/\theta_{i,t,s}^{max}$	-3.14/3.14 rad	$P_w^{dch,max}/P_{pv}^{dch,max}$	40%
$T_{n_1,n_2}^{gap}$	1 h	$\eta^{gen}$	65%
$\beta_n$	1.1	$\pi_w^{wind}/\pi_{pv}^{solar}$	3 cent

Fuente (Propia del Autor).

A continuación, en la tabla 7 se pueden incluir los resultados que se obtendrán en la resolución del problema para los cuatro casos de nuestro estudio, como podemos observar en la primera interacción se asocia la mejor resolución, ya que el problema de resolución se resuelve desde su propio punto de vista de cálculo, los errores más altos también se resuelven en esta interacción.

A mediada que van aumentando el número de interacciones, el error y el número de cortes de optimización van a ir reduciendo, la programación de nuestras microrredes ira realizando de la forma más adecuada las correcciones y recibiendo las señales correctivas del DSO, en donde podremos ver que el error y el número de cortes de obtenidos llegaran a cero en la última interacción, de este modo podemos implementar la programación obtenida, los errores son la diferencia entre la programación de microrredes y la programación del DSO y esta se calculara en kW, por ejemplo si la microrred 4 tiene una demanda de 100kW a las 16:00 horas y el DSO solo puede suministrar 60kW de esta demanda por las limitaciones de la red , el valor de error será igual a 40kW, hay que señalar que los valores proporcionados para el error en cada interacción es la suma de los errores de todos los cortes de optimización en esta interacción.

La comparación entre los casos (2 y 4) y los casos (1 y 3) revelan que el DRF conducirá a costos operativos que serán más reducidos y con un mayor índice de comodidad para nuestros consumidores como se puede observar en la tabla 7, el costo

de operación en los casos 2 disminuye en un 10,18% en comparación con el caso 1, lo que se debe a la implementación del DRF, los resultados también se ilustran en el índice de comodidad en un 2,96% en comparación con el caso 1, además debemos ver que la desviación de la programación óptima de las microrredes será menos en los casos (2 y 4) esto se debe a que se reconfigura el DSO en nuestro sistema, con el objetivo de minimizar la desviación de la programación óptima de las microrredes.

En este caso observamos que el costo mínimo de operación se relaciona con el caso 2 ya que el objetivo de este caso es reducir el costo de operación con la posibilidad del DRF, la comparación de los casos (2 y 4) indicará que el aumento de 23,3% en el índice de comodidad de los consumidores en el caso (4) ha resultado en un aumento de alrededor del 6,1% en los costos operativos.

En la tabla 8 se muestra los resultados finales de la operación que comprenden el costo de operación y el índice de comodidad de los consumidores, además cantidad de energía negociada, el número de cortes de optimización para cada uno de los casos y cada microrred, los resultados obtenidos nos indicarán que el DFR afectará más el costo de operación de la microrred que el índice de confort, por ejemplo el costo de operación de la microrred 2 en el primer caso de estudio es de 60,92\$/día, mientras que en el segundo caso con el DFR la microrred 2 puede obtener una ganancia de 1269,68\$/día mediante la venta de energía a otras microrredes, podemos observar un problema adverso en las microrredes (9 y 10) donde su costo operativo aumenta relativamente y de forma general podemos concluir que el impacto del DFR en la operación de cada microrred es sustancial.

En la tabla 9 se representa la topología horaria del sistema con respecto a los interruptores abiertos para el caso (2 y 4), hay que indicar que la topología del sistema cambia cada hora a medida que cambian los interruptores abiertos, el número máximo de las maniobras estará limitado a 40 para evitar la amortización de interruptores de maniobra y cualquier ruido en el sistema, la fig. (24a y 24b) nos indican el número de cambios de interruptores por cada hora en los casos (2 y 4), podemos ver que la topología de la red en el caso (4) ha cambiado más que el caso (2), este cambio se debe a las funciones objetivas de estos casos y por último las topologías que se obtienen para la red en diferentes momentos del día en el caso (4) se representan en las fig. (25a y 25b), hay que indicar que las líneas discontinuas rojas indicarán los interruptores abiertos como podemos observar la topología de la red ha cambiado en diferentes momentos del día con el fin de satisfacer las funciones objetivo.



Tabla 8. Resultados obtenidos de cada caso de estudio.

Iter	Costo de operación		Nivel de comodidad		Error (kW)	Numero de cortes	
	Obtenido (\$/día)	Desviación de punto óptimo (%)	Obtenido (%)	Desviación de punto óptimo (%)		Positivo	Negativo
<b>Estudio de caso (1)</b>							
1	8930.00	0	78.44	1.10	144150.7	230	170
2	10471.90	17.25	77.92	1.74	16041.20	54	37
3	10782.12	20.73	77.56	2.21	1131.79	18	5
4	10811.98	22.04	79.15	0.23	163.31	12	2
5	10814.65	21.11	79.31	0	67.90	9	0
6	10854.11	2155	78.39	1.18	0	0	0
<b>Estudio de caso (2)</b>							
1	8928.42	0	80.04	2.93	75142.75	162	128
2	9431.10	5.63	80.10	2.95	23365.22	108	47
3	9574.55	7.22	80.15	2.82	7483.12	55	14
4	9584.95	7.22	80.13	2.82	7483.11	57	0
5	9589.42	7.38	82.04	0.54	1493.63	36	3
6	9594.54	7.45	83.45	0	1196.36	15	1
7	9665.64	8.24	81.47	1.22	533	7	3
8	9692.13	8.54	81.05	1.76	152.63	4	2
9	9750.44	9.18	80.75	2.11	0	0	0
<b>Estudio de caso (3)</b>							
1	10855.17	0	101	0	109613.5	171	145
2	11006.62	1.42	99.65	0.37	28675.32	50	38
3	11367.41	4.73	98.99	1.05	2799.30	11	9
4	11408.95	5.13	98.73	1.27	852.53	11	3
5	11438.26	5.38	98.69	1.33	423.21	7	12
6	11456.98	5.59	98.65	1.38	110.69	3	1
7	11469.30	5.68	98.59	1.45	0	0	0
<b>Estudio de caso (4)</b>							
1	9850.44	0	100	0	57098.06	123	109
2	10098.25	3.55	99.30	0.73	16776.68	68	37
3	1018.45	4.45	99.15	0.86	5179.53	42	22
4	10225.78	4.87	99.05	0.99	2516.35	14	12
5	10299.38	5.70	98.99	1.06	732.20	7	6
6	10309.69	5.78	98.79	1.12	529.15	8	5
7	10338.55	6.05	98.98	1.20	172.45	1	8
8	10352.88	6.17	98.75	1.26	0	0	0

Fuente (Propia del Autor).

Tabla 9. Resultados obtenidos en diferentes casos de estudio de cada microrred.

<b>Caso de estudio 1</b>						
<b>Microrred Nro.</b>	<b>OC(\$/día)</b>	<b>Índice de confort (%)</b>	<b>Numero de cortes</b>		<b>Compra de energía (kWh)</b>	<b>Venta de energía (kWh)</b>
			<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>		
1	321.63	78.65	0	0	881.62	945.48
2	61.94	76.77	71	5	0	5968.37
3	1182.53	76.78	32	30	3569.88	5788.86
4	4256.65	81.35	23	50	10783.30	2413.61
5	227.60	77.56	2	24	815.90	6928.30
6	2830.90	76.96	34	40	5610.00	5436.46
7	-186	81.36	50	2	0	24833.43
8	7.48	80.30	50	22	0	6099.62
9	3071.05	78.65	43	25	8496.56	2431.56
10	675.49	77.89	19	18	2546.10	1.38
<b>Caso de estudio 2</b>						
<b>Microrred Nro.</b>	<b>OC(\$/día)</b>	<b>Índice de confort (%)</b>	<b>Numero de cortes</b>		<b>Compra de energía (kWh)</b>	<b>Venta de energía (kWh)</b>
			<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>		
1	421.82	72.26	21	0	1880.60	214.45
2	-1260	85.89	67	40	0	27745.99
3	1259.45	79.50	69	25	3578.01	5132.40
4	4645.40	76.80	29	37	18120.90	0
5	483.21	78.60	3	18	958.87	3448.18
6	2748.60	82.92	42	16	7472.33	9214.30
7	-1949	84.70	96	13	22.33	25523.81
8	467	84.03	38	11	77.63	12500.20
9	3309.20	84.03	28	15	9639.90	1712.54
10	684	77.60	40	26	2943.30	0
<b>Caso de estudio 3</b>						
<b>Microrred Nro.</b>	<b>OC(\$/día)</b>	<b>Índice de confort (%)</b>	<b>Numero de cortes</b>		<b>Compra de energía (kWh)</b>	<b>Venta de energía (kWh)</b>
			<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>		
1	357.20	100	0	0	1866.20	426.54
2	92.41	100	73	3	0	5957.20
3	1329.20	96.50	28	27	3776.56	5716.81
4	4280.50	100	12	50	11456.90	1687.90
5	367.80	97.50	7	24	1179.52	5874.11
6	3112.18	100	17	46	5610.01	5527.46
7	-1870	96.47	33	5	0	22300.09
8	18.38	100	53	13	0	6039.40
9	3136.21	97.47	21	25	9448.11	2337.28
10	701.98	100	14	22	3144.65	0

Caso de estudio 4						
Microrred Nro.	OC(\$/día)	Índice de confort (%)	Numero de cortes		Compra de energía (kWh)	Venta de energía (kWh)
			Positivo	Negativo		
1	369.90	100	0	0	1952.40	504.90
2	-1230	100	56	32	0	27792.54
3	1325.40	100	36	39	3337.61	4217.20
4	4618.90	100	25	28	22096.03	0
5	433.42	97.45	11	12	1098.12	4996.01
6	2799.02	98.24	37	27	7476.50	7257.70
7	-175396	100	38	14	0	25479.01
8	-412	98.21	34	8	272.66	11325.60
9	3321.21	95.60	14	12	11713.21	1310.98
10	713.35	100	14	23	3396.94	0

Fuente (Propia del Autor).

En la tabla 10 el sistema cambia de posición cada hora a medida que cambian los interruptores abiertos a cerrados donde el número máximo de las maniobras estará limitado a 40 para evitar la amortización de interruptores de maniobra y número de cambios de interruptores por cada hora en este caso para evitar posibles fallas en el sistema.

Tabla 10. Estado de los interruptores en diferentes horarios.

Hora	Caso 2	Caso 4
1	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S13, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9, S10, S14
2	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S13, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9, S10, S14
3	S1, S2, S3, S4, S7, S10, S13, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9, S10, S14
4	S1, S2, S3, S4, S7, S10, S13, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9, S10, S14
5	S1, S2, S3, S4, S7, S10, S13, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8, S10, S14
6	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S10, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S8, S13, S14
7	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S8, S13, S14
8	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S10, S14
9	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S10, S14
10	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S10, S14
11	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S9, S10, S11, S14
12	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S9, S10, S11, S14
13	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S9, S10, S11, S14
14	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S11, S14
15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S11, S14
16	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S9, S11, S14
17	S1, S2, S4, S5, S7, S8, S11, S12, S14	S1, S2, S4, S5, S7, S9, S11, S12, S14
18	S1, S2, S4, S7, S9, S10, S11, S12, S14	S1, S2, S3, S4, S7, S10, S12, S14, S15
19	S1, S2, S4, S5, S7, S10, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S10, S12, S14
20	S1, S2, S4, S5, S7, S10, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S10, S12, S14
21	S1, S2, S4, S5, S7, S10, S11, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S10, S13, S14
22	S1, S2, S4, S5, S6, S7, S10, S14, S15	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S10, S13, S14
23	S1, S2, S3, S4, S8, S9, S10, S13, S14	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S8, S10, S14
24	S1, S2, S3, S4, S8, S9, S10, S13, S14	S1, S2, S3, S5, S7, S8, S10, S13, S14

Fuente (Propia del Autor).

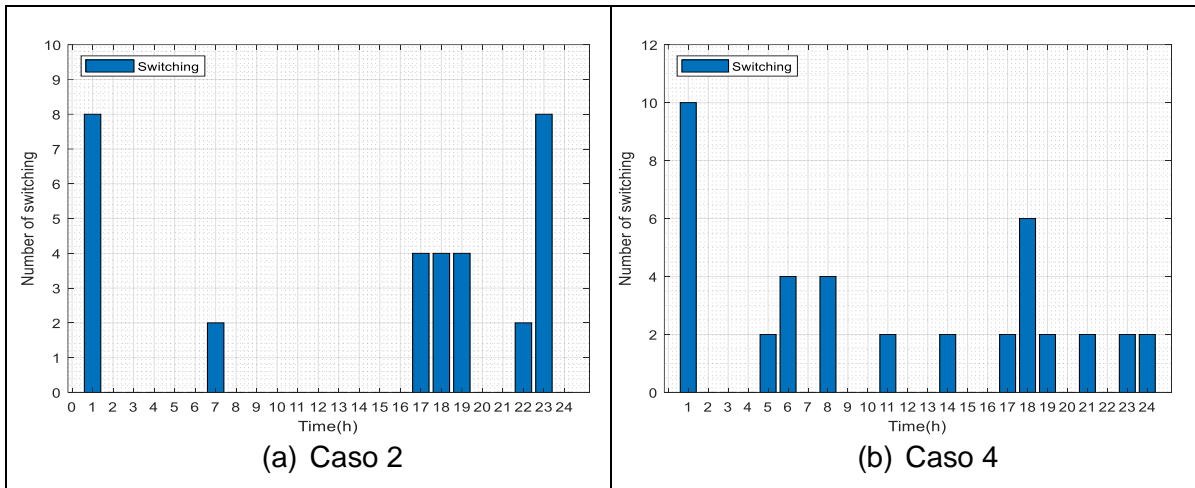
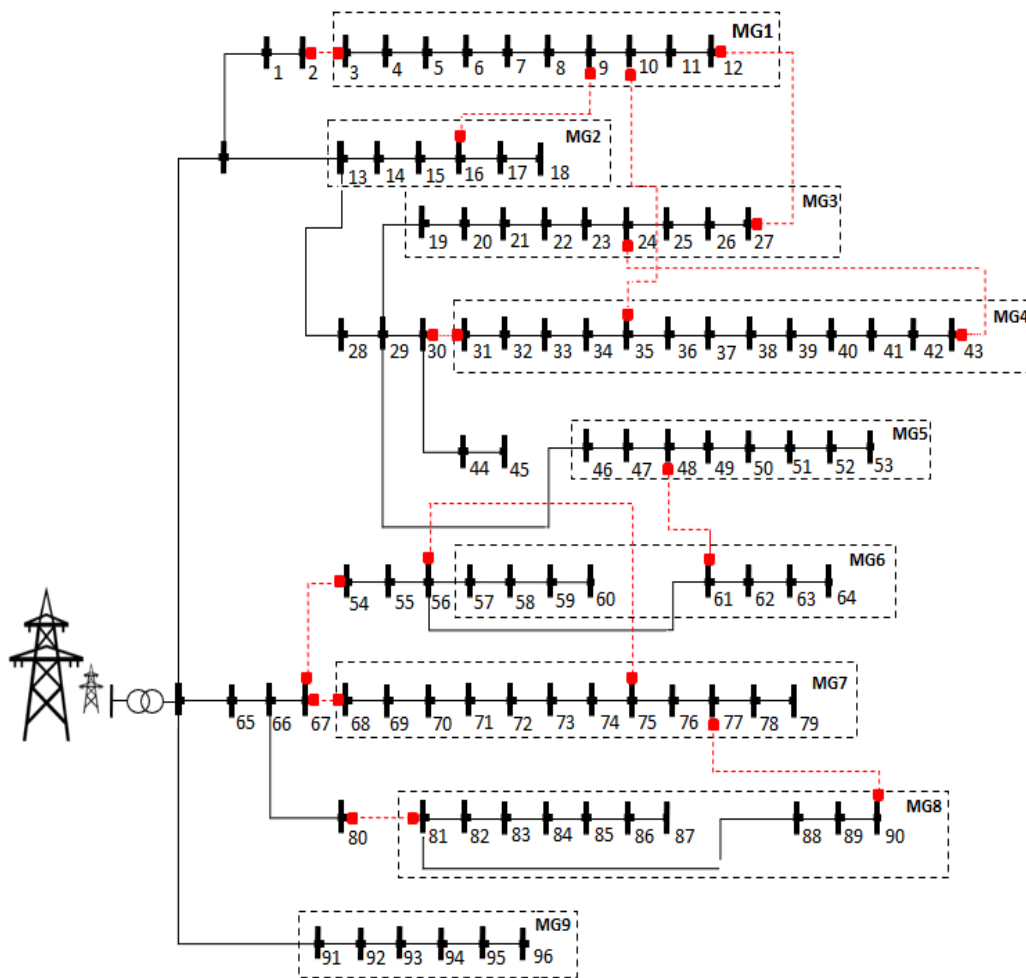
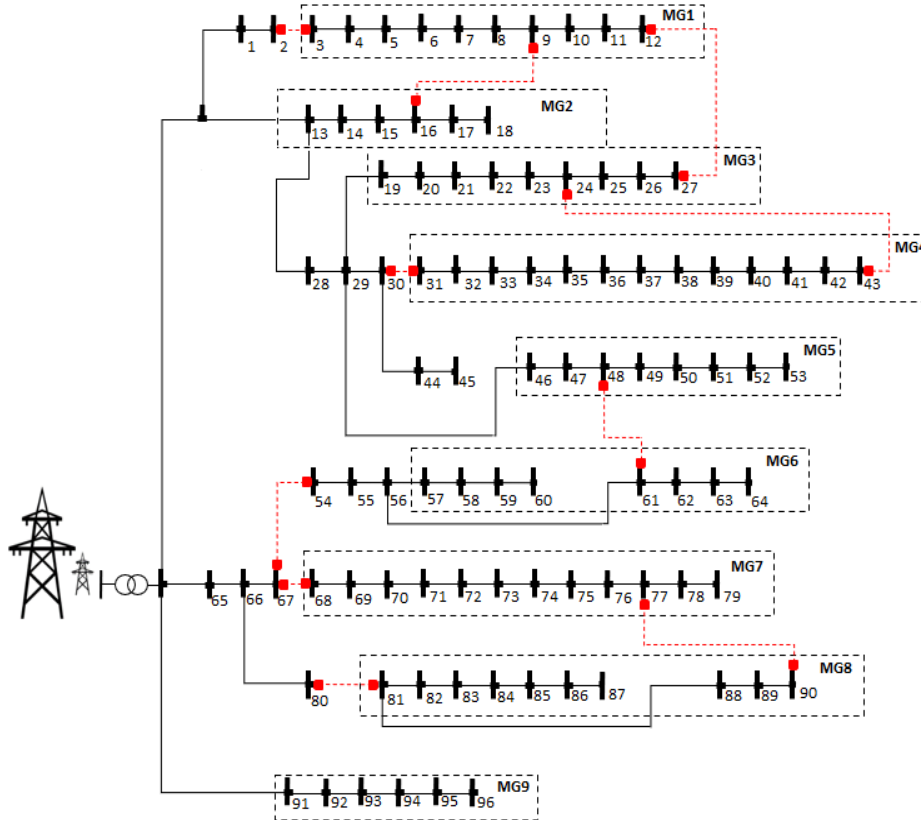


Fig. 24 Cambio horario en los casos 2 y 4.

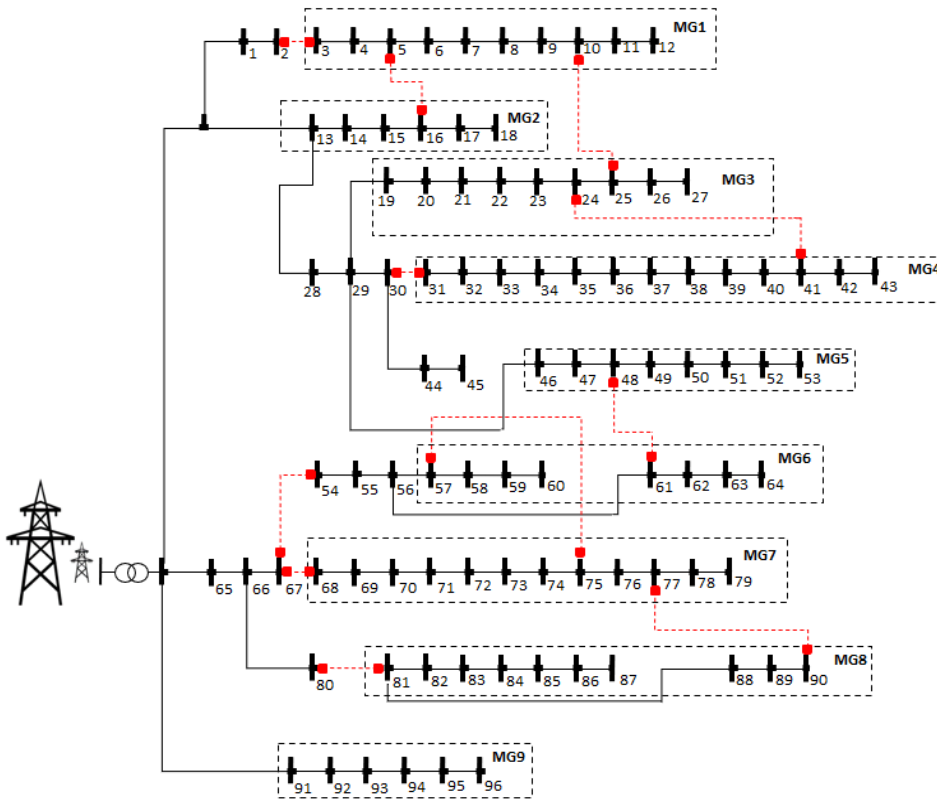
Fuente (Propia del Autor).



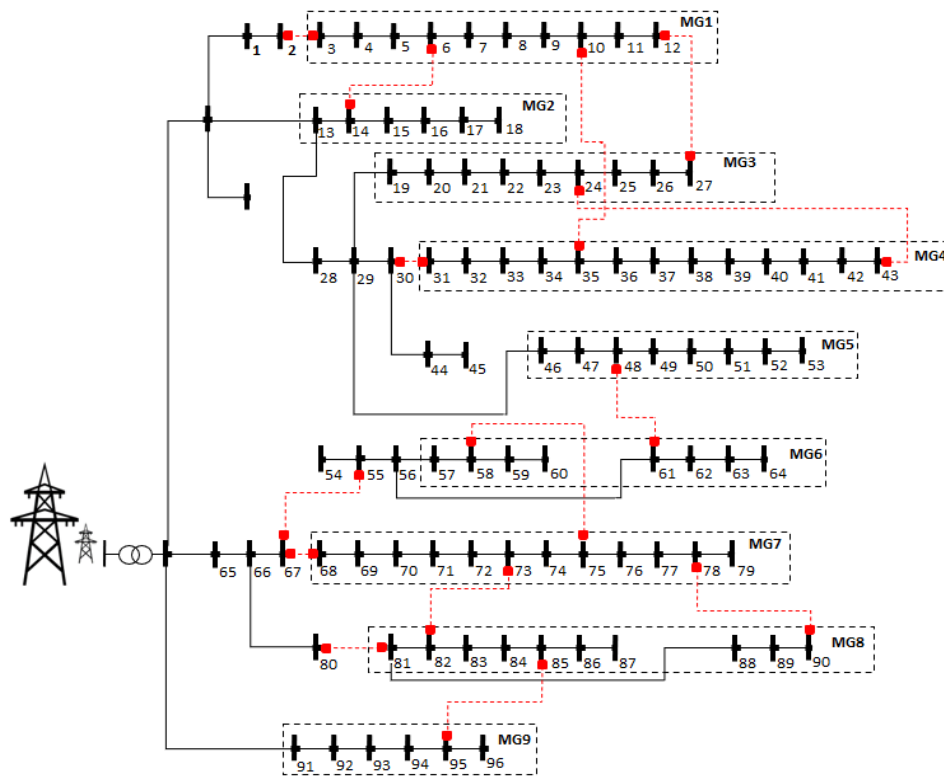
(a) Topología de la red a las 10:30 am



(b) Topología de la red a las 17:30 am



(c) Topología de la red a las 18:30 am



(d) Topología de la red a las 20:30 am

Fig. 25 Diferentes tipos de topologías para la red obtenidas en el caso 4.

Fuente (Propia del Autor).

Las figuras (26a y 26d) nos indicaran el voltaje del sistema por unidad(p.u.) para los diferentes estudios de varios casos de diagramas de caja el rango permitido de variación del voltaje es de (+ o -10%) entre ( 0.9 p.u. a 1.1 p.u.)como podemos indicar en cifras el voltaje se mantiene dentro del rango permitido en todos los casos de estudio, los resultados que se obtuvieron de los casos (2 y 4) nos indican que el DFR y el aumento de energía local ha evitado las caídas de voltaje durante las horas iniciales en comparación con los casos (1 y 3).

Además, los valores intermitentes en los casos (1 y 3) nos indican que sus fluctuaciones de voltaje son más altas a diferencia de los otros dos casos que se estudian, en cambio la potencia agregada por hora generada por los DER en los cuatro casos se indica en las fig. .27 , podemos indicar que la energía producida por los DER en los casos 2 y 4 son mayor que los caso 1 y 3 , en los análisis de las figuras 9a podemos indicar la energía generada por los DER durante un periodo de operación de 24 horas en los siguientes casos 1 y 2 tenemos valores de 289.327 MW y 295.774 MW

respectivamente , lo que nos indica un aumento de 2,22% en la generación por el uso de DFR.

En la fig. 27 se indica que la potencia que es generada por los DER en los casos (3 y 4) serán de 287.623 MW y 294.462 MW por lo tanto en estos dos casos se puede observar el alto efecto de los DFR en el aumento de la generación de DER hay que indicar que la implementación DFR permitirá el intercambio de energía entre microrredes en muchas horas en los casos (2 y 4) mientras que los casos (1 y 3) no podrá ser posible que las microrredes realicen transacciones de energía durante algunas horas debido a las limitaciones de la topología del sistema, entonces las microrredes solo realizaran transacciones solo en la red ascendente

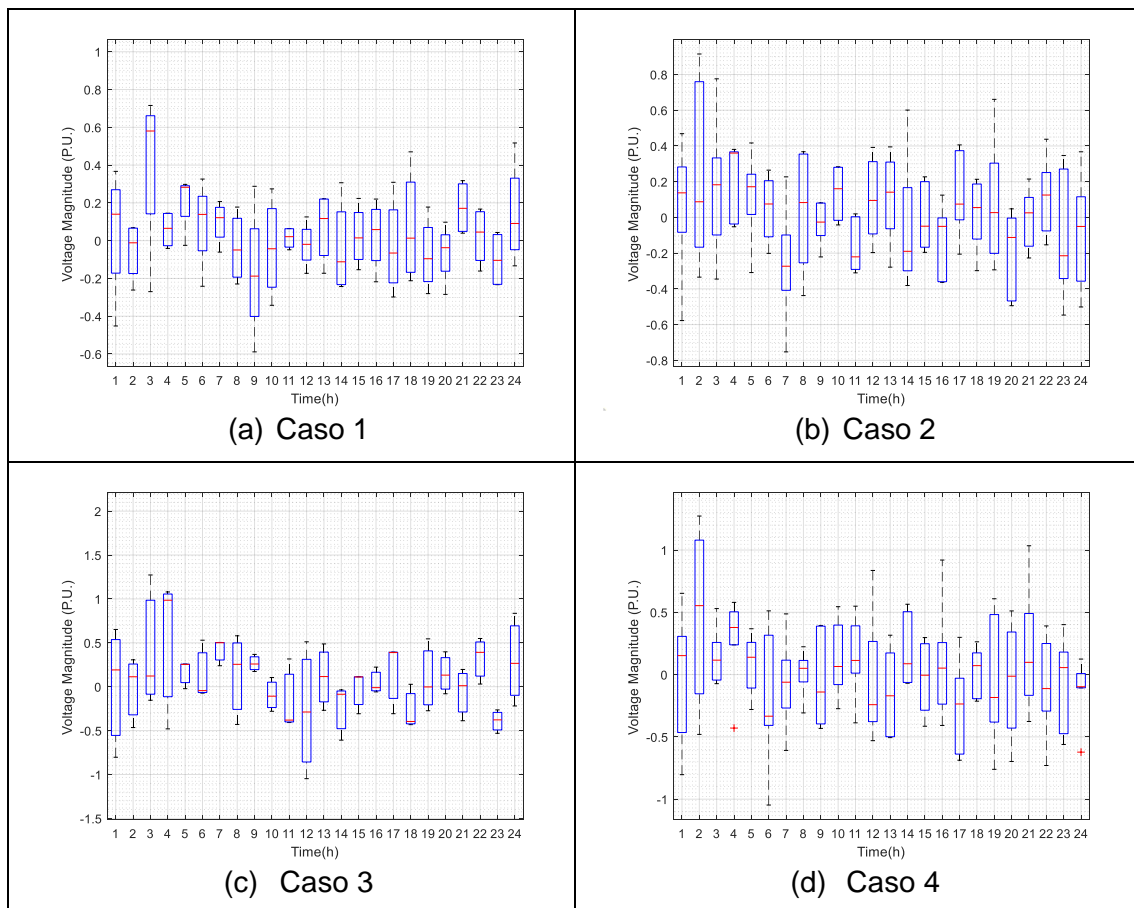


Fig. 26 Magnitud de voltaje en cada hora.

Fuente (Propia del Autor).

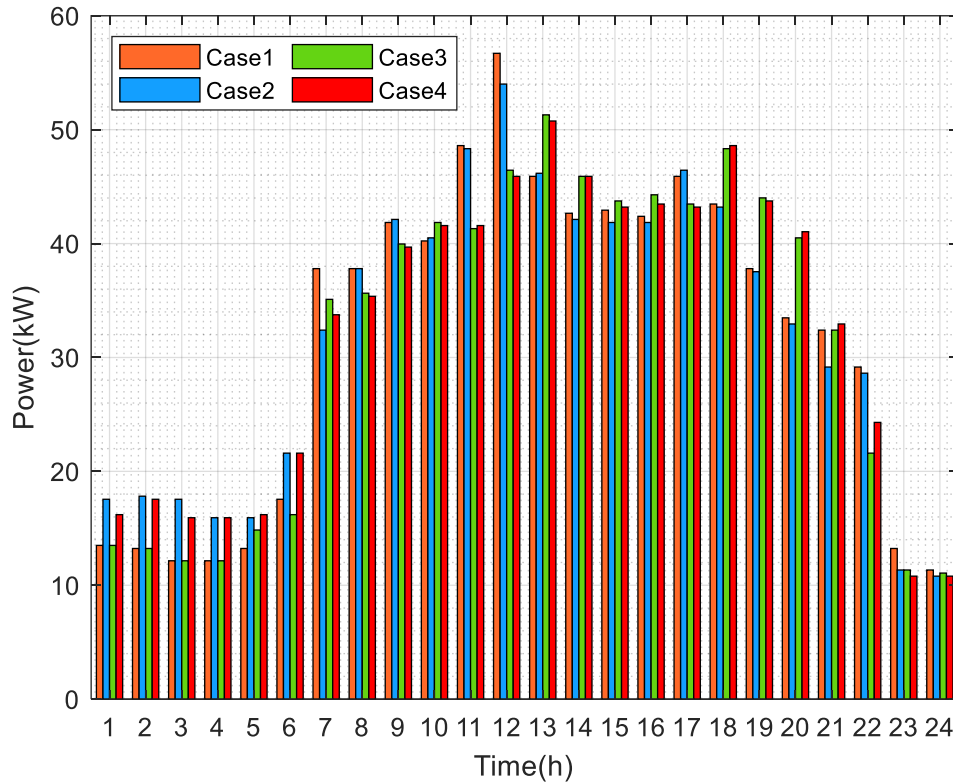


Fig. 27 Potencia total generada por DERs en diferentes casos del 1 a 4.

Fuente (Propia del Autor).

Las figuras (28a y 28d) representaran la programación más óptima de una de las casas inteligentes, que estará ubicada en la microrred 3 para los cuatro casos de estudio, en donde podemos observar que en los casos (1 y 2) algunos dispositivos no estarán activos en el rango preferido de los clientes que indicamos en la tabla 5, mientras que en el caso (3) hay dos elementos activos hervidor eléctrico y tostadora no estarán activos en el rango de los clientes.

El índice de comodidad de los consumidores se considera como una de las funciones objetivo como podemos indicar en las fig.(28d) donde el índice de confort de las casas inteligentes que están ubicada en la microrred 3 es de le 100%, en el caso 4 la programación está de acuerdo a las preferencias de los consumidores, podemos indicar los horarios que se obtuvieron para las casas inteligentes que estarán ubicadas en otras microrredes que se presentan en los anexos fig. (30 y 38).

En las figuras (29a y 29j) podemos representar los puntos operativos del sistema EES en los diferentes hogares inteligentes, como podemos ver los puntos de funcionamiento de todos los sistemas son aproximadamente parecidos, según los resultados estos sistemas se cargan en horas que hay bajo consumo y se descargan en



horas pico, por lo general esto reduce que haya compra de energía en las horas pico y se puede reducir los costos de electricidad en las facturas de las viviendas.

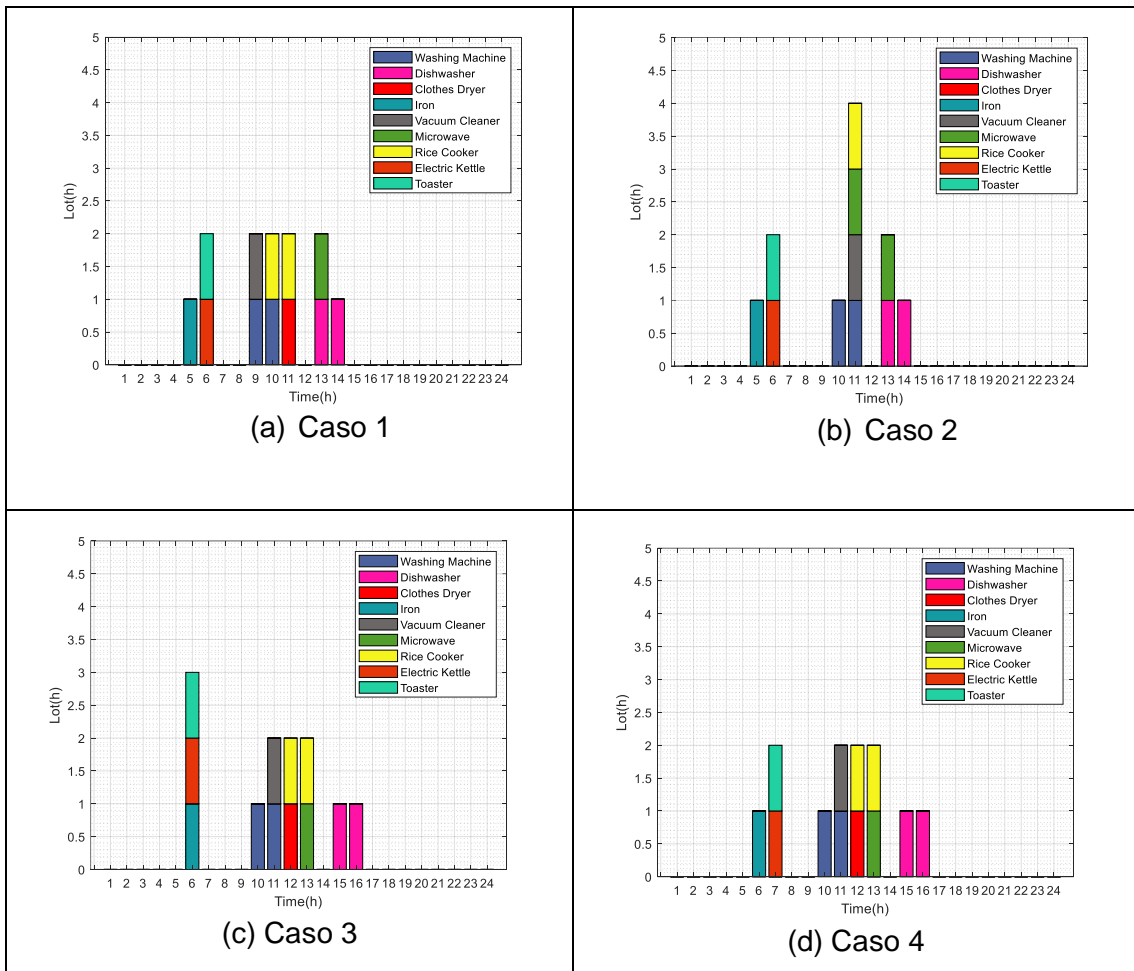
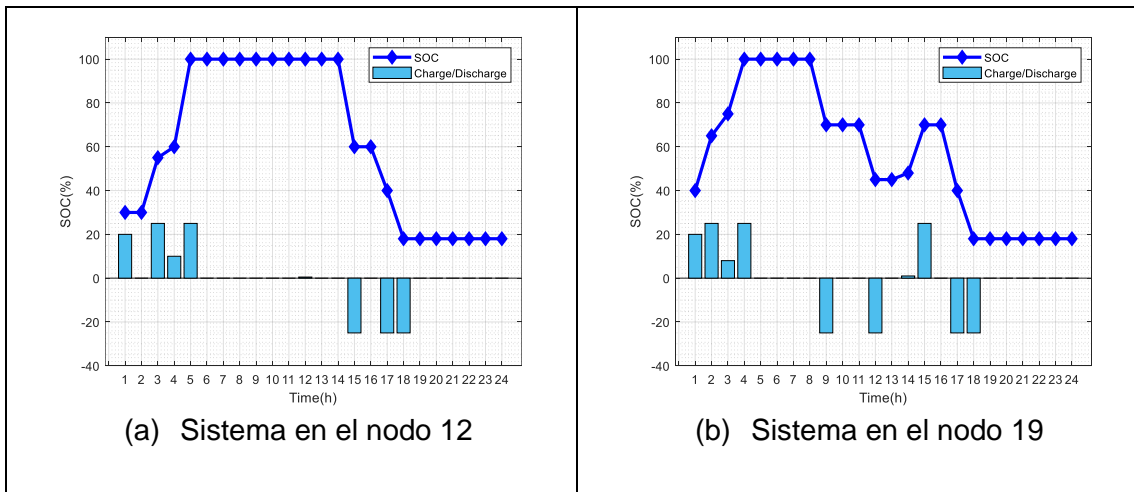


Fig. 28 Resultados de programación obtenida de una casa inteligente en una microrred 3.

Fuente (Propia del Autor).



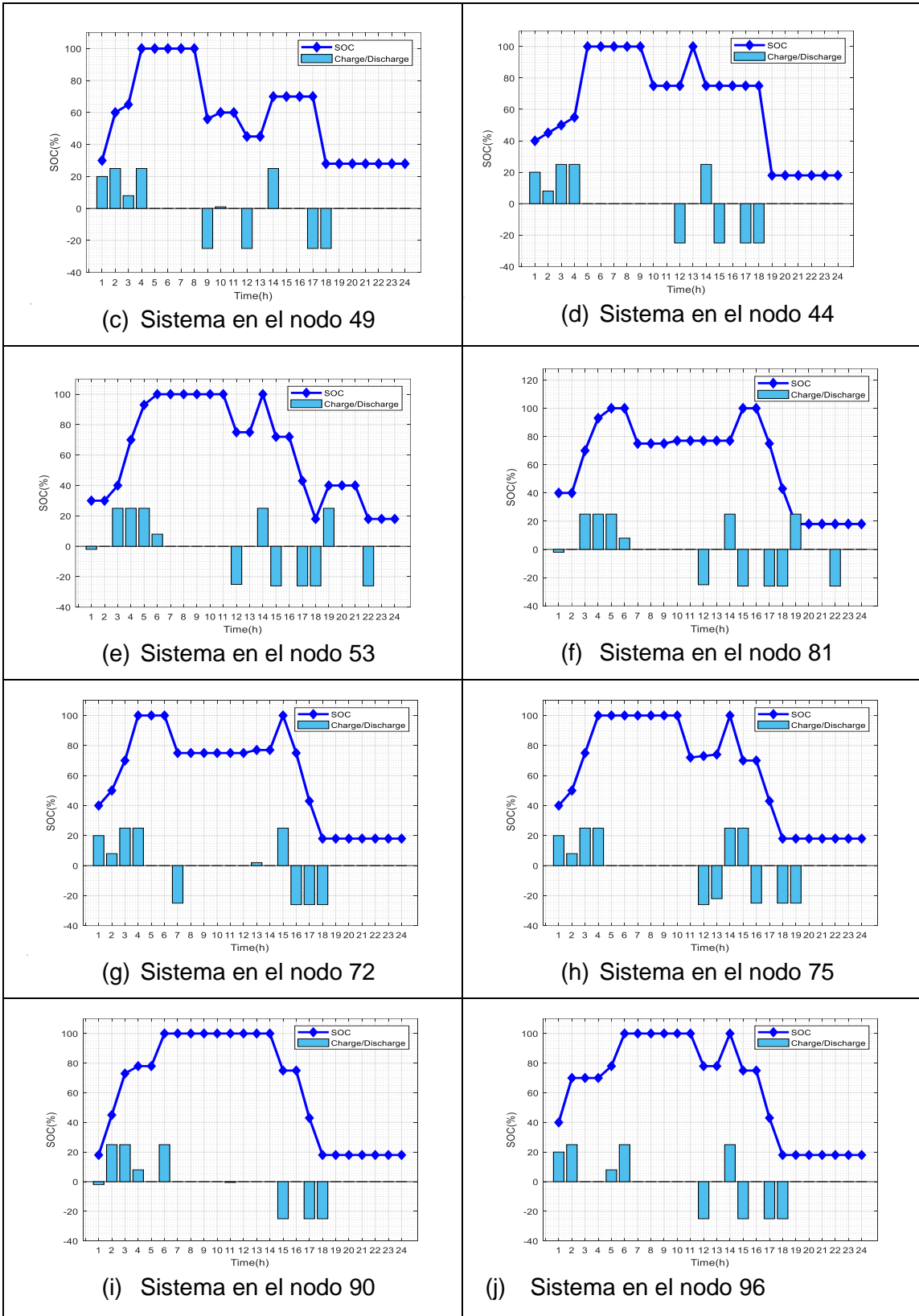


Fig. 29 Puntos de funcionamiento de sistemas EES que están ubicados en hogares inteligentes

Fuente (Propia del Autor).

## 5 CONCLUSIONES

En la presente tesis se analiza un marco de modelo MILP en donde se analiza dos etapas para poder gestionar sistemas de distribución permanentes en microrredes que estarán interconectadas a un sistema de distribución radial IEEE96 bus modificado, conformado por 9 microrredes donde se considerarán las diferentes cargas en los hogares inteligentes.

En el presente modelo el DSO realiza la programación en la red principal y tendrá que respetar la programación óptima en las microrredes y tendrá la posibilidad de poder implementar el DFR para obtener un mejor resultado.

En este caso de estudio el problema de programación de microrredes se pudo resolver mediante métodos de un solo objetivo y de dos objetivos, donde los resultados reflejaron que el uso del segundo método de dos objetivos a pesar del aumento de los costos operativos llevó a un aumento muy significativo en el índice de comodidad de los consumidores.

En esta tesis el problema fue en las topologías fijas y dinámicas en el análisis de la programación en donde podemos obtener resultados que indicaron que al realizar la conmutación automática se reducirá el costo operativo total en un 9.69% y así se pudo aumentar el índice de comodidad de los consumidores en un 0.21%, en este caso los resultados obtenidos enseñaron que la conmutación automática pudo reducir la desviación de programación final de las microrredes haciéndolo más óptimo nuestro programa.

También se realizó un estudio de funcionamiento de los sistemas EES donde se manifestó que dichos sistemas realizan la carga durante las horas de menos conectividad, en donde nuestra vivienda se puede auto sustentar de su propio consumo eléctrico, además en el caso de tener una demanda de máxima carga de potencia esta microrred podrá trabajar con normalidad debido a que los sistemas EES estarán cargados en su totalidad.

Para el análisis y modelamiento en nuestra tesis utilizamos MATLAB y LPSolve, donde se pudo efectuar cálculos matemáticos que nos ayudan a realizar la optimización en el lugar de estudio que es la isla Mocoli, asimismo de poder obtener cálculos más exactos y reales mediante software que realiza un modelamiento de posibles conexiones de usuarios a la red, además podemos realizar la optimización de puntos de conexión mediante LPSolve donde el resultado fueron 20 puntos de generación que pretenden ser instalados y serán los que se encargaran de generar energía eléctrica, los mismos podrán ser ubicados de acuerdo a su funcionamiento y diseño, también se considera que serán sistemas híbridos por que estarán conectadas las energías renovables y la red eléctrica.

Como conclusión general los resultados obtenidos demostraron que los modelos son óptimos para poder gestionar sistemas de distribución de energía eléctrica que serán interconectados a las microrredes, además estos nuevos sistemas híbridos en los hogares inteligentes reducen el costo de las facturas de consumo eléctrico.

## 6 RECOMENDACIONES.

Mediante este trabajo se recomienda que realicen más estudios futuros con estos modelos matemáticos MILP en sistemas híbridos por su alta tasa de implementaciones en países en desarrollo para tener un mejor control y eficiencia energética.

También se podrá obtener información de este trabajo de investigación en estudios futuros de hogares inteligentes que tengan instalados sistemas de energías renovables tales como Paneles Solares, Generadores Eólicos, Turbinas Hidro cinéticas HKT en microrredes urbanas.

Sería interesante poder coordinar el estudio de entrega de recursos hacia la red eléctrica como forma de servicios complementarios y tener un registro de estos datos eléctricos.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, L. da S. (2022). Determinantes del consumo de energía renovable en la Unión Europea: Un análisis entre ue-15 y los 13 nuevos miembros. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda época*, 1, 94-116.
- Alvarez, D. I., Calle Castro, C. J., Gonzalez, F. C., Uguña, A. L., & Toledo, J. F. T. (2017). Modeling and simulation of a hybrid system solar panel and wind turbine in the locality of Molleturo in Ecuador. *2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 620-625. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2017.8191134>
- Apraez Cando, J. A., & Armijos Yalama, C. P. (2020). Modelado y simulación para el abastecimiento de energía eléctrica mediante sistemas solares a monumentos. Caso de estudio Punta Hacienda, Quingeo. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10694>

- Arévalo Cordero, W. P. (2021). *optimización en dimensionamiento y control energético de sistemas híbridos de energías renovables en ecuador*. Jaén : Universidad de Jaén. <http://ruja.ujaen.es/jspui/handle/10953/1056>
- Bradac, Z., Kaczmarczyk, V., & Fiedler, P. (2015). Optimal Scheduling of Domestic Appliances via MILP. *Energies*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/en8010217>
- Cabrera Merchán, W. R., & Villa García, I. S. (2022). Diseño e implementacion de un sistema solar fotovoltaico para una residencia que incluye sistemas Smart Home en el cantón Paute, sector San Cristóbal. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12144>
- Cano, A., Arévalo, P., & Jurado, F. (2020). Energy analysis and techno-economic assessment of a hybrid PV/HKT/BAT system using biomass gasifier: Cuenca-Ecuador case study. *Energy*, 202, 117727. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117727>
- Cata Sánchez, J. E., & Rodríguez Sócola, F. M. (2015). *Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio*. [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10250>
- Cruz, S. C. S., & Jesús, K. (2018). *Diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado nueva esperanza ubicado en el distrito de Catache- Santa Cruz—Cajamarca*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2823>
- Díaz-Rodríguez, J., Pabón-Fernández, L., & Pardo-García, A. (2012). Sistema Híbrido de Energía Utilizando Energía Solar y Red Eléctrica. *Lámpsakos*, 7, Article 7. <https://doi.org/10.21501/21454086.846>
- Domenech Léga, B. (2013). Metodología para el diseño de sistemas de electrificación autónomos para comunidades rurales [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95045>

- Farrokhifar, M., Aghdam, F. H., Alahyari, A., Monavari, A., & Safari, A. (2020). Optimal energy management and sizing of renewable energy and battery systems in residential sectors via a stochastic MILP model. *Electric Power Systems Research, 187*, 106483. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106483>
- Gebhardt, C., Preidikman, S., & Massa, J. (2009). Características generales de la aerodinámica de generadores eólicos de eje horizontal y gran potencia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 13*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97662>
- Global Solar Atlas*. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://globalsolaratlas.info/map>
- Global Wind Atlas*. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://globalwindatlas.info>
- Godoy, J. L., Schierloh, R. M., & Vega, J. (2018). Economic Evaluation of Micro-Grids with Renewable Generation. *2018 Argentine Conference on Automatic Control (AADECA)*, 1-6. <https://doi.org/10.23919/AADECA.2018.8577305>
- Gómez-Rivera, W., Aperador-Chaparro, W., & Delgado-Tobón, E. (2011). Desarrollo de rotores para turbina eólica de 200 vatios mediante la implementation de tecnología local. *Ingeniería y Universidad, 15(2)*, 303-318.
- Guerra Zurita, Y. O. (2020). Diseño mecánico de una turbina hidrocínética para generación de electricidad en ríos amazónicos. *Repositorio Institucional UTEC*. <http://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/118>
- Icaza, D., Pauta, A., Saguay, G., & Solis, F. (2016). Control system for less than wind turbines 1500w. *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy, 5(3)*, 99-106.
- Jara, V., & Alberto, F. (2009). Fundaciones para turbinas eólicas costa afuera. *Revista ingeniería de construcción, 24(1)*, 33-48. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732009000100002>

- Kelechi, O., & Tokos, H. (2016). An MILP Model for the Optimization of Hybrid Renewable Energy System. En Z. Kravanja & M. Bogataj (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 38, pp. 2193-2198). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63428-3.50370-2>
- Kim, J., Suharto, Y., & Daim, T. U. (2017). Evaluation of Electrical Energy Storage (EES) technologies for renewable energy: A case from the US Pacific Northwest. *Journal of Energy Storage*, 11, 25-54.  
<https://doi.org/10.1016/j.est.2017.01.003>
- Lamedica, R., Santini, E., Ruvio, A., Palagi, L., & Rossetta, I. (2018). A MILP methodology to optimize sizing of PV - Wind renewable energy systems. *Energy*, 165, 385-398. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.087>
- Lata García, J. C. (2019). *Mejoras al dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos con energías renovables*. Jaén : Universidad de Jaén.  
<http://ruja.ujaen.es/jspui/handle/10953/949>
- Lata-García, J., Jurado, F., Fernández-Ramírez, L. M., & Sánchez-Sainz, H. (2018). Optimal hydrokinetic turbine location and techno-economic analysis of a hybrid system based on photovoltaic/hydrokinetic/hydrogen/battery. *Energy*, 159, 611-620. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.183>
- López, A., Parnás, V. E., Cataldo, J., López, A., Parnás, V. E., & Cataldo, J. (2019). Experimentos en túnel de viento sobre paneles fotovoltaicos montados en el suelo. *Revista ingeniería de construcción*, 34(1), 15-24.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000100015>
- Mata, O. N., Villalba, D. O., & Palma--Behnke, R. (2013). Microrredes en la red eléctrica del futuro—Caso Huatacondo. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 29(2), Article 2.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/15214>
- Mejía, M. A., Martijena, A. A., Ruíz, A. A. C., Arias, Á. I. R., Cuello, E. B., Maimó, J. G., & Mariano-Hernández, D. (2021). Protocolos y topologías utilizadas en los

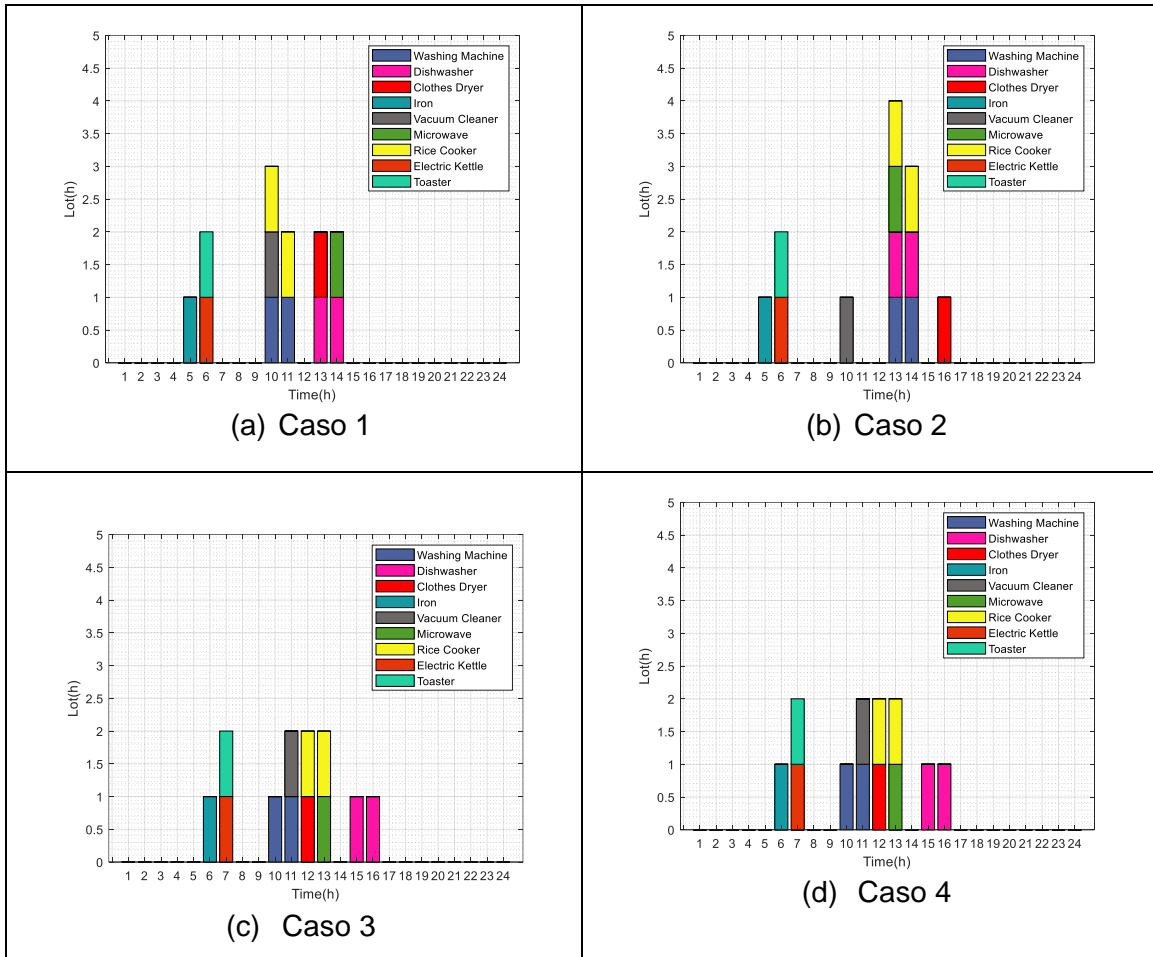
- sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.22206/cyap.2021.v4i1.pp81-95>
- Meliani, M., Barkany, A. E., Abbassi, I. E., Darcherif, A. M., & Mahmoudi, M. (2021). Energy management in the smart grid: State-of-the-art and future trends. *International Journal of Engineering Business Management*, 13, 18479790211032920. <https://doi.org/10.1177/18479790211032920>
- Mesa Beleño, J. P. (2020). *Simulación y análisis de turbinas hidrocinéticas y generadores de imanes permanentes en una microrred: Modelación, impacto eléctrico y análisis económico aplicado al caso colombiano* [MasterThesis, Escuela de Ingenierías]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4971>
- Moreno, J. A. G., Rodríguez, C. L. T., & Suesca, R. A. P. (2007). Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas. *Ingeniería*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.14483/23448393.2100>
- Ovalle Cubillos, R. (2014). Sociedad fotovoltaica. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(1), 4-5. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052014000100001>
- Pazmiño, Á. J. P., & Ortiz, L. (2022). Despliegue óptimo de redes de distribución y generación distribuida para microrredes eléctricas híbridas CA aisladas usando método heurístico. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 15(1), 80-96.
- Perez Ramirez, R., Pérez López, A., & Martínez-Arremilla, J. (2015). Optimization of hybrid energy system for rural electrification of indigenous communities in México. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 3, 33-39. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2010.10.017>
- Pinzon, J. A., Vergara, P. P., da Silva, L. C. P., & Rider, M. J. (2017). An MILP model for optimal management of energy consumption and comfort in smart buildings. *2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2017.8085956>



- Rodríguez-Borges, C. G., & Sarmiento-Sera, A. (2011). Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. *Ingeniería Mecánica*, 14(1), 13-21.
- Salto Uzhca, Á. B. (2018). Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la Comunidad Puntahacienda de Quingeo. *Universidad Católica de Cuenca*.  
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8210>
- Sami, S., & Icaza, D. (2015). Modeling and Simulation of Hybrid Solar Photovoltaic, Wind turbine and Hydraulic Power System. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 7(9), 304.
- Shen, Z., Wei, W., Wu, L., Shafie-khah, M., & Catalão, J. P. S. (2021). Economic dispatch of power systems with LMP-dependent demands: A non-iterative MILP model. *Energy*, 233, 121015. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121015>
- Singabhattu, H., Jain, A., & Bhattacharjee, T. (2017). Distributed energy resources optimization for demand response using MILP. *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp)*, 1-5.  
<https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070053>
- SMART HYDRO POWER | Hydrokinetic in-stream Turbines. (s. f.). *SMART HYDRO POWER*. Recuperado 6 de marzo de 2023, de <https://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/>
- Soltani, Z., Ghaljehei, M., Gharehpetian, G. B., & Aalami, H. A. (2018). Integration of smart grid technologies in stochastic multi-objective unit commitment: An economic emission analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 100, 565-590. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.02.028>
- Tostado-Véliz, M., Icaza-Alvarez, D., & Jurado, F. (2021). A novel methodology for optimal sizing photovoltaic-battery systems in smart homes considering grid outages and demand response. *Renewable Energy*, 170, 884-896.

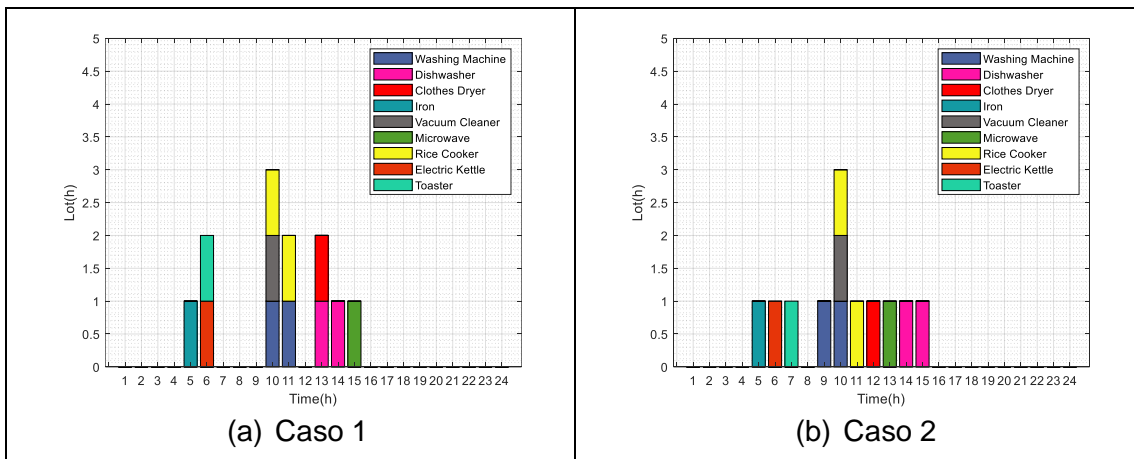
- Trujillo Sandoval, D. J., Mosquera Velásquez, F. I., García Torres, E. M., Trujillo Sandoval, D. J., Mosquera Velásquez, F. I., & García Torres, E. M. (2021). Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: Caso de estudio condominios residenciales. *Enfoque UTE*, 12(2), 19-36.  
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.734>
- Urgilés Bermeo, E. X. (2019). Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico para la capilla de la comunidad Macas alto de la parroquia Quingeo del cantón Cuenca. *Universidad Católica de Cuenca*.  
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8250>
- Vecino Vásquez, J. P. (2017). Prueba de concepto de un sistema de generación hidrocínético para ríos en Colombia. *instname:Universidad de los Andes*.  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/39692>
- Vukasovic, M., & Vukasovic, B. (2017). Modeling optimal deployment of smart home devices and battery system using MILP. *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 1-6.  
<https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2017.8260115>
- Wu, X., Zhao, W., Wang, X., & Li, H. (2021). An MILP-Based Planning Model of a Photovoltaic/Diesel/Battery Stand-Alone Microgrid Considering the Reliability. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(5), 3809-3818.  
<https://doi.org/10.1109/TSG.2021.3084935>

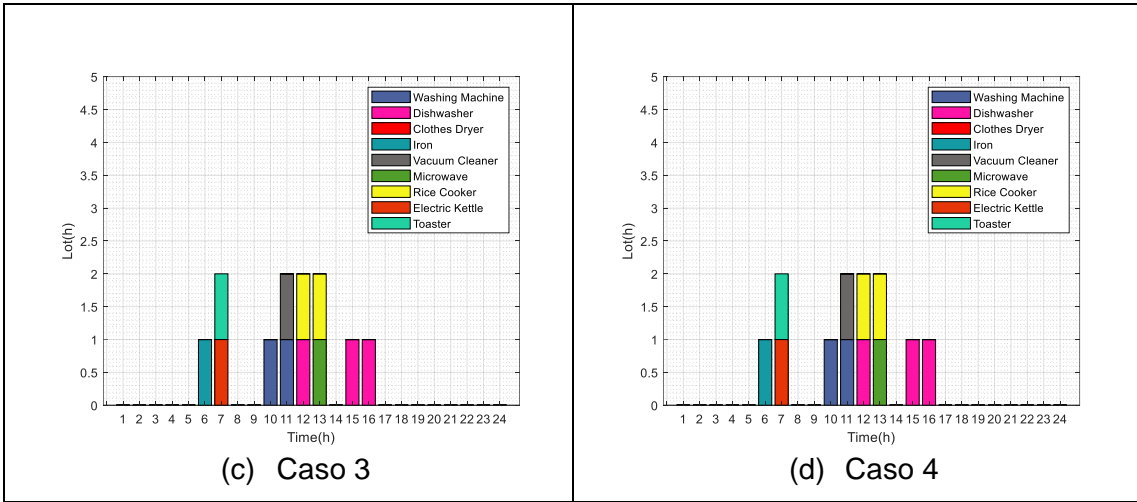
## 8 ANEXOS



ANEXO A. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 1.

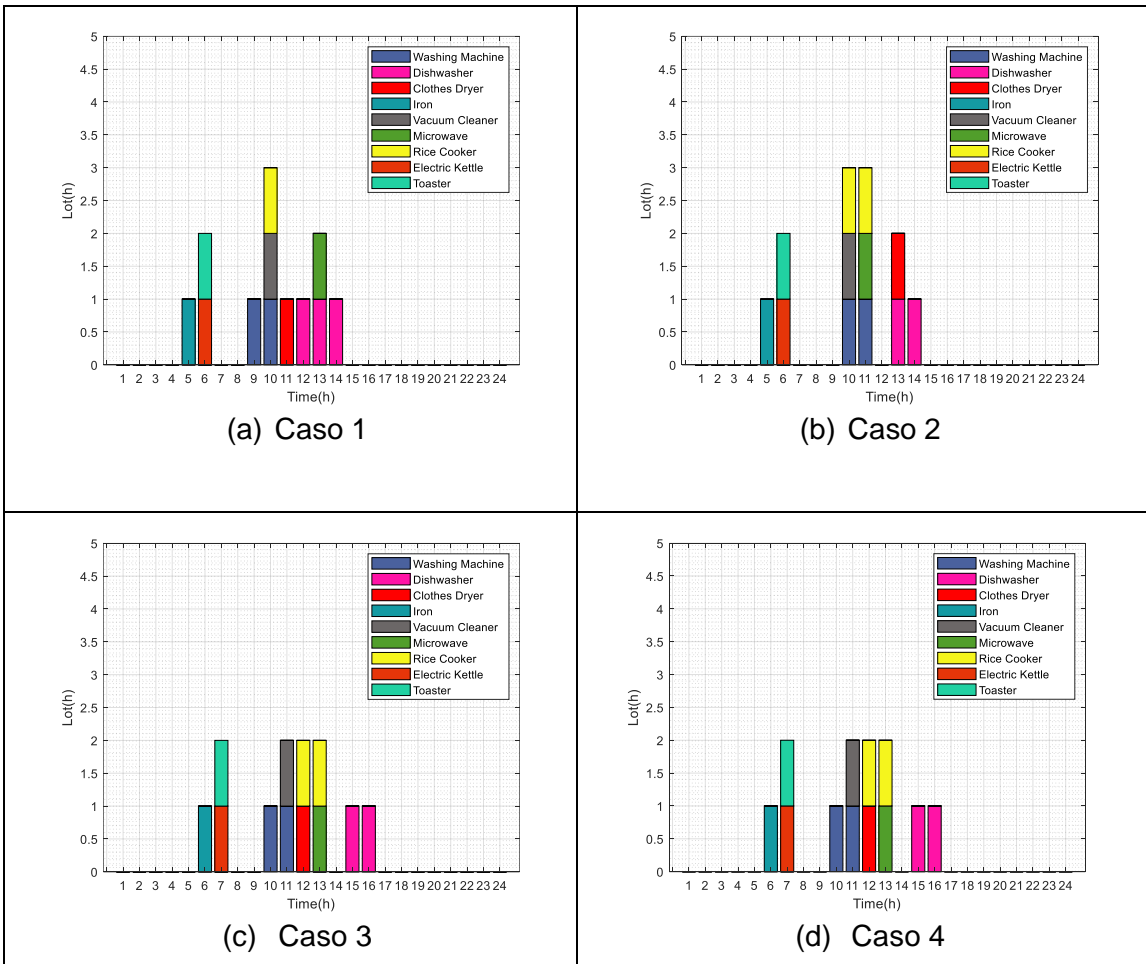
Fuente (Propia del Autor).





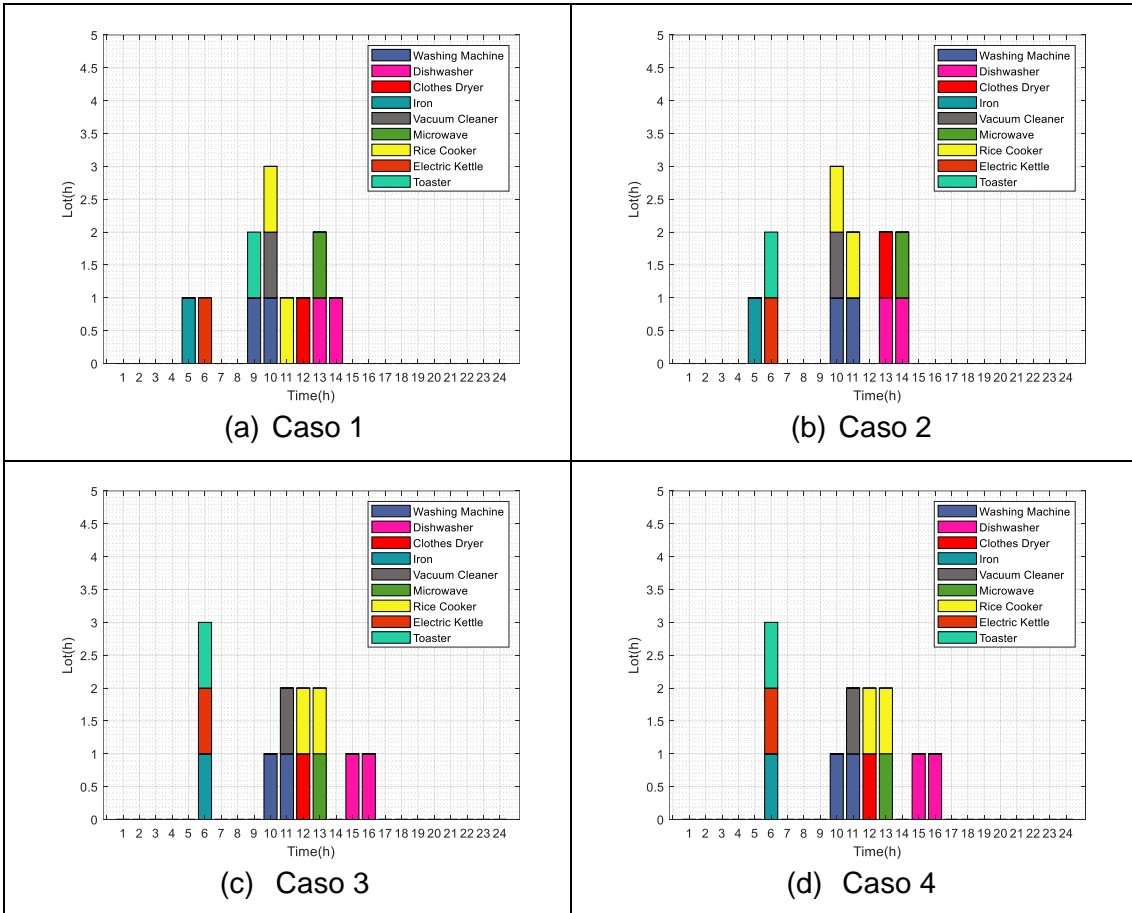
ANEXO B. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 2.

Fuente (Propia del Autor).



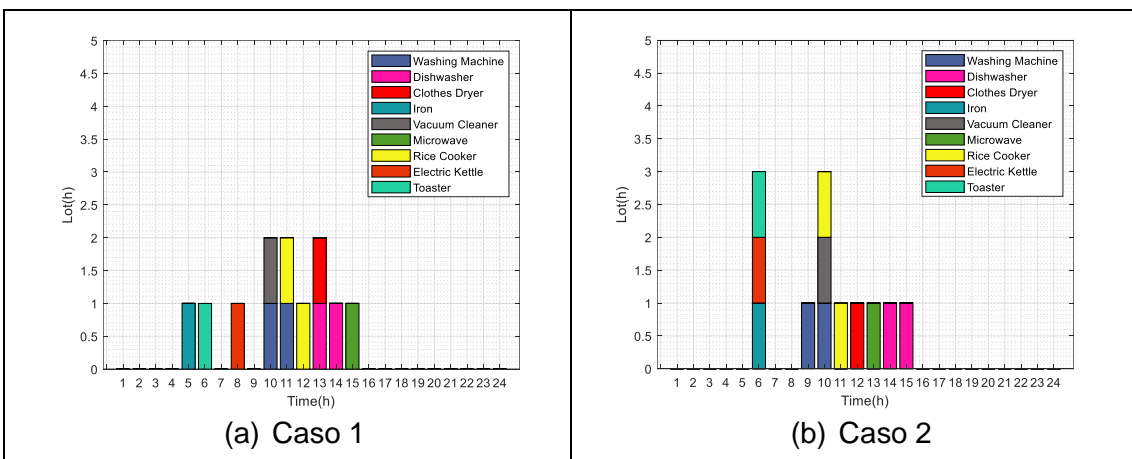
ANEXO C. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 4.

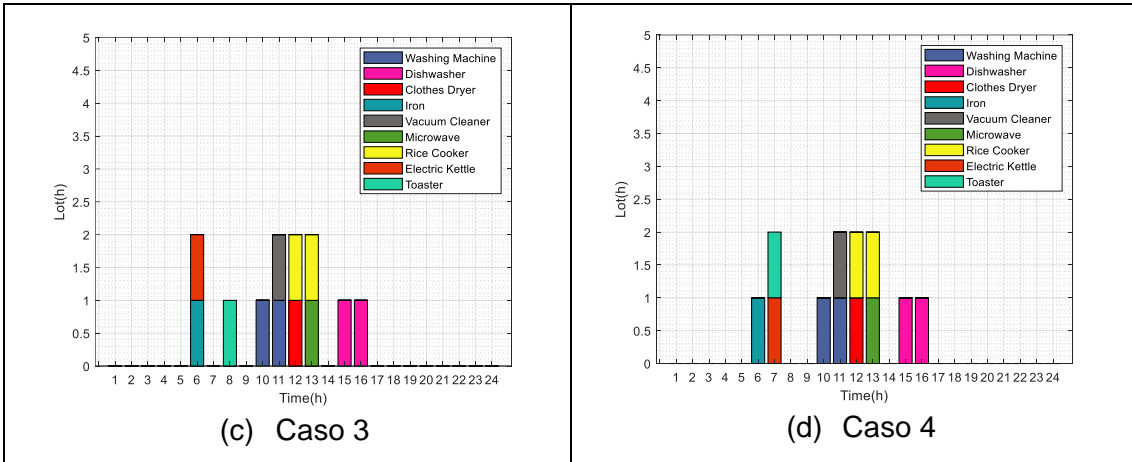
Fuente (Propia del Autor).



ANEXO D. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 5.

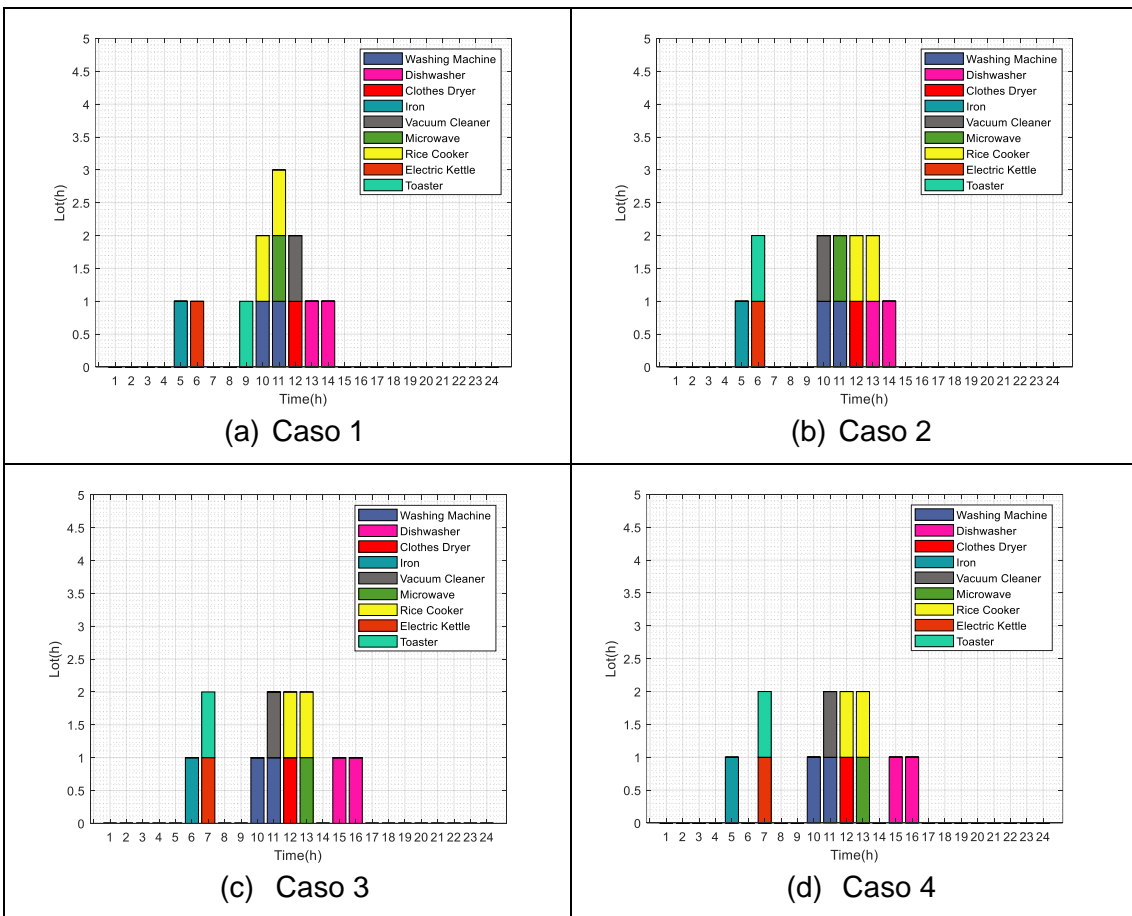
Fuente (Propia del Autor).





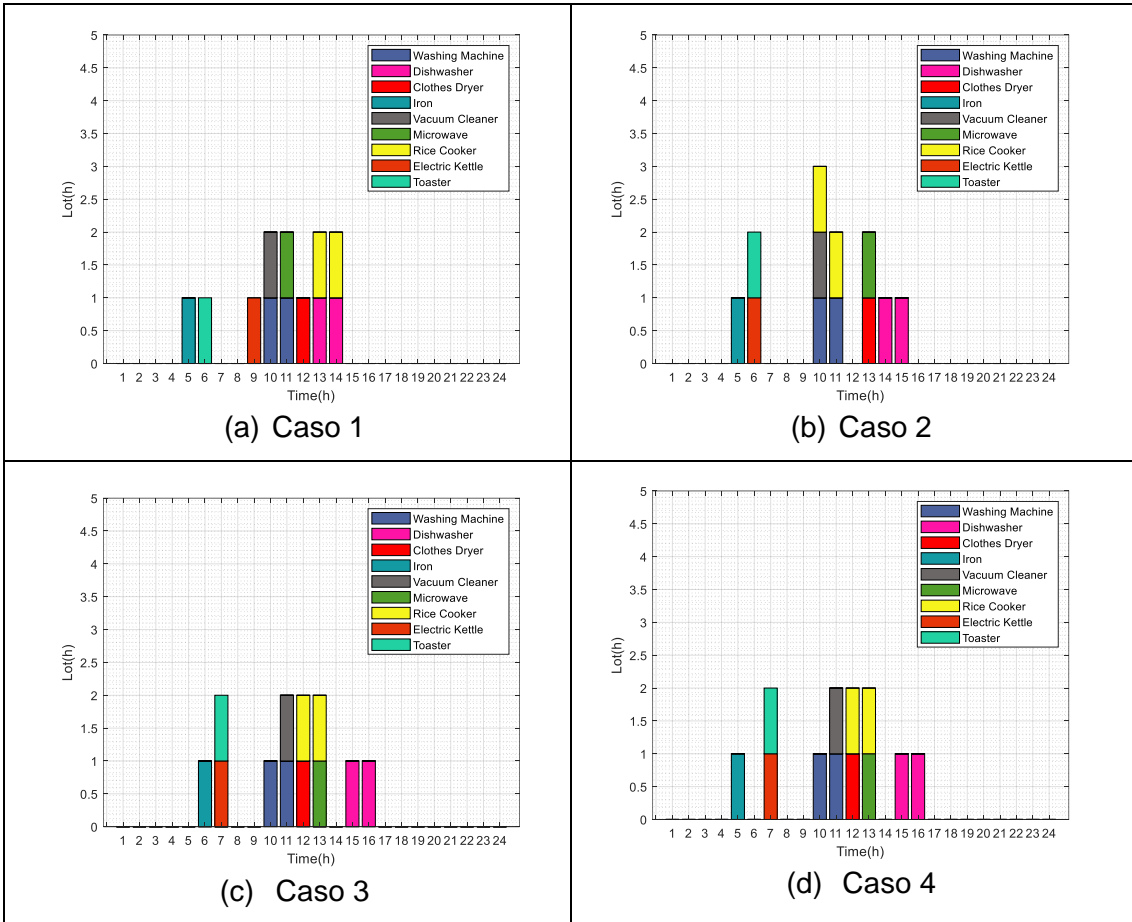
ANEXO E. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 6.

Fuente (Propia del Autor).



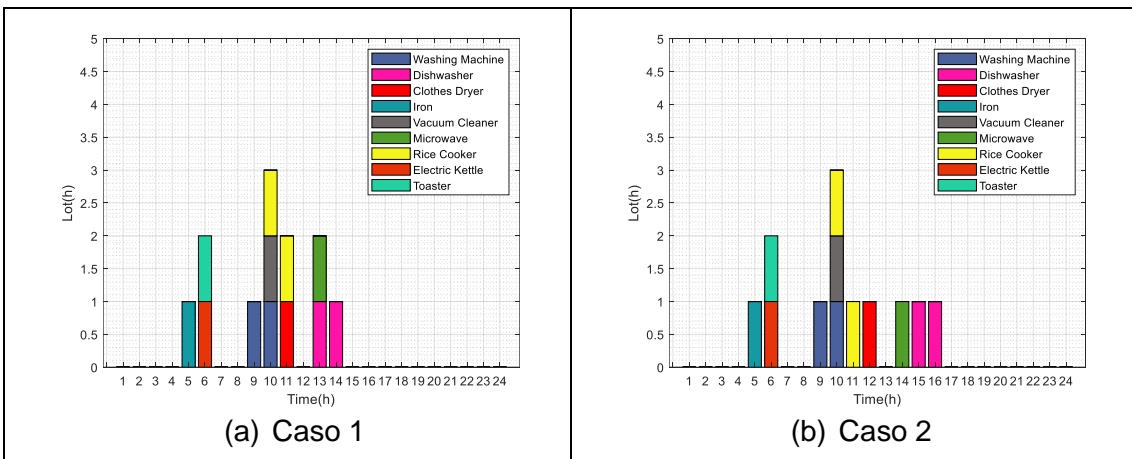
ANEXO F. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 7.

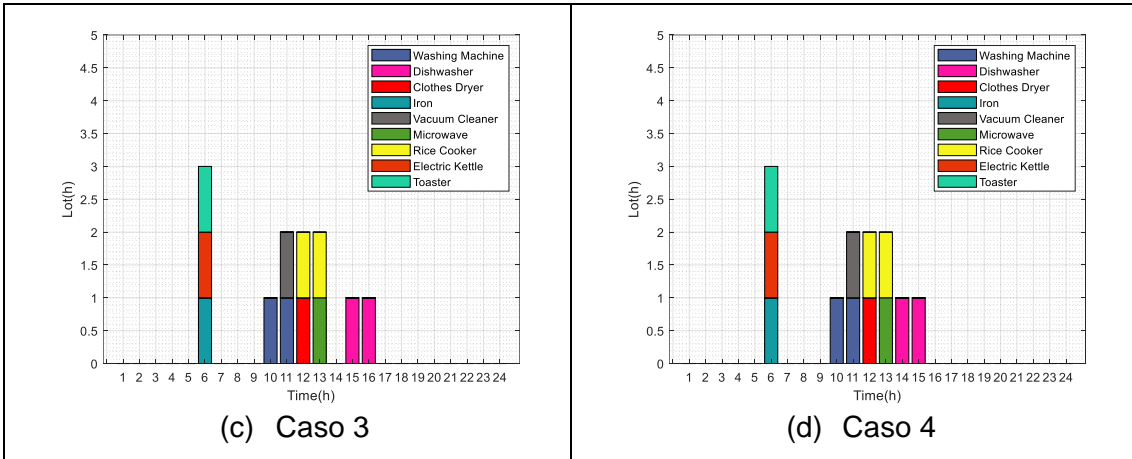
Fuente (Propia del Autor).



ANEXO G. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 8.

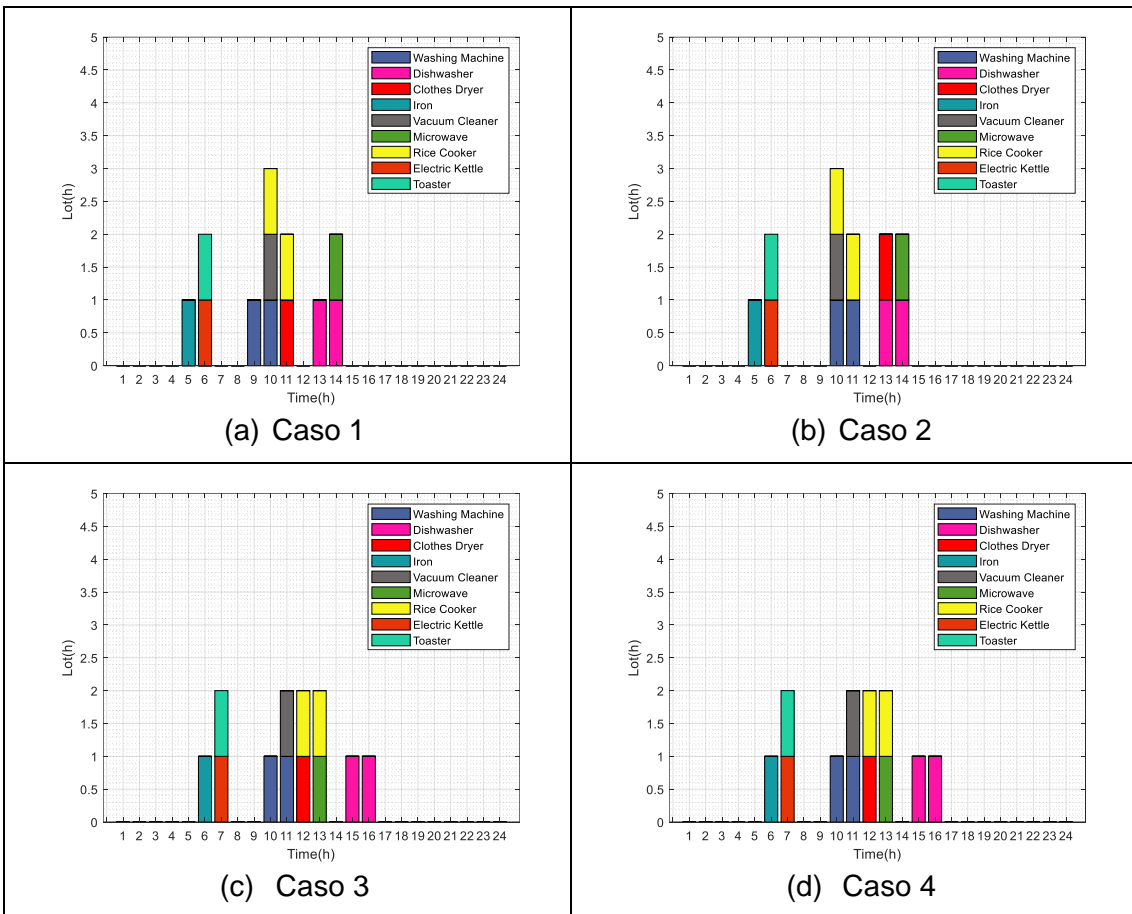
Fuente (Propia del Autor).





ANEXO H. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 9.


Fuente (Propia del Autor).



ANEXO I. Resultados de programación de una Smart Home en la microrred 10.

Fuente (Propia del Autor).





**Electrical characteristics**

*P<sub>max</sub>, V<sub>oc</sub>, I<sub>sc</sub>, V<sub>mp</sub> and I<sub>mp</sub> at STC (1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5):*

	225W	230W	235W	240W	245W	250W	255W	260W
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	225W	230W	235W	240W	245W	250W	255W	260W
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.5V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	8.16A	8.31A	8.42A	8.52A	8.62A	8.72A	8.82A	8.91A
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	30.1V	30.2V	30.3V	30.3V	30.4V	30.5V	30.6V	30.7V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	7.48A	7.62A	7.76A	7.92A	8.06A	8.20A	8.34A	8.48A
Module Efficiency (%)	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9

**Temperature Coefficients**

Temperature Coefficients of P <sub>max</sub>	-0.43 %/°C
Temperature Coefficients of V <sub>oc</sub>	-0.33 %/°C
Temperature Coefficients of I <sub>sc</sub>	+0.056 %/°C

**Absolute Maximum Limits**

Maximum System Voltage	1000V DC
Module Operating Temperature	-40°C to +85°C
NOCT	45°C±2°C

PANEL SOLAR BIFACIAL Q CELLS DE 480 VATIOS MONO DUO CELL, CABLES DE 13/27"



Modelo: Q.PEAK DUO XL-G10-480BF (480 vatios bifacial -

DETALLES				
Código del objeto	Nombre de la marca	Número de modelo	voltios	vatios
HAN480XG10480CA	CÉLULAS Q	Q.PEAK DUO XL-G10-480BF	24V	480W

## CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS:

Desempeño en STC	Q.PEAK DUO XL-G10-480
Potencia máxima nominal (Pmax)	480 vatios (525 W con ganancia bifacial de la parte trasera, ideal para aplicaciones de montaje en suelo)
Tensión de alimentación máxima (Vmp)	45,33 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	10.59A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	53,39 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.12A
Eficiencia del módulo	20,7%
Resistencia al fuego	TIPO 29
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0,34 %/°C
Temperatura de funcionamiento	-40° a 85°C (-40° a 185°F)
Voltaje máximo del sistema	1500V
Clasificación máxima de fusibles en serie	20A
Tipo de célula	Semicélulas solares monocristalinas Q.ANTUM
Arreglo de celdas	78 (6 x 26 medias celdas)
Dimensiones	87,2 x 41,1 x 1,38 pulgadas (2216 x 1045 x 35 mm)
Peso	64,2 libras (29,1 kg)
Cables Conectores	Staubli MC4-Evo2
Carga estática de viento/nieve	2400 Pa/ 5400 Pa
Marco	Plata
Garantía	Garantía de rendimiento lineal de 30 años Garantía de producto de 12 años

**Disfrute de las ventajas de ISOFOTÓN**

- Experiencia de más de 30 años en la fabricación de células y módulos fotovoltaicos
- Experiencia Internacional en el desarrollo de proyectos: más de 300 en todo el mundo
- Asistencia técnica
- Tecnología punta y calidad certificada
- Compromiso con el medio ambiente

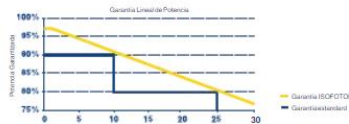
**Disfrute de las ventajas de la gama ISF**

- Vidrio microtexturado con mayor capacidad de absorción de la luz difusa, que garantiza más eficiencia
- Caja de conexión diseñada para minimizar las pérdidas eléctricas
- El módulo más ligero de su categoría, lo que facilita su manejo y el ahorro de coste en estructura

**La garantía ISOFOTÓN**

**NUEVO!! 30** años de garantía lineal de potencia que mejora en un 25% la garantía estándar de mercado

**10** años de garantía de producto



**Certificados de Empresa**



**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

Comportamiento en STC: Irradiancia 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25 °C, AM 1.5

	ISF - 245	ISF - 250	ISF - 255
Potencia nominal (Pmax)	245 W	250 W	255 W
Tensión en circuito abierto (Voc)	37,6 V	37,8 V	37,9 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,63 A	8,75 A	8,86 A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	30,5 V	30,6 V	30,9 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,04 A	8,17 A	8,27 A
Eficiencia	14,8 %	15,1 %	15,4 %
Tolerancia de potencia (% Pmax)	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %

Comportamiento a Irradiancia 800 W/m<sup>2</sup>, TONC, temperatura ambiente 20 °C, AM 1,5; velocidad del viento 1 m/s

	ISF - 245	ISF - 250	ISF - 255
Potencia máxima (Pmax)	178 W	181 W	185 W
Tensión en circuito abierto (Voc)	34,8 V	35,0 V	35,1 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	6,96 A	7,06 A	7,15 A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	27,4 V	27,5 V	27,7 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	6,49 A	6,59 A	6,67 A

Reducción de Eficiencia desde 1.000 W/m<sup>2</sup> a 200 W/m<sup>2</sup> según IEC 60904-1

5% (+/-3%)

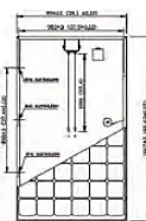
**CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN**

Tensión máxima del sistema	1000 V
Límite de corriente inversa	20 A
Temperatura nominal de operación de la célula (TONC)	45 +/- 2° C
Temperatura de operación	-40 to + 85° C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0,44%/K
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,334%/K
Coefficiente de temperatura de Isc	0,048%/K

**CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS**

Célula solar	Silicio Monocristalino - 156 mm x 156 mm (6 pulgadas)
Número de células	60 células (6x10)
Dimensiones	1667 x 994 x 45 mm
Peso	19 Kg
Vidrio	Alta transmisividad, texturado y templado de 3,2 mm (EN-12150)
Marco	Aluminio anodizado, toma de tierra
Máxima carga admisible	5400 Pa (carga de nieve)
Caja de conexión	IP 65 con 3 diodos de bypass
Cables y Conector	Cable solar de 1 m y sección 4 mm <sup>2</sup> . Conector MC4 o LC4

**DIMENSIONES**



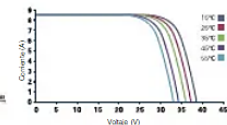
**EMBALAJE**

Módulos por palet  
**24**

Tamaño del embalaje (palet + caja)

1720 x 1140 x 1155mm

Materiales Reciclables



ANEXO J. Características de Paneles Solares.

Fuente (Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

### Aerogenerador 1kw



### Especificaciones para Aerogenerador Aeolos-H 1kW

Potencia Nominal	1 kw
Máxima Potencia de Salida	1.2 kw
Voltaje de Salida	48 V
Número de Palas	3 Palas de Fibra de Vidrio
Diámetro del Rotor de Palas	3.2 m (10.5 pies)
Velocidad de Arranque del Viento	2.5 m/s (5.6 mph)
Velocidad Nominal del Viento	12 m/s (26.8 mph)
Velocidad de Supervivencia del Viento	45 m/s (100.7 mph)
Generador	Generador Trifásico Magnético Permanente
Eficiencia del Generador	>0.96
Peso de Turbina	60 kg (132.3 lbs)
Ruido	30 db(A) @ 5m/s
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C
Vida Útil del Diseño	20 Años
Garantía	Estándar 5 Años

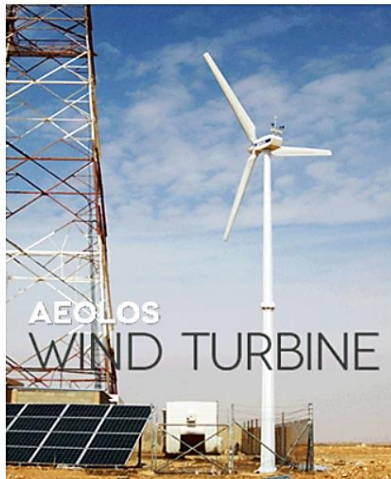
### Aerogenerador 3kw



### Especificaciones para Aerogenerador Aeolos-H 3kW

Potencia Nominal	3 kw
Máxima Potencia de Salida	4 kw
Voltaje de Salida	120/220 V
Número de Palas	3 Palas de Fibra de Vidrio
Diámetro del Rotor de Palas	4.8 m (15.7 pies)
Velocidad de Arranque del Viento	2.5 m/s (5.6 mph)
Velocidad Nominal del Viento	12 m/s (26.8 mph)
Velocidad de Supervivencia del Viento	45 m/s (100.7 mph)
Generador	Generador Trifásico Magnético Permanente
Eficiencia del Generador	>0.96
Peso de Turbina	138 kg (304.2 lbs)
Ruido	40 db(A) @ 5m/s
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C
Vida Útil del Diseño	20 Años
Garantía	Estándar 5 Años

### Aerogenerador 10kw



### Especificaciones para Aerogenerador Aeolos 10kw

Potencia Nominal	10 kw
Máxima Potencia de Salida	13 kw
Generador	Generador de Impulsión Directa Magnético Permanente
Número de Palas	3 Palas de Fibra de Vidrio
Diámetro del Rotor de Palas	8 m (26.2 pies)
Velocidad de Arranque del Viento	3.0 m/s (6.7 mph)
Velocidad Nominal del Viento	10 m/s (22.3 mph)
Velocidad de Supervivencia del Viento	45 m/s (100.7 mph)
Controlador	PLC Con Pantalla Táctil
Sistema de Seguridad	Control de Orientación, Freno Eléctrico y Freno Hidráulico
Peso de Turbina	420 kg (925.9 lbs)
Ruido	45 db(A) @ 5m/s
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C
Vida Útil del Diseño	20 Años
Garantía	Estándar 5 Años

### Aerogenerador 50kw



### Especificaciones para Aerogenerador Aeolos 50kw

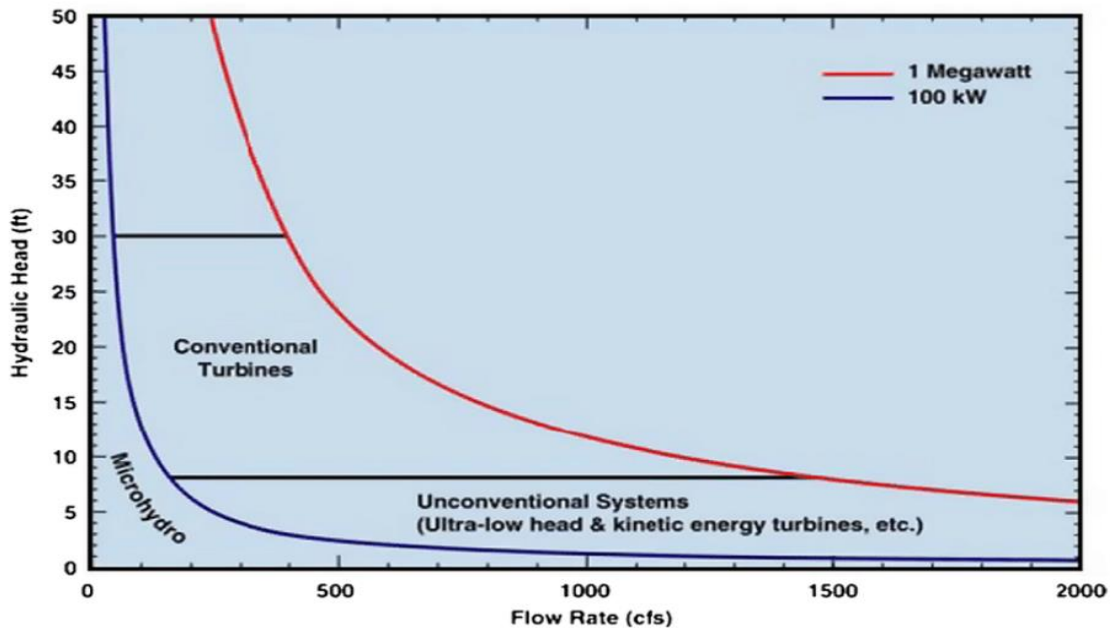
Potencia Nominal	50 kw
Máxima Potencia de Salida	54 kw
Generador	Generador de Impulsión Directa Magnético Permanente
Número de Palas	3 Palas de Fibra de Vidrio
Diámetro del Rotor de Palas	18.0 m (59.1 pies)
Velocidad de Arranque del Viento	3.0 m/s (6.7 mph)
Velocidad Nominal del Viento	10 m/s (22.3 mph)
Velocidad de Supervivencia del Viento	50 m/s (111.5 mph)
Controlador	PLC Con Pantalla Táctil
Sistema de Seguridad	Control de Orientación, Freno Eléctrico y Freno Hidráulico
Peso de Turbina	3120 kg (6878.3 lbs)
Ruido	58.5 db(A) @ 7m/s
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C
Vida Útil del Diseño	20 Años
Garantía	Estándar 5 Años

## ANEXO K. Características de Generador Eólico.

Fuente (Gebhardt et al., 2009).



	TURBINAS HAHT	TURBINAS VAHT
TIPO DE TURBINA	EJE HORIZONTAL	DOBLE ROTOR EJE VERTICAL
RANGOS DE POTENCIA	0,5-10 kW	
PROFUNDIDAD MÍNIMA	2 m	0,7 m
VELOCIDAD NOMINAL DEL RÍO	1,2 m/s	1,5 m/s
RANGO DE VELOCIDAD DEL RÍO	0,8-2,5m/s	1-4 m/s
DIMENSIONES	SEGÚN MODELO	
ESTRUCTURA FLOTANTE	OPCIONAL	



## TURBINAS INTELIGENTES



**BASE LOAD**

Fuente de alimentación de carga base



Fácil instalación y mantenimiento



Espacio mínimo requerido




Bajos costos de infraestructura (sin represas)



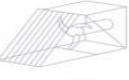
Sin impacto ambiental




Perturbación audible mínima



**MONOFLOTANTE INTELIGENTE**



**TRANSMISIÓN GRATUITA SMART**



**FLUJO LENTO INTELIGENTE**

### TURBINAS INTELIGENTES

Estas turbinas para ríos y canales permiten la introducción de un suministro de carga base, brindando una solución completa de energía renovable con la mejor relación costo-beneficio posible. Esta tecnología patentada está estandarizada y es fácilmente escalable. Aunque calificados como "verdes", estos productos se posicionan como la mejor alternativa para la electrificación descentralizada a lo largo de los ríos.

La turbina Smart Hydro Power fue desarrollada para producir la máxima cantidad de energía eléctrica con la energía cinética de las aguas que fluyen. Debido a que funciona con energía cinética en lugar de energía potencial, se la conoce como turbina de "cabeza cero" o "en flujo". Como tal, no se necesitan diques ni diferenciales de altura para el funcionamiento de este dispositivo; el curso de un río se mantiene en su estado natural y no se requieren altas inversiones en infraestructura. Debido a que la cantidad de energía cinética (velocidad) varía de un río a otro, se genera una mayor cantidad de energía con una mayor velocidad del flujo de agua.

Nuestras turbinas fluviales únicas y patentadas se construyen en módulos y se pueden integrar junto con la energía fotovoltaica en un sistema híbrido.

## MONOFLOTANTE INTELIGENTE

Esta turbina está diseñada para ríos, con una protección contra escombros reforzada y un sistema de anclaje patentado. El anclaje se puede realizar en el fondo del río, en el apoyo de un puente o en un bloque al costado de un río.

### Esta turbina está lista para superar:

- profundidad y velocidad del agua variables
- escombros flotantes de diversos materiales y tamaños

#### Un flotador de buceo

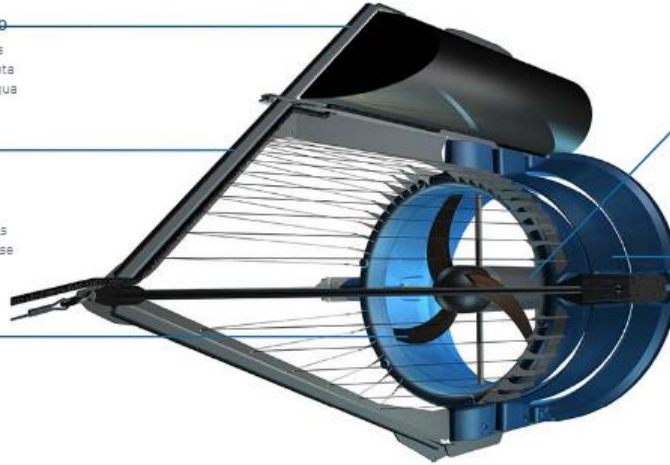
se sumerge para evitar los escombros cuando aumenta la velocidad del flujo de agua

#### Protección contra escombros

los cables de acero inoxidable están cuidadosamente diseñados para que los desechos no se acumulen ni dañen las cuchillas

#### Rotor

las cuchillas ligeramente curvadas mejoran el rendimiento contra los escombros



#### Generador submarino de 5 kW

generador de imanes permanentes que proporciona alimentación de CA trifásica

#### Difusor

protege el generador y aumenta la velocidad del agua al pasar por él

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



<b>Producción</b>	250 – 5000 W
<b>Dimensiones</b>	Largo: 3130 mm Ancho: 1600 mm Alto: 2010 mm
<b>Velocidad rotacional</b>	90 – 230 rpm
<b>Peso</b>	380 kg
<b>Número de palas del rotor</b>	3
<b>Rotor ø</b>	1000mm

### Especificaciones:

- El generador submarino de imanes permanentes proporciona alimentación de CA
- Inmersiones cuando sube el nivel del agua
- Especialmente adecuado para aguas con escombros pesados
- Sistema ampliable con múltiples turbinas
- Disponible como solución aislada, conectada a la red y versión híbrida
- El volumen de suministro y las especificaciones se pueden adaptar a proyectos especiales
- máx. potencia de salida a 2,8 m/s

### Anclaje en función de:

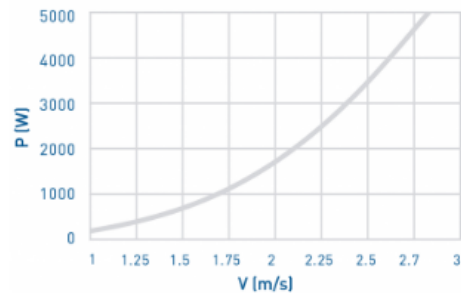
- Características hidrológicas (por ejemplo, tipo de cauce: roca, arena, etc.)
- Tráfico de barcos/kayak/turismo
- Cantidad/tipo de restos flotantes/escombros
- Variación de ancho y profundidad del río.

### Requisitos:

- mín. profundidad del río: 2,0 m
- mín. ancho del río: 2,0 m
- Punto de inyección: máx. 500 metros de distancia de la turbina

### Output curve of the generator

Max. power output at 2,8 m/s



## TRANSMISIÓN GRATUITA SMART

Esta turbina se instala en el lecho del río o canal. Especialmente indicado para su instalación en canales o detrás de centrales hidráulicas tradicionales.

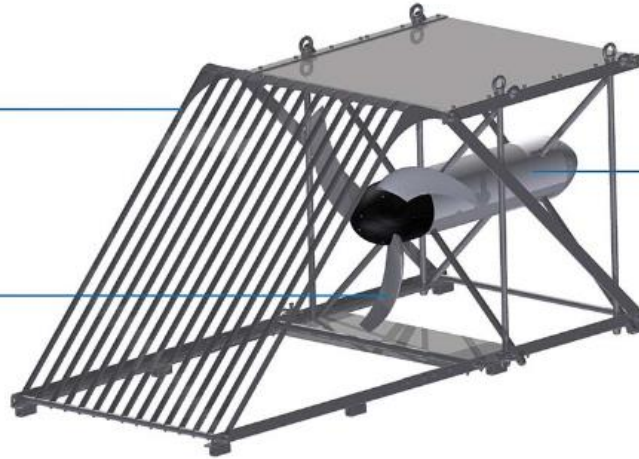
- muy compacto
- suministro de carga base confiable para ubicaciones con menor incidencia de escombros
- casi no requiere mantenimiento

### Protección contra escombros

los cables de acero inoxidable están cuidadosamente diseñados para que los desechos no se acumulen ni dañen las cuchillas

### Rotor

las cuchillas ligeramente curvadas mejoran el rendimiento contra los escombros



### Generador submarino de 5 kW

generador de imanes permanentes que proporciona alimentación de CA trifásica

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Producción	250 – 5000 W
Dimensiones	Largo: 2640 mm Ancho: 1120 mm Alto: 1120 mm
Velocidad rotacional	90 – 230 rpm
Peso	300 kg
Número de palas del rotor	3
Rotor ø	1000mm

### Especificaciones:

- El generador submarino de imanes permanentes proporciona alimentación de CA
- Sistema ampliable con múltiples turbinas
- Disponible como solución aislada, conectada a la red y versión híbrida
- El volumen de suministro y las especificaciones se pueden adaptar a proyectos especiales
- máx. potencia de salida a 3,1 m/s
- La turbina colocada en el fondo del río/canal

### Anclaje en función de:

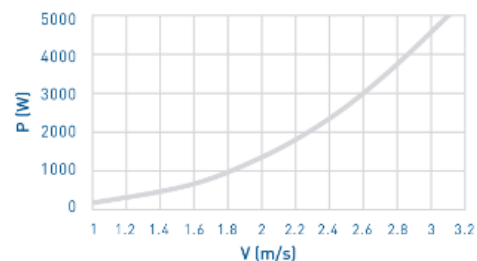
- Características hidrológicas (por ejemplo, tipo de cauce: roca, arena, etc.)
- Tráfico de barcos/kayak/turismo
- Cantidad/tipo de restos flotantes/escombros

### Requisitos:

- mín. profundidad del río: 1,1 m
- mín. ancho del río: 1,2 m
- Punto de inyección: máx. 500 metros de distancia de la turbina

### Output curve of the generator

Max. power output at 3.1 m/s



ANEXO L. Datos de Turbinas Hidro cinéticas HKT.

Fuente (Vecino Vásquez, 2017).



## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Juan Diego Chuquiguanga Sinchi portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105497671. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Gestión de Energía en Microrredes Múltiples en Sistemas de Distribución que incluyen hogares inteligentes con alta penetración de Recursos Energéticos Renovables.” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de Marzo de 2023

F: .....  
Juan Diego Chuquiguanga Sinchi  
0105497671