



# Instituto Politécnico Nacional

---

---

**Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
Sección de Estudios de Posgrado E Investigación  
Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas

**Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas**

## **Metodología Sistémica para la Planificación de Redes Eléctricas Inteligentes en Zonas Rurales de México**

**Presenta:**

**Ing. Berdeja Rocha Edgar Manuel**

**Directores:**

**Dr. Isaías Badillo Piña**

**Dr. Ricardo Tejeida Padilla**



**México CDMX, mayo de 2022**



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 18:00 horas del día 30 del mes de mayo del 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: La ESIME Zacatenco para examinar la tesis titulada:

Metodología sistémica para la planificación de redes eléctricas inteligentes en zonas rurales de México del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	<b>Berdeja</b>	Apellido Materno:	<b>Rocha</b>	Nombre (s):	<b>Edgar Manuel</b>
-------------------	----------------	-------------------	--------------	-------------	---------------------

Número de registro: B 2 0 1 0 1 0

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 4 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI  NO  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

Se revisó la tesis de manera favorable anexando el porcentaje de similitud al implementar la herramienta TURNITIN, dando como concluyente la decisión de aprobar la tesis.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

La tesis cumple con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Posgrado vigente. El sustentante mostró autoría original en la tesis desarrollada.

#### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Director de Tesis  
DR. ISAIAS BADILLO PIÑA

2° Director de Tesis  
DR. RICARDO TEJEIDA PADILLA

DR. JORGE ARMANDO ROJAS RAMÍREZ

DR. JESÚS JAIME MORENO ESCOBAR

DR. OSWALDO MORALES MATAMOROS

DR. JOSÉ MARTÍNEZ TRINIDAD  
I.P.N. PRESIDENTE DEL COLEGIO DE  
SECCION DE ESTUDIOS DE PROFESORES  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
ZACATENCO





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de México el día 30 del mes de mayo del año 2022, el (la) que suscribe Edgar Manuel Berdeja Rocha alumno(a) del programa Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas con número de registro B201010, adscrito(a) a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. Isaías Badillo Piña y el Dr. Ricardo Tejeida Padilla cede los derechos del trabajo intitulado "Metodología Sistémica para la Planificación de Redes Eléctricas Inteligentes en Zonas Rurales de México", al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo: [ing.berdeja.ipn@gmail.com](mailto:ing.berdeja.ipn@gmail.com). Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Edgar Manuel Berdeja Rocha

Nombre completo y firma autógrafa del (de la) estudiante



---

## Agradecimientos

---

**A mi familia por apoyarme en esta etapa de mi desarrollo profesional durante estos años difíciles a nivel mundial que todos estamos pasando a su vez.**

**A la memoria del Dr. Ricardo Peón Escalante con el agradecimiento de motivarme a desarrollar este tema en un principio y darme la oportunidad de trabajar con él en su debido momento.**

**Al Dr. Ricardo Tejeida Padilla por brindar su apoyo, su atención en todo momento de mi estadía del posgrado, igualmente pese a la situación global y por brindar parte de sus conocimientos sin medida para realizar este trabajo de tesis.**

**Al Dr. Isaías Badillo Piña por su paciencia, brindar sus conocimientos y herramientas en materia de energías renovables y ciencia de sistemas para desarrollar el presente trabajo.**

**Al Comité tutorial por que durante mi estadía y en determinados momentos me motivaron y me aconsejaron sobre el desarrollo de mi trabajo.**

**Al Instituto Politécnico Nacional por recibirme con las puertas abiertas de forma apacible para regresar a mi alma mater y concluir una etapa más de mi desarrollo profesional.**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por darme el apoyo durante este tiempo para concluir mi posgrado en tiempo y forma.**



---

## Resumen

---

### Metodología sistémica para la Planificación de Redes Eléctricas Inteligentes en Zonas Rurales de México.

Las fuentes de energías renovables son un tipo de tecnología para producir energía eléctrica sin dañar en gran medida el medio ambiente actualmente, si bien se necesitan procesos de manufactura actualmente con costos algo elevados para producir las tecnologías con las que se fabrican paneles solares o generadores eólicos, es por demás decir que invertir en este tipo de fuentes es redituable y rentable a un plazo mucho más corto a comparación de seguir facturando con redes eléctricas convencionales. Las redes eléctricas inteligentes son un concepto importante en la modernización de las redes de distribución y en la transición hacia las energías renovables junto con temas como el despacho eléctrico inteligente o sistemas de ahorro de energía eléctrica.

Los proyectos de redes eléctricas inteligentes en el país se limitan actualmente debido a la poca legislación, normatividad y solo se aplican en proyectos de grandes empresas. Este tipo de herramientas y tecnologías emergentes pueden ser muy útiles para atacar un problema aun persistente en la república, que es la de la pobreza energética de zonas rurales aisladas. Las redes inteligentes pueden ayudar mucho a mejorar la gestión, ahorro energético y costos de inversión en los proyectos de planeación de sistemas de distribución en zonas rurales y más si este tipo de tecnologías van acompañadas con un modelo adecuado de planificación. En este caso la aplicación de la metodología de sistemas suaves de Peter Checkland se desempeña como una gran herramienta para mejorar la planificación de proyecto de redes eléctricas en zonas aisladas del país bajo un concepto de redes inteligentes. uso de tecnologías de tele gestión, ahorro energético, telecomunicaciones y fuentes de energía renovables

**Palabras Clave:** Redes inteligentes, fuentes renovables, zonas rurales, Metodología de sistemas suaves.



---

## Abstract

---

### Systemic Methodology for the Planning of Smart Grids in isolated villages of Mexico.

The renewable energy sources are a type of technology in order to produce electrical energy without damage the environment, although manufacturing processes are currently required high costs to produce the technologies which solar panels or wind generators. Needless to say, investing in this type of sources is profitable and profitable in a few years in compare to conventional sources that use fossil fuels. The Smart grids are an important concept in the modernization of distribution grids and energy storage.

In Mexico it is not the exception that modern technologies are beginning to be used to make distribution systems intelligent and improve the flexibility of power systems that can interconnect with other power systems or power sources.

Smart grid projects in Mexico are currently limited due to the lack of legislation and regulations and are only applied in projects of large companies and smart corporate buildings. This technologies can be very useful in order to solve problems that is still persistent in the republic, which is energy poverty in isolated villages. The Smart grids can help a lot to improve management, energy storage and investment costs in planning projects for distribution systems in villages and even more so if these types of technologies are accompanied by an adequate planning model. In this case, the application of soft systems methodology help as a great tool to improve the planning of Smart grid projects in isolated villages under a concept of telemanagement technologies, energy storage, telecommunications and renewable energy sources.

**Keywords:** Smart grids, renewable sources, isolated villages, soft systems methodology.



# Índice

Agradecimientos .....	V
Resumen .....	VI
Abstract .....	VII
Lista de Figuras .....	X
Lista de Tablas .....	X
Introducción .....	XI
Contexto-Probleática .....	XIV
<b>Debilidades de los programas de Electrificación Rural en México.</b> .....	XVII
Pregunta de Investigación .....	XVII
Justificación .....	XVIII
Hipótesis .....	XX
Objetivo General .....	XX
Objetivos Específicos .....	XX
Metodología .....	XXI
Matriz de Congruencia .....	XXII
Capítulo 1. Marco teórico-conceptual .....	1
1.1 Sistemas eléctricos de potencia .....	1
1.2 Redes Inteligentes .....	3
1.3 Red eléctrica inteligente .....	5
1.3.1 Arquitectura de Medición Avanzada .....	7
1.3.2 Notificaciones en tiempo real de costos .....	7
1.3.3 Electrónica de Potencia .....	8
1.3.4 Sistemas de Redes de Comunicación .....	8
1.3.5 Gestión de Demanda .....	8
1.3.6 Sistemas de Computación Avanzados .....	8
1.3.7 Coordinación de Protecciones .....	8
1.4 Generación distribuida .....	9
1.4.1 Tecnologías de los sistemas de generación distribuida .....	10
1.5 Medición de la energía .....	11



<b>Capítulo 2. Situación del problema no estructurado y definición del problema expresado (Etapas 1,2 y3) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Introducción .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Ubicación alejada del sistema eléctrico nacional .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Zonas rurales con viviendas dispersadas geográficamente entre sí.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Bajos recursos económicos de los pobladores .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Descomposturas y apagones por falta de mantenimiento a los equipos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6 Definición del problema expresado .....</b>	<b>18</b>
<b>2.7 Definición Raíz de los sistemas involucrados .....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 3. Diseño del Modelo (Etapa 4).....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Introducción .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Modelo conceptual del proceso de Identificación de la zona geográfica y de la comunidad .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 Modelo conceptual del proceso de Identificación de energías renovables .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4 Modelo conceptual para identificación y selección de las tecnologías de Smart grids .....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Modelo conceptual del proceso de análisis del consumo de potencia eléctrica y demanda. ....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Modelo conceptual del proceso de dimensionamiento e instalación del sistema eléctrico.....</b>	<b>31</b>
<b>3.7 Pensamiento sistémico como una herramienta para la gestión de redes eléctricas y energía .....</b>	<b>33</b>
<b>Capítulo 4. Contratación del modelo de planificación de la red (Etapas 5 y 6).....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Introducción.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Contratación del sistema modelado con la realidad .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Análisis de Resultados y discusión .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3.1 Evaluación del uso de tecnologías emergentes en redes eléctricas convencionales de zonas rurales .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Determinación de los cambios factibles del modelo .....</b>	<b>45</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>47</b>
<b>Recomendaciones para Trabajos Futuros .....</b>	<b>49</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>50</b>
<b>Glosario de términos .....</b>	<b>54</b>
<b>Productos Derivados de la Tesis .....</b>	<b>57</b>



## Lista de Figuras

---

Figura 1	Transición de una red eléctrica convencional a una red eléctrica inteligente	XIII
Figura 2	Red eléctrica inteligente propuesta para una casa aislada	XIV
Figura 3	Recibo de CFE para “Comercio de Morelia	XVIII
Figura 4	Sistema eléctrico de potencia convencional	1
Figura 5	Convergencia de ambos sistemas de redes eléctricas	4
Figura 6	Medidor inteligente tipo AMI	12
Figura 7	Situación del problema expresado en una REI.	19
Figura 8	Anomalías en la interacción del proceso de planificación de redes	20
Figura 9	Vivienda con panel solar individual	27
Figura 10	Sistema de módulos solares para varios usuarios	27
Figura 11	Conexión de los elementos de un sistema con energía renovable	28
Figura 12	Conexión de los elementos del sistema con tecnologías con componentes inteligentes	29
Figura 13	Modelo general del proceso de puesta en servicio del sistema eléctrico	31
Figura 14	Diagrama de lazo cerrado del proceso de puesta en servicio	32
Figura 15	Metodología propuesta para planificar redes eléctricas inteligentes con enfoque sistémico	41

---

## Lista de Tablas

---

Tabla 1	Comparativa de generación y consumos reales de potencia en un negocio local	XVII
Tabla 2	Tecnologías para generación distribuida	10
Tabla 3	Comparación de modelo actual contra modelo propuesto	39
Tabla 4	Flujo de caja sin subsidio	43
Tabla 5	Flujo de caja con subsidio federal	44



---

## Introducción

---

Este trabajo de investigación propone una metodología diseñada que proporcionara una alternativa a los procesos de electrificación de las zonas rurales que existen en la república mexicana, los objetivos de este trabajo de investigación son encontrar la forma más óptima de llevar la electricidad a las zonas marginadas e introducir en estos sectores tecnología nueva para brindarles un servicio de calidad de suministro y de distribución óptimo mediante el uso de herramientas de las redes eléctricas inteligentes.

Se utiliza un enfoque sistémico para implementar las redes eléctricas inteligentes (también conocidas por su abreviatura REI) y utilizar sus bondades tecnológicas para solucionar los problemas de corte de energía de las zonas rurales. La metodología está diseñada bajo un enfoque sistémico para llevar a cabo una planeación estratégica al momento realizar proyectos de electrificación en zonas rurales con fuentes de energías renovables. Así mismo servirá también para solucionar los problemas que ya existen en las redes eléctricas de las zonas rurales y que no se atienden.

Hoy en día se abordan el uso de tecnologías más modernas para mejorar los sistemas actuales. Esta innovación tecnológica se ha mostrado como una forma alternativa de diseñar redes eléctricas inteligentes que se encarguen de la gestión y tomen decisiones sobre el uso de la energía. México no está exento de esta tendencia, pues también se verá obligado en un futuro a modernizar sus redes eléctricas convencionales mediante implementación de tecnologías de “redes eléctricas inteligentes”.

El uso de la electricidad es un derecho en la república mexicana y el gobierno tiene el deber de cumplir con su plan maestro de obras para llevar electricidad a zonas alejadas y de esta manera disminuir la pobreza energética. Estos planes de obra que se establecen cada año por parte de los organismos gubernamentales, tales como la secretaria de Energía, la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Reguladora de Energía; estos planes se alinean a la normatividad y leyes vigentes



en materia de energía eléctrica. Actualmente el marco regulatorio y normativo del país fomenta la participación de la industria privada para colaborar con la CFE en el plan de realizar proyectos de electrificación en pueblos del territorio mexicano que más lo necesiten, así como también en ciertos puntos de áreas urbanas donde requieren energías renovables. Este tipo de licitaciones de proyectos de obra eléctrica permite a las empresas privadas a desarrollar un proyecto tecnológico en un espacio determinado de concesión por un lapso de tiempo que previamente establecen en las negociaciones por contrato y de esta manera ser el único actor inversionista que obtendrá ganancias económicas de este proyecto; la empresa que gana la concesión es responsable por la construcción, gestión y mantenimiento de todos los equipos instalados y de la infraestructura eléctrica de la red; obteniendo las facturas de todos los habitantes del área concesionada en función a su consumo de energía eléctrica a una tarifa de usuario que establece un organismo federal, en este caso la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Estos proyectos de electrificación son operados y atendidos de forma óptima en las ciudades, pero no así en las zonas rurales o aisladas.

En las zonas aisladas de México, las viviendas de las personas se encuentran alejadas y separadas una de las otras; esto provoca que la tarifa en los recibos sea muy alta a comparación en las ciudades, para cubrir los costos de inversión, operación y mantenimiento; haciendo que los proyectos no sean tan rentables.

Las mejoras hacia el futuro tienen como objetivo lograr sistemas autosustentables y con mayor ahorro de energía, sin mencionar la mitigación de emisiones de gases.

Para lograr la actualización tecnológica de la red tradicional a una red del tipo inteligente se necesita implementar más fuentes de energía renovable distribuidas para tener una topología de red más moderna y autosustentable (Wissner,2011). Durante el desarrollo de la metodología sistémica a realizar en este trabajo, se utilizará un caso en el que, mediante la ingeniería de sistemas, se obtenga una alternativa bien justificada sobre el uso de redes inteligentes para suministrar energía eléctrica a zonas de difícil acceso. Una REI posee herramientas digitales y tecnología para obtener información de las redes eléctricas y cuya información recopilada hará que las redes funcionen correctamente.



Actualmente, el espectro de “Red Eléctrica Inteligente” (conocida también como Smart Grid) es un término que se utiliza más en contexto de venta y marketing en lugar de un contexto de ingenierías (IEC, 2018). El concepto correcto es que una REI es un sistema eléctrico en baja o media tensión con instrumentos y herramientas para gestionar datos, energía, operaciones a larga distancia (tele gestión y telecomunicaciones) y automatización, con el fin de mejorar su capacidad de acoplarse con gran flexibilidad con las fuentes de energía renovables en sistemas de generación distribuida, bajo impacto ambiental, así como nueva forma de negociar la energía eléctrica (Falcao, 2018).

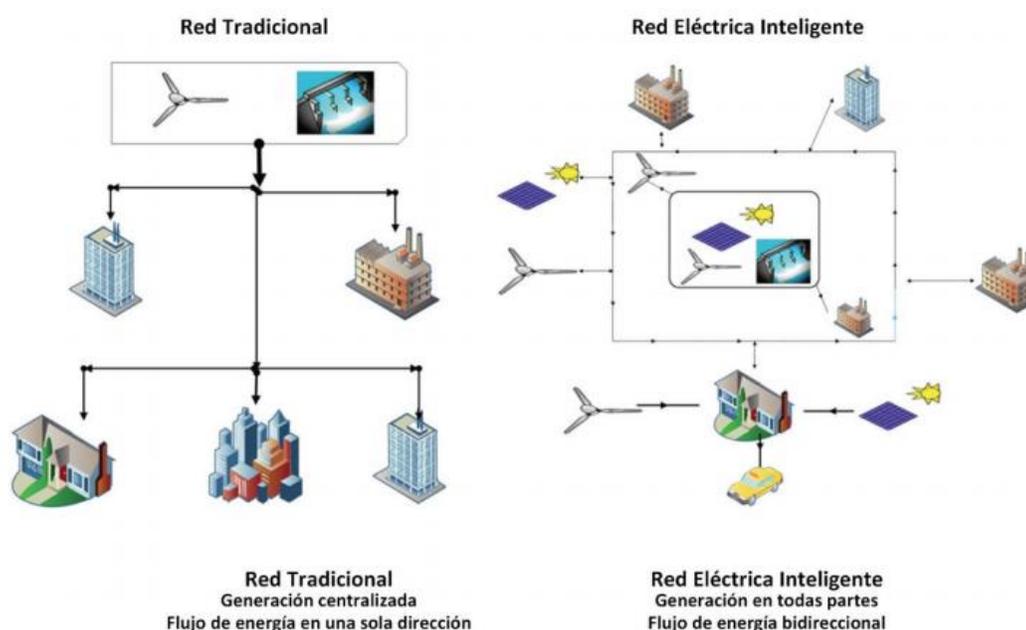


---

## Contexto-Problemática

---

Las redes eléctricas inteligentes poseen la capacidad de mejorar la conectividad, la automatización y el control de las redes de distribución. También puede proporcionar una oportunidad para mejorar la integración a la red de fuentes de generación renovable (Quintana y Granadeth, 2012). En la Figura 1 se observa de forma gráfica la comparación entre dos topologías de redes, se remarca de la diferencia de las redes eléctricas convencionales que tenemos en México actualmente, en comparación con la forma de la red inteligente, como un ejemplo de la transición obligada a mejoras tecnológicas en materia de domótica.



*Figura 1.- Transición de una red eléctrica convencional a una red eléctrica inteligente (tomado de [León et al., 2019]).*

Como se puede reflexionar, la manera factible de suministrar potencia a los poblados es a través de fuentes de energía renovables, ya sean con sistemas fotovoltaicos a nivel casa-habitación o conectados a un sistema eléctrico con fuente de generación renovable específica para esa comunidad.



De acuerdo a la secretaria de Energía en México, “la cantidad de personas sin acceso a electricidad aumentaría en 20 % en los siguientes 10 años “(SENER, 2017).

En la Figura 2 se visualiza el sistema de una REI con sus elementos interconectados a nivel casa-habitación y su conexión con la fuente de energía renovable.

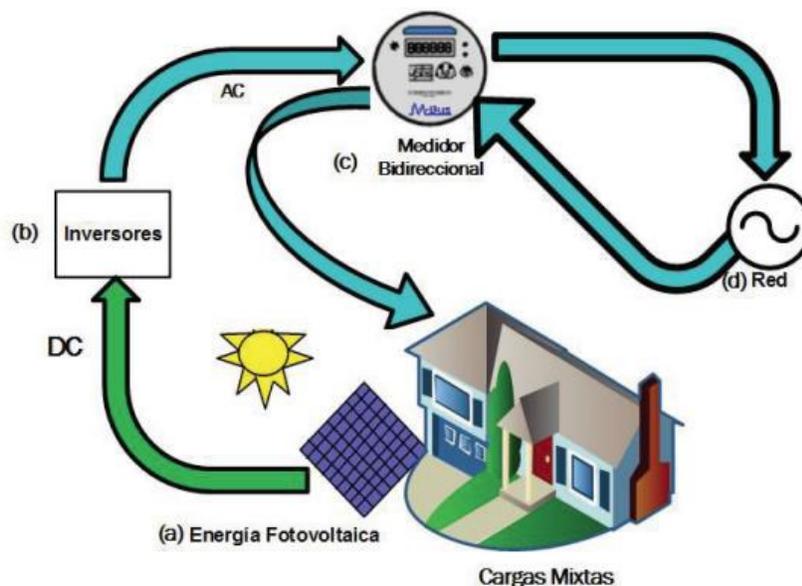


Figura 2.- Red eléctrica inteligente propuesta para una casa aislada (tomado de [Pereira, 2019]).

Los sistemas de generación distribuida en conjunto con las redes inteligentes representan una opción para mejorar todo el proceso de generación, distribución y almacenamiento de energía a pequeña escala en zonas rurales (León et al., 2019).

El país visualiza una tendencia hacia utilizar mejores tecnologías en el futuro, por lo que necesita de la interconexión de arreglos fotovoltaicos a la red, esto sería una oportunidad de agregar elementos inteligentes a la red, con el fin de mejorar las condiciones de las redes en los poblados alejados

De acuerdo al plan nacional de desarrollo del periodo 2013-2018, en materia de energía eléctrica, se mencionan las redes eléctricas inteligentes como una *alternativa para mejorar flexibilidad de sistemas* (PND, 2013). Y es hasta el plan del

periodo 2019-2024 donde se abordan como una “*necesidad de transición de modernizar las redes eléctricas desde transmisión hasta distribución*” (PND, 2019).

En el país aumentan tanto la demanda de energía como la población de los pueblos y eso hace que las necesidades de electrificarlas sea una prioridad para los organismos pertinentes. En el 2017 se planearon proyectos para llevar electricidad alrededor de 200 mil mexicanos (SENER, 2017). Los datos emitidos en el 2017 por la secretaria de energía fueron que hay poco más de 700 localidades en al menos 10 estados de la república mexicana que serían prioridad de atender debido a que no tienen electricidad. Entre las principales causas de la carencia de energía eléctrica en zonas rurales destacan:

- Ubicación alejada del sistema eléctrico nacional, entorpeciendo proyectos de interconexión.
- Zonas rurales con casas alejadas entre sí.
- Carencia económica en las familias del lugar.

Tomando lo que dicta la ley general de desarrollo social, que enuncia el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) es importante incluir como indicador de pobreza y problema social la falta de electricidad. El efecto de esta carencia implica que no se tenga algún producto o bien económico que satisfaga las necesidades humanas como lo pueden ser:

- i) Luminarias
- ii) Multimedia
- iii) calefacción
- iv) Refrigeración de alimentos
- v) Telecomunicaciones

Suministrar energía en zonas con pobreza energética promueve y provoca una cadena de acontecimientos que mejoran las condiciones de vida de los lugareños, además de disminuir el rezago tecnológico en México, sin mencionar que el aprovechamiento de la energía eléctrica también trae efectos positivos en la economía del lugar y se mejoran sus centros de salud (Mendieta y Escribano, 2015). En definitiva, la electrificación rural trae consigo la creación de actividades



industriales en las zonas rurales que contribuye a la reducción de la pobreza en ese lugar.

#### Debilidades de los programas de Electrificación Rural en México.

Distintas empresas contratadas y dirigidas por CFE han llevado a cabo proyectos de instalación de granjas solares para suministrar energía en zonas de difícil acceso, pero no suelen tener gran eficiencia y en algunos presentan muchas fallas. Los problemas que presentan al final de los proyectos son que los pobladores no ven cubiertas sus necesidades, en ocasiones por sobredimensionamiento, lo que provoca que no exista una tarifa justa. Otra de las debilidades es que el mantenimiento de los diversos equipos tiene costos económicos altos y en ocasiones no se les puede realizar inspecciones por un experto debido a que la zona es muy alejada. En muchos de estos casos los pobladores se vuelven a quedar sin energía. Por las debilidades previamente mencionadas, se ha optado por la electrificación rural aislada y que contenga estudios en paralelo sobre el impacto social y económico de la zona rural. El proceso de electrificación en zonas marginadas debe realizarse con estudios socioeconómicos y buscar una metodología con enfoque sistémico para implementar tecnologías nuevas que disminuyan las debilidades y aumente las fortalezas de los proyectos.

### Pregunta de Investigación

¿Cuáles son los componentes e interrelaciones que conforman un constructo dinámico para planificación de redes eléctricas inteligentes en zonas rurales de México?



---

## Justificación

---

Este trabajo de investigación es relevante en materia de energía y desarrollo social porque aborda un problema que afecta a millones de personas, de las cuales más del 50% de esa población están en zonas rurales aisladas en México (Banco Mundial, 2017), y mediante la ciencia de sistemas se está proponiendo una metodología sistémica para utilizar tecnologías emergentes para los proyectos de electrificación de zonas rurales o marginadas.

La actual situación en el ámbito de la energía eléctrica en la república y la necesidad de generar energía eléctrica con fuentes renovables requiere de la interconexión de arreglos con redes inteligentes.

Como ejemplo de factibilidad de una red eléctrica inteligente, se presenta un estudio de consumo real de un comercio de Michoacán (León et al., 2019). En la Tabla 1 se muestra la generación real, que representa la potencia que se gestiona al utilizar una red inteligente, mientras que el consumo real es la potencia sin el uso de redes eléctricas inteligentes en el periodo febrero 2015-junio2016.

En base a lo expuesto en (León et al., 2019), la potencia consumida en el periodo fue exactamente de 1781 kWh, mientras que la generación acumulada fue de 1584 kWh, lo que representa una diferencia de 12.3 kWh mensuales.

*Tabla 1.- Comparativa de generación y consumos reales de potencia en un negocio local.*

Periodo	9feb-9abr 2015	9abr-9jun 2015	9jun-9ago 2015	9ago-9oct 2015	9oct-9dic 2015	9dic 2015-9feb 2016	9feb-9abr 2016	9abr-9jun 2016
Generación Real [kWh]	149	125	145	212	230	249	242	232
Consumo Real [kWh]	151	166	194	272	264	242	256	236

Posteriormente en la Figura 3a se presenta una factura de CFE que corresponde al periodo de los meses diciembre-febrero del año 2015, con un consumo de 267kWh, tarifa tipo 02 de 3 hilos, una facturación de \$1018.00 MN, un promedio diario de 4.23 kWh de consumo a un costo de \$16.15 MN. Esta facturación se realizó antes de instalar tecnologías de Smart grids en el negocio aislado del poblado de Michoacán. A finales de enero de 2015 se instalaron 6 módulos en serie marca *Solartec* modelo



S60MC-250 de 250 watts y un inversor *Fronius Galvo* de acuerdo al estudio de (León et al., 2019).

En la imagen se pueden visualizar los costos de consumo y el ahorro que representa el uso de las tecnologías de las redes eléctricas inteligentes en un pequeño local, que, si bien el estudio no es un lugar totalmente marginado, pero está situado en provincia, como un ejemplo de generación distribuida a nivel casa-habitación.



Figura 3.- Recibo de CFE para “Comercio de Morelia”: a) sin el uso de módulos inteligentes y b) después de instalar el arreglo fotovoltaico y módulos inteligentes. (tomada de [León et al., 2019]).



## Hipótesis

La mejora en la implementación de redes eléctricas inteligentes en zonas rurales en función de los componentes e interrelaciones de una metodología sistémica de planificación.

## Objetivo General

Diseñar una metodología para implementar tecnologías dentro del concepto de redes eléctricas inteligentes que puedan ser utilizadas en las obras de electrificación de zonas marginas en México, con un beneficio superior a las formas de planificación y soluciones en redes eléctricas convencionales de la actualidad.

## Objetivos Específicos

- Identificar las potenciales tecnológicas, en el margen del concepto de “red eléctrica inteligente”, que puedan ser implementadas para mejorar la electrificación rural actual en México.
- Identificar a los actores y entidades interpretar las interrelaciones del sistema bajo estudio.
- Definir las raíces de los sistemas relevantes
- Integrar los sistemas e interrelaciones relevantes en un constructo de planificación de redes eléctricas inteligentes.
- Comparar el constructo contra la forma actual de llevar a cabo proyectos de electrificación rural.



---

## Metodología

---

El objetivo de este trabajo académico es diseñar una metodología con enfoque sistémico para mejorar el proceso y el desarrollo de implementar una red eléctrica inteligente en una aislada con todas las tecnologías y características de una micro red para suministrar energía eléctrica a nivel local.

El presente trabajo académico describe las características, componentes y los actores que intervienen en la implementación de este tipo de redes.

Se emplea la Metodología de Sistemas Suaves creada por Peter Checkland (Checkland,1981) para proporcionar un enfoque sistémico que solucione el problema de electrificación rural mediante el uso de energías renovables, así como solucionar diversos problemas en la intervención de la organización por parte de la administradora de proyectos y del usuario.

La metodología de Peter Checkland fue elegida por que proporciona las herramientas necesarias para abordar problemas de carácter social que se involucran en el planteamiento de la problemática. Una vez analizados los equipos y herramientas que componen las redes eléctricas inteligentes se busca implementar la metodología para la mejora de la gestión y operación de la red eléctrica inteligente.



## Matriz de Congruencia

TITULO	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	SOPORTES TEORICOS-CONCEPTUALES	METODOLOGIA
<p><b>“Metodología Sistémica para la Planificación de Redes Eléctricas Inteligentes en Zonas Rurales de México”</b></p>	<p>¿Cuáles son los componentes e interrelaciones que conforman un constructo dinámico para planificación de redes eléctricas inteligentes en zonas rurales de México?</p>	<p>¿Qué tecnologías dentro del concepto de redes eléctricas inteligentes pueden utilizarse en la electrificación rural?</p> <p>¿Qué actores y entidades se relacionan en la planificación de redes eléctricas inteligentes?</p> <p>¿Qué estrategias pueden ser utilizadas para mejorar la electrificación rural en México?</p>	<p>El desarrollo en la comunidad por la mejora en la implementación de redes eléctricas inteligentes en zonas rurales es función de los componentes e interrelaciones de una metodología sistémica de planificación.</p>	<p>Diseñar una metodología para implementar tecnologías dentro del concepto de redes eléctricas inteligentes que puedan ser utilizadas en las obras de electrificación de zonas marginas en México, con un beneficio superior a las formas de planificación y soluciones en redes eléctricas convencionales de la actualidad.</p>	<p>Identificar las potenciales tecnológicas, en el margen del concepto de “red eléctrica inteligente”, que puedan ser implementadas para mejorar la electrificación rural actual en México.</p> <p>Identificar a los actores y entidades interpretar las interrelaciones del sistema bajo estudio.</p> <p>Definir las raíces de los sistemas relevantes</p> <p>Integrar los sistemas e interrelaciones relevantes en un constructo de planificación de redes eléctricas inteligentes.</p> <p>Comparar el constructo contra la forma actual de llevar a cabo proyectos de electrificación rural.</p>	<p>Sistemas eléctricos de potencia</p> <p>Redes inteligentes</p> <p>Sistemas de Redes eléctricas inteligentes</p> <p>Generación distribuida</p>	<p>Metodología de Sistemas Suaves</p>

---

## Capítulo 1. Marco teórico-conceptual

---

### 1.1 Sistemas eléctricos de potencia

Un sistema eléctrico de potencia es una aquella red de componentes eléctricos instalados con una infraestructura a gran escala que tiene como objetivo suministrar, transferir y utilizar la energía eléctrica. Los sistemas eléctricos de potencia son un sistema que consta de 4 etapas principales: generación, transmisión, distribución y comercialización, todas encargadas de llevar la energía al usuario final (Bolivia y Montoya, 2018). En la Figura 4 se muestran estas etapas en conexión de forma lineal y que conforman un sistema eléctrico de potencia como el que existe en México.



*Figura 4.- Sistema eléctrico de potencia convencional (tomado de [Bolivia y Montoya, 2018]).*

Dentro de las etapas mencionadas se encuentran diferentes equipos y componentes de infraestructura como los generadores, transformadores, líneas de transmisión, equipos de medición y control, etc. Las normativas que regulan la calidad indican que los niveles de tensión y frecuencia que deben estar dentro de los parámetros normalizados, que el servicio de suministro de energía eléctrica sea ininterrumpido, que la forma de onda senoidal sea sin distorsión y de la mejor calidad posible, entre otros. La *demanda* es la potencia eléctrica que requieren los usuarios en función de sus aparatos, equipos y ritmo de vida en conjunto con las tecnologías diarias, esta es controlada por las subestaciones de potencia determinadas.

En la Figura 4 se muestra al principio la etapa de generación que compuesta principalmente por las plantas de generación de energía eléctrica. En esta etapa podemos encontrar una máquina eléctrica llamada “*generador*” que es el encargado de convertir una forma de energía mecánica, obtenida de recursos naturales (tales como energía hidráulica, geotérmica, eólica, solar, etc.) en energía eléctrica. La generación de energía se produce en determinados niveles de tensión que pueden oscilar entre los valores de tensión de 10 kV y 40 kV. Las centrales eléctricas se encuentran lejos de las ciudades y necesitan de una subestación elevadora de tensión, que en el caso de México se pueden encontrar comúnmente subestaciones de potencia elevadoras de 400 kV.

Posteriormente se encuentra la etapa de transmisión y está compuesta principalmente por los transformadores elevadores de tensión y las líneas de transmisión. La transmisión se lleva a cabo en niveles de tensión elevados (100kV, 220 kV, 400 kV), cuyas subestaciones eléctricas de potencia tienen la función de reducir o elevar el nivel de tensión.

En la etapa posterior encontramos la de distribución, que es la encargada de distribuir la energía eléctrica hacia las ciudades o industrias después de ser transportada por las líneas de alta tensión de transmisión. Esta distribución se realiza a niveles de tensión que varían de 10 kV a 220/127 V. Para garantizar a los usuarios finales en la etapa de utilización un servicio de calidad y que el suministro de energía se cumpla, el organismo encargado es la Comisión federal de electricidad.

Para lograr que el sistema eléctrico de potencia funcione de forma óptima, desde su creación se ha necesitado de inversiones muy significativas para un desarrollo e innovación continua.

La manera más adecuada para proporcionar mantenimiento al sistema eléctrico nacional es implementar tecnologías modernas, emergentes, y mejoras en el tipo de arquitectura de redes de distribución eléctricas.

Las fuentes de generación renovables sustituyen la generación a través de la quema de combustibles fósiles y la contaminación que estas emiten. La generación



distribuida es más eficiente suministrando electricidad en los puntos estratégicos cercanos a donde se encuentran las cargas y puede suministrar energía más eficiente que los métodos convencionales (Vicini, 2009).

Los sistemas eléctricos del futuro deben evolucionar y acoplarse en conjunto a las tecnologías que sean emergentes en el momento y a la par cumplir con la normatividad ambiental vigente de su tiempo. Esto último incentiva que los sistemas de distribución cambien también. Las redes dejan de ser pasivas para pasar a ser redes activas, siendo su principal objetivo establecer una conexión eficiente entre las fuentes de energía y los consumidores, de esta manera se puede tener una mejor gestión del uso de la electricidad y también de su mantenimiento.

## 1.2 Redes Inteligentes

La red eléctrica está en constante transformación, esta transformación es causa de la pauta de mejorar la eficiencia energética y aumentar la sustentabilidad, donde la transición a un sistema eléctrico que no afecte el medio ambiente sea importante. Actualmente la red eléctrica se encuentra en un estado de austeridad que podría ser un problema para modernizarse. Por ello es importante invertir y buscar metodologías para modernizar las redes eléctricas convencionales en los proyectos de electrificación. El aumento del uso de la electricidad a nivel mundial junto con los grandes desafíos de mitigación de huella ecológica demanda una mejor infraestructura de la red eléctrica del mundo. El diseño de las redes eléctricas actuales fue creado en un contexto distinto al actual, pues antes la electricidad era más barata de producir y existían menos cargas complejas conectadas a la red. Antes el único objetivo era distribuir la energía simplemente.

El uso de fuentes de energía renovable es inevitable, la eficiencia en la potencia consumida por el usuario al final de toda la cadena del suministro será algo que se imponga siempre, la relevancia de usos no-convencionales tales como de autos y trenes eléctricos será sustancial, los electrodomésticos inteligentes estarán conectados a la inteligencia artificial de las redes eléctricas, etc. Estos procesos están ya ocurriendo actualmente y tomarán gran relevancia en los próximos años,





- El transporte eléctrico, que en un futuro representará esa combinación de almacenamiento y producción de energía mientras ayuda en la movilidad de los seres humanos jugará un papel importante debido a su capacidad de almacenamiento de energía; dando lugar a un nuevo modelo de negocio en el mercado eléctrico en el cual invertir e investigar.
- La generación renovable distribuida actual y la que en el futuro existirá, permitirá que se instalen y utilicen con mayor facilidad y frecuencia para disminuir costos económicos y mejorar la flexibilidad.
- El desarrollo de modelos para compensación económica y energética dando lugar a que los usuarios puedan producir y consumir la energía a disposición y con un control determinado.
- Los dispositivos y aplicaciones, incluidos los sistemas de alumbrado eficiente, permitirán la reducción del consumo de energía y la gestión activa de la demanda de potencia en los distintos niveles de usuarios.

Todas estas medidas permitirán a las empresas y a los ciudadanos y administraciones públicas optimizar sus servicios y sus recursos.

### 1.3 Red eléctrica inteligente

La red eléctrica se ha convertido en un sistema extenso y muy complejo de analizar. Sin embargo, en la etapa del sistema de distribución se encuentra la centralización de las cargas eléctricas, por lo que la infraestructura moderna para su gestión es importante. En el caso de la generación eléctrica centralizada, con cargas que corresponden a nodos de suministro que no poseen equipos modernos y que en la actualidad se comienzan a implementar parece que están dando resultados positivos. Sin embargo, con el surgimiento de tecnologías de almacenamiento de energía y de generación eléctrica han tenido como consecuencia sistemas bidireccionales.

En la actualidad no existe una única definición que incluya todo el concepto de lo que es una Red Inteligente, a causa de los avances nuevos en tecnologías de equipos que surgen cada día, además de que siguen apareciendo nuevas



aplicaciones y funcionalidades que hacen de este concepto algo diferente con el paso del tiempo (BID, 2016).

Una definición más simple que puede verse atemporal es la siguiente:

*“Redes inteligentes son el conjunto de tecnologías, regulación y reglas de mercado que son requeridas para direccionar los retos a las redes eléctricas que serán expuestas en una vía rentable”.*

En otras palabras; es una nueva tecnología para enfrentar los problemas de las redes convencionales actuales, esta definición es utilizada por los Reguladores Energéticos Europeo (EER) y la Comisión Europea (EC).

La red inteligente puede ser definida como un sistema eléctrico que usa información, en dos vías, ciber-seguridad en tecnologías de la comunicación e inteligencia computacional, en una forma integrada a través de generación eléctrica, transmisión, subestaciones, distribución y consumo para lograr un sistema que sea seguro fiable, eficiente y sustentable.

Existen muchas definiciones sobre el concepto de redes eléctricas inteligentes (REI's), una definición concreta es visualizando el sistema eléctrico como un todo, tomando en cuenta sus interrelaciones entre sus subsistemas, pero sin desfragmentarlo del todo. Este no es termino muy detallado del concepto de Smart grids, el gran conflicto de las Smart grids es que contienen múltiples elementos que resultan muy complicado englobar en una sola definición puramente técnica en qué consisten estas redes. Es mejor desfragmentarlo en múltiples subsistemas partes y abordar en los detalles de estos últimos. Otra definición que también es muy común de encontrar conceptualizarla como la convergencia de tecnologías digitales que pueden intervenir como instrumentos en las etapas de generación y transmisión, así como intervenir en el trayecto del buz y finalizar en los medidores de energía. Esto incluye intervenir en los equipos que se encargan de medir parámetros eléctricos, como el ángulo de fase, corrientes parasitas, niveles de tensión, VAr, y automatización de la red. Las redes inalámbricas de área personal (WPAN)<sup>1</sup> están



involucradas también dentro del concepto de las redes eléctricas inteligentes (Bolivar,2012).

Principales elementos que conforman las REI's:

- Arquitectura de medición avanzada
- Notificaciones en tiempo real de costos de facturación de la energía
- Electrónica de potencia
- Gestión de la demanda
- Sistemas de redes de comunicación
- Generación distribuida

#### 1.3.1 Arquitectura de Medición Avanzada

Usualmente incluye el control y monitoreo de los dispositivos y aparatos dentro de las instalaciones del consumidor. Esta tecnología permite una comunicación de doble vía con el cliente.

#### 1.3.2 Notificaciones en tiempo real de costos

El precio de la electricidad varía en diferentes momentos del día y según la estación del año. Los operadores del sistema eléctrico presencian picos altos de demanda en los días calurosos de verano, esto es algo que desconocen la mayoría de los consumidores. Solamente un pequeño número de grandes consumidores reciben información una hora por adelantado del precio de la energía. La mayoría de los consumidores, especialmente los residenciales, pagan una factura eléctrica en base a un promedio de los precios de electricidad que ellos en realidad usaron dentro de un periodo determinado. Un mes después reciben una factura que proporciona poca orientación de cómo usar la electricidad de una manera eficiente.

El acceso a los precios en tiempo real ayudaría a los consumidores a usar menos energía ya que entenderían que el costo de transportar la misma es muy variable y dependiente del estado de "congestionamiento" de las redes (Vicini,2009).



### 1.3.3 Electrónica de Potencia

Permite el uso de controles muy rápidos para canalizar los flujos de carga y reducir pérdidas en congestión de redes, e interruptores más eficientes para mejorar la localización y predicción de fallas.

### 1.3.4 Sistemas de Redes de Comunicación

Ayudan a manejar las cargas de manera remota y rentable sea desde una sola localización o de manera inteligente en múltiples localizaciones. Las cargas pueden ser las del sistema eléctrico en sí, o de usuarios individuales como lo son los residenciales, comerciales e industriales.

### 1.3.5 Gestión de Demanda

Es un término utilizado para sistemas que permiten a los usuarios recibir información en tiempo real de los precios de la electricidad y el usuario tiene la posibilidad de reducir su carga consumida.

Minimizando la demanda a través del uso eficiente de la energía y respuesta de la demanda significa que el tamaño de la generación o capacidad de almacenamiento local se puede minimizar, manteniendo los costos bajos (Vicini,2009).

### 1.3.6 Sistemas de Computación Avanzados

Estos permiten que sea posible la utilización de la infraestructura de medición avanzada, manejo de señales de precios en tiempo real, y el control de la demanda.

### 1.3.7 Coordinación de Protecciones

La integración de generación distribuida y sistemas flexibles de transmisión en corriente alterna afecta el funcionamiento de las protecciones. Ocurren operaciones indebidas de las mismas al ocurrir fallas, variaciones de potencia de las fuentes de energía renovables, tales como la generación eólica, y el control de los FACTS



## 1.4 Generación distribuida

En el ámbito de la generación de energía eléctrica centralizada se ha tenido que innovar las tecnologías y equipos que cambian la red eléctrica convencional a un nuevo modelo de sistema eléctrico capaz de producir energía eléctrica también con la capacidad de tener flujos de potencia bidireccionales.

Como ya se mencionaron anteriormente las características de una red eléctrica inteligente, estas herramientas nuevas pueden ser implementadas en redes convencionales actuales o implementar desde cero en un sistema eléctrico de distribución que está por construirse por primera vez y que estas herramientas proporcionarían mejoras en la comunicación y control de redes, planificación eficiente de instalaciones eléctricas y un control en generadores y nodos de cargas.

La generación distribuida es un cambio notable para los sistemas actuales de generación eléctrica centralizada que se encuentran en México. La definición de generación distribuida puede expresarse como aquellos sistemas de generación eléctrica de pequeña potencia que se encuentran distribuidas en el área geográfica del sistema eléctrico principal (Gascó,2013).

Hay que agregar además que un organismo como el *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) aborda la siguiente definición para la generación distribuida: “Generación distribuida es el tipo de generador de electricidad llevada a cabo por instalaciones en pequeña escala a comparación con las centrales generadoras, con el fin de permitir la interconexión en casi cualquier punto del sistema eléctrico de potencia” (EPRI,2000).

Otra definición establecida por el *International Council on Large Electricity Systems* (CIGRE) es la siguiente: “Generación distribuida son aquellas unidades de generación con una capacidad máxima de 50MW a 100MW, que se interconectan usualmente a la red de distribución” (Dondi & Bayoumi, 2002).

Los beneficios de implementar sistemas de generación distribuida se pueden destacar como:



- Mejora en la eficiencia energética de las instalaciones eléctricas
- Reducción de costo de transporte de energía eléctrica
- Reducción de pérdidas eléctricas o potencia reactiva
- Desarrollo de sistemas flexibles
- Impacto ambiental y social que mejoraran las condiciones de vida de pequeños poblados.

Actualmente, las fuentes de generación distribuida son un pilar importante para sostener el desarrollo de la infraestructura del sistema eléctrico nacional, sus tecnologías utilizan recursos renovables que disminuyen los daños a la contaminación aérea y deterioro de los ecosistemas en gran medida, entre estas tecnologías podemos mencionar las siguientes:

- Granjas de generadores eólicos
- Parques de celdas fotovoltaicas
- Generadores eléctricos que funcionan con vapor

#### 1.4.1 Tecnologías de los sistemas de generación distribuida

Las tecnologías que actualmente podemos encontrar en México se pueden clasificar en dos tipos: Tecnologías que utilizan hidrocarburos y los que utilizan fuentes de energía renovable (Sánchez, 2016).

En la Tabla 2 se encuentran algunas de las tecnologías disponibles de generación distribuida y su capacidad de potencia disponible por cada módulo (Ackerman & Andersson, 2000).

*Tabla 2.- Tecnologías para generación distribuida (tomado y adaptado de [Sánchez,2016])*

<b>Tecnologías</b>	<b>Potencia nominal disponible por módulo</b>
<b>Turbinas de gas de ciclo combinado</b>	35 – 400 MW
<b>Motores de combustión interna</b>	5 kW – 10 MW
<b>Micro turbinas</b>	35 kW – 1 MW
<b>Turbinas de combustión</b>	1 – 250 MW



<i>Renovables</i>	
<b>Hidroeléctricas de pequeña escala</b>	1 – 100 MW
<b>Micro hidros</b>	25 kW – 1 MW
<b>Turbinas eólicas</b>	200 watt – 3 MW
<b>Parques de celdas solares fotovoltaicas</b>	20 watt – 100 kW
<b>Generadores a base de biomasa</b>	100 kW – 20 MW
<b>Celdas de combustible, ácido fosfórico</b>	200 kW – 2 MW
<b>Celda de combustible, intercambio de protones</b>	1 kW – 250 kW
<b>Motor “Stirling”</b>	2 – 10 kW

### 1.5 Medición de la energía.

Para la medición y monitoreo principal de la energía eléctrica suministrada y demandada por el usuario es necesario implementar una de las tecnologías importantes de las redes eléctricas inteligentes que es el medidor inteligente, que es un tipo de instrumento de medición que, aparte de medir la demanda de energía y la potencia utilizada de forma detallada, puede aportar otras funciones y herramientas digitales a la instalación eléctrica de la casa o edificio en donde se implementará la REI.

De acuerdo a sus funciones, los medidores inteligentes se clasifican en dos grandes grupos: AMR y AMI.

Los del tipo *AMR (Automatic Meter Reading)* son utilizados para la medición a distancia de parámetros. En este tipo de medidores inteligentes, el medidor es un componente pasivo en la red con comunicación unidireccional, que solo permite tomar lectura de la energía consumida de forma remota y enviar los datos a la compañía distribuidora y/o comercializadora, para su facturación posterior (FUNSEAM,2013).

En cambio, los medidores del tipo *AMI (Advanced Metering Infrastructure)* también tienen las funciones para realizar tele gestión. Su comunicación es de tipo bidireccional y puede realizar tanto lectura de energía consumida como funciones



de corte de suministro de la misma. En la Figura 6 se muestra el modelo de medidor inteligente que se han instalado actualmente en el país.



Figura 6.- Medidor inteligente tipo AMI (tomado de [Gómez et al.,2015]).

Con ayuda de estos medidores inteligentes ahora se permite la creación de nuevos servicios como la gestión de energía y datos. Esta es una de las razones que, a partir de la reforma energética en México de principios del 2014, se comenzó a implementar el cambio de medidores análogos por medidores de este tipo, siendo este el primer paso para abordar las redes eléctricas inteligentes.

La infraestructura de medición avanzada de la energía incluye tres áreas fundamentales. Además del hardware del medidor, también debe incluirse la infraestructura de comunicaciones, conocida en inglés como *Meter Communication Infrastructure (MCI)*, y el sistema de análisis de datos llamado *Meter Data Management (MDM)* (FUNSEAM,2013).

La MCI son en una serie de servidores que reúnen los datos de energía consumida ya sea de forma individual o de forma grupal de una zona de varios usuarios para enviarla al centro de control y monitoreo de la empresa encargada del servicio.

Las principales ventajas de los medidores inteligentes para el distribuidor son ligadas al aumento de la eficiencia de la línea y al ahorro de energía, reduciendo los costes de operación y de detección de descomposturas en el sistema. Además,

permiten detectar el robo de energía eléctrica mediante el uso de otros dispositivos, controlar el suministro de energía y monitorear el control de la energía de acuerdo a los horarios durante el día. Por parte de los consumidores, el acceso a toda esta información debe permitirles ser más eficientes y ahorrar en su facturación.



---

## Capítulo 2. Situación del problema no estructurado y definición del problema expresado (Etapas 1,2 y3)

---

### 2.1 Introducción

En este capítulo se comienzan a plantear las primeras etapas de la metodología de sistemas suaves, comenzando por la etapa 1 como planteamiento de la situación del problema en un contexto no estructurado, la etapa 2 posteriormente proporcionando una mejor estructura a la expresión de los problemas que se suscitan cuando se realizan estos proyectos de ingeniería eléctrica. Por último, en este capítulo se trabaja inmediatamente la etapa 3, donde se definirán las raíces e interacciones de los actores con los sistemas involucrados.

De acuerdo a la metodología de sistemas suaves de Peter Checkland, se aborda la presentación de los múltiples problemas que los actores han observado durante el proceso de los proyectos de obras para electrificar zonas aisladas o rurales en México. Los actores van desde los directores de obra eléctrica de la CFE, hasta los usuarios. Estas observaciones sobre las anomalías son abordadas en los informes anuales emitidos por las empresas que llevaron a cabo la instalación de paneles solares o parques eólicos y que se recopilan en informes por parte de CFE (CFE, 2012).

A partir de lo anterior y lo analizado en el capítulo 1, el protocolo a seguir para realizar obras de electrificación en zonas aisladas actualmente puede variar dependiendo de la empresa y de las características de la zona, incluso presupuesto, en esta ocasión se toma el protocolo técnico de la empresa *Iberdrola*, la cual es encargada de llevar a cabo por licitación la gran mayoría de proyectos de electrificación rural en México, dicho protocolo se divide a continuación en los siguientes procesos (Chamochín,2016):

- 1) Identificación de la zona geográfica y de la comunidad.
- 2) Identificación de energías renovables a emplear.
- 3) Identificación y selección de las tecnologías de Smart grids viables.
- 4) Análisis de estudio de consumo de potencia eléctrica.



- 5) Determinación de la demanda.
- 6) Dimensionamiento, instalación y puesta en servicio del sistema eléctrico.

Los procesos anteriores contienen diversos problemas que son percibidos por los actores, en este caso por los proyectistas y los usuarios que enfatizan, son problemas que entorpecen llevar a cabo los proyectos de buena forma o en otros casos que los sistemas eléctricos sean de mala calidad. En el 2017 se puso la meta a llevar a cabo de abastecer de energía a un gran sector de la población en específico, que es la de zonas rurales aisladas (SENER,2017). La información proporcionada del mismo año por la secretaria de energía menciona que son más de 800 localidades en un tercio del total de las entidades del país que estaban como propósito de atender en materia de suministro eléctrico.

Visto desde un enfoque sistémico por los actores que intervienen, las principales causas de la carencia de energía eléctrica percibida por los actores en zonas rurales destacan:

- Ubicación alejada del sistema eléctrico nacional, haciendo inaccesible la transmisión de energía eléctrica con líneas.
- Zonas rurales con viviendas dispersadas geográficamente entre sí.
- Bajos recursos económicos de los pobladores.
- En caso de existir sistemas fotovoltaicos, se presentan descomposturas y apagones por falta de mantenimiento a los equipos, que es difícil comunicarse o acceder a la zona en buen tiempo.

## 2.2 Ubicación alejada del sistema eléctrico nacional

Los problemas señalados por los proyectistas y los técnicos en llevar a cabo las obras, detectan que las zonas en las que se van a llevar a cabo trabajos, se encuentran alejadas de las ciudades y de los caminos principales. Esto lleva a que exista una carencia en las herramientas de la infraestructura para iniciar con el



proceso de interconexión con el sistema eléctrico nacional o con la fuente de generación renovable. Las zonas como pueblos Otomíes en los límites del municipio de Huixquilucan en el Estado de México o los pueblos indígenas de Nuevo amanecer en Chiapas son ejemplos de comunidades con gran población atacados con el fenómeno de la pobreza energética del país, según lo indica el boletín número 1343 de la cámara de diputados en el 2017 (Cámara de Diputados, 2017).

Dentro de los problemas señalados en esta situación también están las características del suelo, siendo algunas zonas montañosas o dentro de reservas ecológicas que difícilmente se pueden hacer trabajos ahí. En caso de realizarlas sin llevar a cabo un estudio, hay problemas posteriores de deterioro ambiental por parte de tala de árboles, maleza, etc.

Las sugerencias pertinentes que se pueden realizar son:

- 1) Realizar un correcto estudio del terreno de la zona y ubicar la mejor zona para instalar las fuentes de generación de la comunidad, estos deben estar cerca de la comunidad, pero no dentro de la misma por normatividades y seguridad.
- 2) Realizar un estudio ambiental para evitar que durante el proyecto no se dañe el medio ambiente ni se dañe el ecosistema.
- 3) La ubicación donde se instalarán las fuentes de generación renovable deberá estar de preferencia en un punto medio entre la ciudad más cercana y la comunidad a suministrar energía.

### 2.3 Zonas rurales con viviendas dispersadas geográficamente entre sí

Las viviendas en muchas de las zonas rurales no se encuentran en un condado administrado territorialmente con calles y bien seccionado, en su mayoría se pueden encontrar distanciadas entre si a grandes distancias, por lo que el sistema eléctrico convencional a base de conductores y postes puede resultar muy costoso y poco viable a largo plazo debido a la topología de la red. Estas comunidades utilizan transformadores de tipo unicornio monofásicos que pueden interrumpir las



secciones del sistema en caso de fallas. La sugerencia pertinente para este problema es la de la generación distribuida explicada en el capítulo 1.

#### 2.4 Bajos recursos económicos de los pobladores

Otro de los factores que deben analizarse para determinar la viabilidad económica de las diferentes alternativas es la capacidad de pago que puedan tener los pobladores o usuarios de la zona rural. Este análisis permitirá tomar una decisión sobre la viabilidad económica de determinadas tecnologías.

De acuerdo a un estudio llevado a cabo en un poblado aislado de las 25 familias cuyos ingresos familiares son menores de dos mil pesos al mes existen 10 familias que no disponen de energía eléctrica y 15 familias que disponen de energía eléctrica.

Por otro lado, la voluntad de liquidez es un factor socio económico muy importante que afecta a que se realicen e inviertan en estas comunidades aisladas.

Del análisis de la información suministrada por Iberdrola a nivel comunitario se debe indicar:

- No se han contestado las preguntas relacionadas con la voluntad de pagar tarifa puntual por la energía eléctrica.
- Se indica que los futuros usuarios no estarían dispuestos a dar terrenos para poner paneles solares.
- La electrificación del bando municipal será propiedad del Ayuntamiento.

Para poder estimar la voluntad de pago podría ser empleado como punto inicial de partida el pago que están realizando otras comunidades de la misma zona y características similares que estén en el los programas de CFE.



## 2.5 Descomposturas y apagones por falta de mantenimiento a los equipos

En la información inicial suministrada por la empresa Iberdrola, a nivel comunidad se indica que el municipio o la alcaldía no tendrá las herramientas para realizar mantenimientos correctivos ante fallas eléctricas (Chamochín,2016).

Se ha analizado la posibilidad de realizar el suministro inicial de los equipos desde España, pero en la información recibida por CFE se indica que el coste se vería incrementado en un 50-60% por el coste de importación y otra serie de trámites que deberían realizarse.

Otros aspectos a considerar en la toma de esta decisión son:

- Inspeccionar si las tecnologías y equipos se pueden reparar con las herramientas cercanas.
- El costo extra que supondría para la operación y mantenimiento.
- Los efectos que tendría sobre la satisfacción de los usuarios la no disponibilidad de energía eléctrica por meses.

## 2.6 Definición del problema expresado

Una vez planteada con anterioridad la situación actual de los problemas existentes dentro del gran sistema que representa este proyecto de electrificación, se puede continuar inmediatamente con la etapa 2 de la metodología, en esta parte se busca proporcionar una visión sistémica sobre la situación de los problemas expresados en función de sus actores y con información más detallada de su interacción y relevancia.

Como se establece en la metodología de sistemas suaves de Peter Checkland, la etapa 2 muestra los problemas planteados en una forma organizada y mostrando la interacción que tienen los procesos.

Abordando directamente el objeto de estudio con lo indicado en esta etapa, los jefes de obra y los analistas de estudios deben planificar en una buena comunicación el



proyecto, desde el director de obra hasta las cuadrillas de trabajo como primera situación.

El contexto del presente es que actualmente las obras de electrificación están teniendo elevados costos de mantenimiento y consumo de recursos, presentan demasiadas fallas en los equipos e infraestructura que han provocado que queden sin electricidad por falta de mantenimiento. Algunas zonas rurales desde hace mucho tiempo sufrieron de descomposturas en sus redes de distribución (Chamochín,2016).

La visión hacia el futuro es que los problemas expresados que interactúan entre sí, se resuelvan con usar tecnologías emergentes bajo una buena planificación, para que finalmente permitan que las redes convencionales sean autosustentables, presenten un mejor monitoreo de la red de la zona, disminuyan los costos de mantenimiento y la recuperación de inversión sea en menor tiempo.



Figura 7.- Situación del problema expresado en una REI.

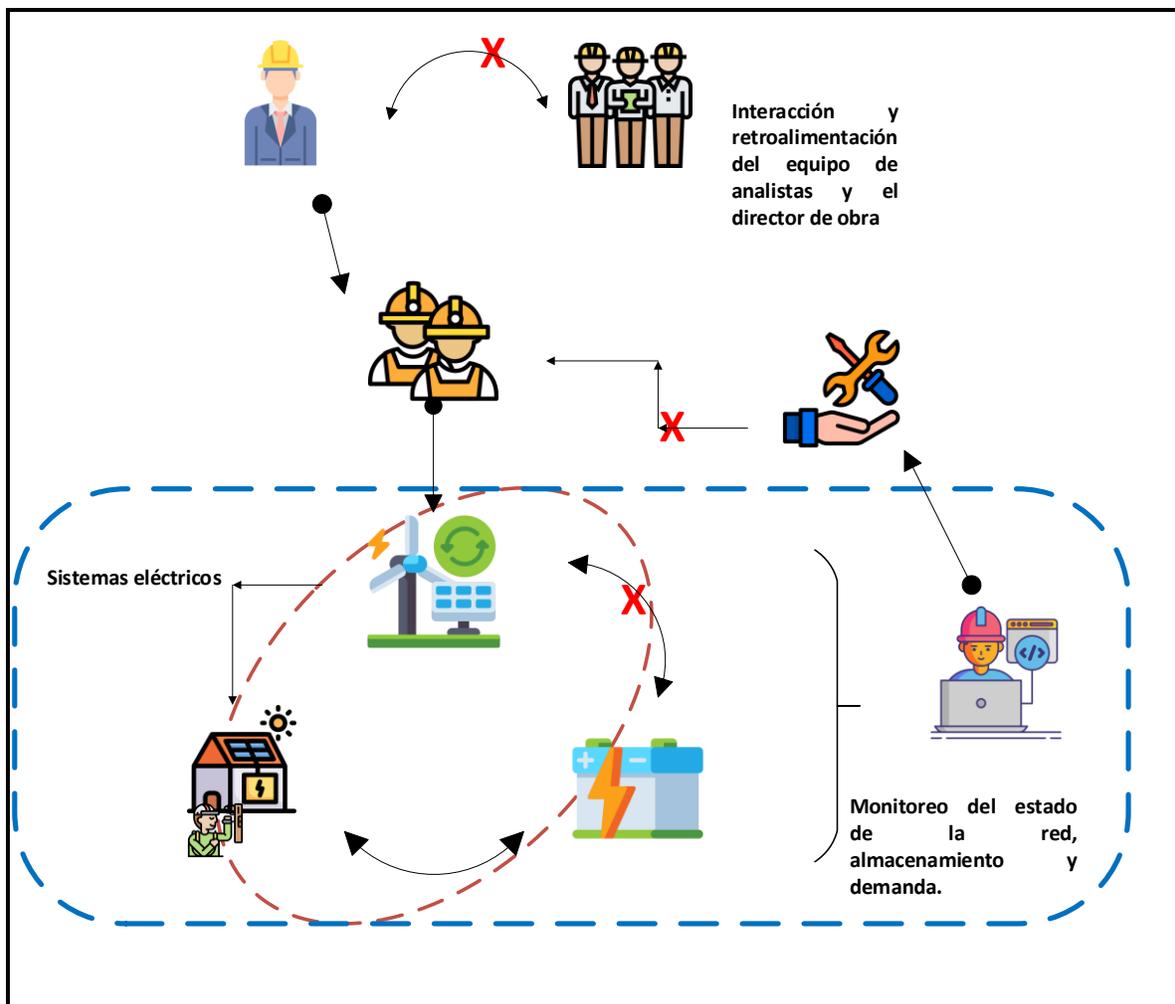


Figura 8.- Anomalías en la interacción del proceso de planificación de redes (fuente: elaboración propia).

En la Figura 8 se muestra el proceso ideal para llevar a cabo la planificación de redes eléctricas como debería de llevarse a cabo idóneamente. En la parte posterior del proceso se encuentran los directores de obra y los analistas y especialistas en realizar estudios previos a la obra y a su vez durante la realización de la misma. Como muestra el diagrama su interacción es de comunicación bidireccional. Durante el proyecto deben estar comunicados constantemente, ya que el personal humano encargado de realizar estudios sociales, ambientales y económicos tienen que estar retroalimentando información al encargado de la parte técnica, que es el director de obra y los supervisores.

Posteriormente encontramos que las actividades son enviadas a las cuadrillas de trabajo que se encargan de los trabajos de ingeniería para instalar las tecnologías y la infraestructura adecuada en los sistemas de distribución eléctricos. La interacción en esta etapa delimitada por la línea roja es bidireccional. Actualmente la interacción entre la etapa de almacenamiento y la generación de energía presenta problemas, así mismo el monitoreo de la red que se muestra por la línea punteada azul se encuentra inhabilitada. Después el proceso de monitoreo no completa su interacción con la etapa de mantenimiento y las cuadrillas de trabajo.

Finalmente como se ha visto en los subcapítulos anteriores, los problemas y los actores involucrados en el proceso de un proyecto de gran magnitud como lo es llevar energía eléctrica a zonas aisladas, toman gran importancia para comenzar con una buena planeación, pues gracias a lo indicado en las etapas 1 y 2 de la metodología de sistemas suaves, se pueden tomar en cuenta información que antes podría pasar desapercibida como lo son los factores humanos de organización y comunicación de los actores. Gracias a las etapas 1 y 2 concluidas hasta este subcapítulo se puede abordar a continuación la etapa 3.

## 2.7 Definición Raíz de los sistemas involucrados

Siguiendo con la metodología de Peter Checkland, en la etapa 3 se plasma la *Definición Raíz* y las visiones que tienen los involucrados en los sistemas más relevantes y para este trabajo se toman en cuenta las visiones de los observadores durante la planificación de redes eléctricas en las zonas que se vienen tratando.

Mejorar la forma de realizar y concluir los proyectos de electrificación de las zonas rurales mediante una metodología con enfoque sistémico para mejorar las redes eléctricas convencionales con tecnología de las redes inteligentes, así reduciendo costos de mantenimiento, control idóneo de la energía eléctrica y menores costos de facturación a nivel usuario.

**Problemas Administrativos:** En los proyectos de electrificación de zonas rurales o marginadas dirigidos por la Comisión Federal de Electricidad, se pueden notar falta de planificación del diseño de las redes eléctricas a nivel distribución y al ser



las empresas de subcontratación las que llevan a cabo la implementación, la infraestructura y las tecnologías no están bien calculadas y diseñadas. Falta un mejor análisis de estudio de la zona rural a la cual se van a implementar redes eléctricas con fuentes de energía renovable.

**Problemas Económicos:** La inversión del proyecto resulta rentable en tiempos largos, además de que los costos de mantenimiento de las redes convencionales, junto con las fuentes de energía renovable son muy altos. Al ser zonas de difícil acceso es costoso llevar equipos y mano de obra a realizar mantenimientos preventivos y correctivos al sistema eléctrico.

**Problemas de carácter técnico:** Las zonas rurales y marginadas que existen en algunas entidades de México, carecen de energía eléctrica y en algunos casos sus sistemas de distribución se encuentran dañados o son redes ineficientes. Sus fuentes de generación de energía renovables se encuentran descompuestos o están sobredimensionados, provocando que dañen las redes y los problemas de falta de energía eléctrica vuelva a presentarse.

Los equipos de las fuentes de energía renovable, siendo los paneles solares los más populares se descomponen fácilmente y sus dispositivos tienen a fallar de igual forma.

#### **CATWOE para los problemas administrativos.**

**Cliente:** Pobladores de las zonas rurales o provincias marginadas.

**Agente:** Comisión Federal de Electricidad.

**Transformación:** Mejorar la planificación de los proyectos de electrificación de zonas rurales en México

**Weltanschauung:** Opiniones de los empresarios del sector privado, administradores y proyectistas tanto de la empresa privada subcontratada como de la CFE.

**Dueño:** comisión Federal de Electricidad, específicamente director de obras públicas.



**Ambiente:** Ubicación geográfica de la zona, rutas y caminos de acceso a los poblados y los marcos regulatorios en materia de energías renovables y obras de electrificación.

*CATWOE para los problemas económicos.*

**Cliente:** Usuarios y empresas del sector privado.

**Agente:** Inversionistas privados de las empresas subcontratadas por la CFE, personal de recursos financieros de la CFE encargados de realizar el presupuesto, pobladores.

**Transformación:** Mejorar la planificación de los proyectos de electrificación de zonas rurales en México

**Weltanschauung:** Opinión de los encargados de presupuestar el proyecto y subcontratar la empresa, los empresarios que harán la inversión en la licitación del proyecto.

**Dueño:** director de obras de la CFE.

**Ambiente:** Recursos de presupuesto federal proporcionado a CFE, recursos de los inversionistas privados, apoyo gubernamental.

*CATWOE para los problemas técnicos.*

**Cliente:** Pobladores de la zona.

**Agente:** Empresas privadas encargadas del proyecto.

**Transformación:** Electrificación de la zona y mejoramiento de las condiciones de la red eléctrica

**Weltanschauung:** Opinión de los ingenieros, los proyectistas y los técnicos.

**Dueño:** Bando municipal / Ayuntamiento



**Ambiente:** Infraestructura para colocar las redes de distribución, calles, zona geográfica.

Como conclusión preliminar en este capítulo, sobre la finalización de las etapas 1,2 y 3 de la metodología de sistemas suaves se puede tener finalmente una visión sistémica aún más amplia sobre los sistemas involucrados en la toma de decisiones y planeación de los proyectos de electrificación en México, se han planteado en este capítulo los sistemas relevantes, así como una reestructuración de la situación del mundo real. El análisis en subcapítulo 2.7 obtiene una visión desde otra perspectiva dando un enfoque sistémico al previo diseño del modelo de planeación de redes eléctricas inteligentes. El análisis realizado anteriormente proporciona información que sirve para identificar los candidatos a los problemas principales y a las posibles soluciones que se pueden aplicar.



---

## Capítulo 3. Diseño del Modelo (Etapa 4)

---

### 3.1 Introducción

En la planificación de obras de distribución eléctrica es un proceso en el que influyen muchos aspectos de actividades humanas. La planificación misma de una red eléctrica tiene ya como objetivo mejorar las condiciones de la red a instalar o innovar en este caso, por lo que la búsqueda de la optimización es importante. En este capítulo se lleva a cabo la etapa 4 de la metodología de Checkland, con el desarrollo de esta etapa se busca un modelo que sea sustentable y mejor al modelo original (el cual no existe como tal formalizado ya que consta de un protocolo técnico de obra de ingeniería sin nada particular) que al diseñarlo nos coloque ahora en un aprendizaje continuo en búsqueda de la eficiencia al momento de planificar redes eléctricas inteligentes.

A continuación, se presentan los modelos conceptuales de los sistemas vistos previamente como más relevantes en el proceso de planificación de obras eléctricas.

### 3.2 Modelo conceptual del proceso de Identificación de la zona geográfica y de la comunidad

En este proceso donde se encuentran las primeras problemáticas se añade una propuesta a la problemática de hacer el levantamiento de obra y de las características del área.

Actualmente la mayoría de las obras comienzan realizando una inspección de la zona de manera superficial y utilizando herramientas para realizar croquis de área con *Google maps*, esto no es un estudio verdadero de la zona , por lo que en el momento de comenzar a trabajar se encuentran con problemas de falta de comunicación, problemas de traslados de equipos y personal, conflictos con los



pobladores a los que usualmente no se les consulta previamente y por último en muchas ocasiones no se cuenta con el apoyo del ayuntamiento del lugar.

Las propuestas viables a esta problemática son:

- Realizar inspecciones en sitio por un equipo conformado de los mismos trabajadores de la obra y los analistas de estudios.
- Realizar levantamientos de sitios con documentación documental, bitácora y fotografía de los lugares donde se va a trabajar.
- Realizar juntas con los pobladores y los servidores públicos del ayuntamiento del lugar, con el fin de entablar dialogo sobre los beneficios de la obra próxima a realizar.

El modelo propuesto tendrá las ventajas de mejorar el conocimiento del lugar y el que los involucrados tanto como los beneficiarios del proyecto interactúen durante todo el proyecto, la comunicación entre los actores es fundamental para que no existan aspectos sociales que entorpezcan las obras una vez iniciadas.

### 3.3 Modelo conceptual del proceso de Identificación de energías renovables

De acuerdo con el Centro de Investigación Económica y presupuestaria, el proceso para identificar y analizar qué tipo de energía renovable puede ser mejor aprovechada en la zona, es a través de estudios de irradiación solar en el caso de uso de paneles solares. Los sistemas fotovoltaicos son las fuentes de generación con mayor duración y mejor eficiencia energética que otras en el territorio mexicano (Limón,2017). La CFE apuesta con mayor seguridad a este tipo de fuentes de generación en materia de renovables, debido a la factibilidad de instalación de su infraestructura.

Actualmente para aprovechar la energía solar es mediante paneles solares dispersados en la zona y que alimentan alrededor de 3 o 4 domicilios. Usan un sistema compartido (Pereira,2019).



La propuesta para mejorar el modelo de identificación de energías renovables son las siguientes:

- Instalar paneles solares independientes para cada vivienda en poblados menores a 10 viviendas como en la Figura 9.



*Figura 9.- Vivienda con panel solar individual (tomado de [Castañeda et.al.,2019]).*

- Instalar un parque de sistema fotovoltaico para poblados mayores a 10 viviendas como en la Figura 10.



*Figura 10.- Sistema de módulos solares para varios usuarios (tomado de PvMagazine).*

Utilizar alguna de las dos configuraciones anteriores trae como beneficios que la energía generada sea mejor utilizada y no se desperdicie por sobredimensionamiento. Además, la inversión por costos de cada panel solar puede resultar mayor cuando se utilizan de forma distribuida en cada vivienda cuando sea un poblado con varias familias.

### 3.4 Modelo conceptual para identificación y selección de las tecnologías de Smart grids

En los proyectos de la actualidad utilizan criterios similares en cuanto al uso de tecnologías y elementos de un sistema fotovoltaico, como en este caso. El tipo de conexión más utilizado es el modelo de “Sistema Fotovoltaico de DC /AC” (Yornaldo, 2016). Esta conexión permite tener un sistema autónomo para suministrar energía eléctrica con la menor cantidad de fallas eléctricas y tener un eficiente trabajo del inversor. El inversor permite convertir la corriente continua a corriente alterna para el uso de cargas normalizadas en México de 127 volts de corriente alterna.

En la Figura 11 se muestran los elementos que actualmente se seleccionan y se utilizan en la implementación de un sistema eléctrico con fuente de energía renovable. El modelo actual presenta fallas en la etapa de la inversión y en el sistema de almacenamiento, ya que usualmente utilizan un módulo de baterías para un panel solar que puede proporcionar más energía que la demandada.

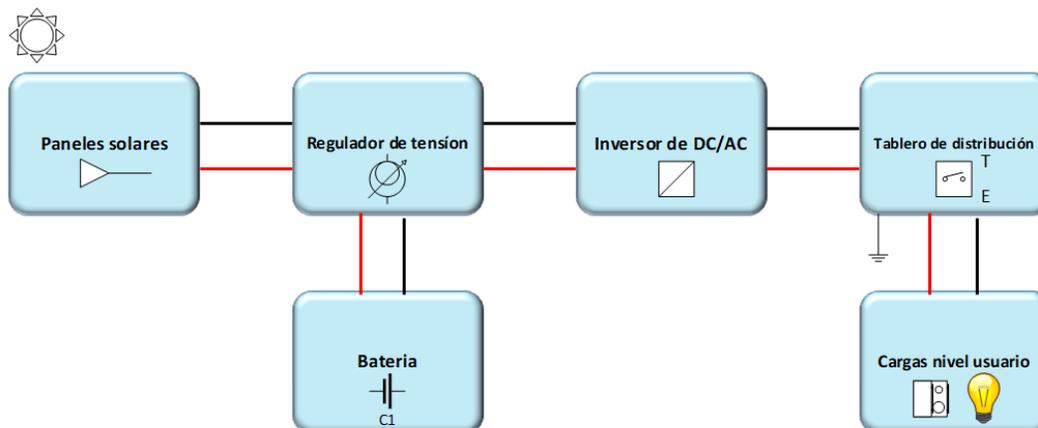


Figura 11.- Conexión de los elementos de un sistema con energía renovable (tomado y adaptado de [Yornaldo,2016]).

Como se puede observar en la imagen anterior, el modelo de la red no posee ningún sistema de comunicación, monitoreo de red, sistema de gestión de almacenamiento de energía y controlador de consumo y demanda de energía eléctrica.

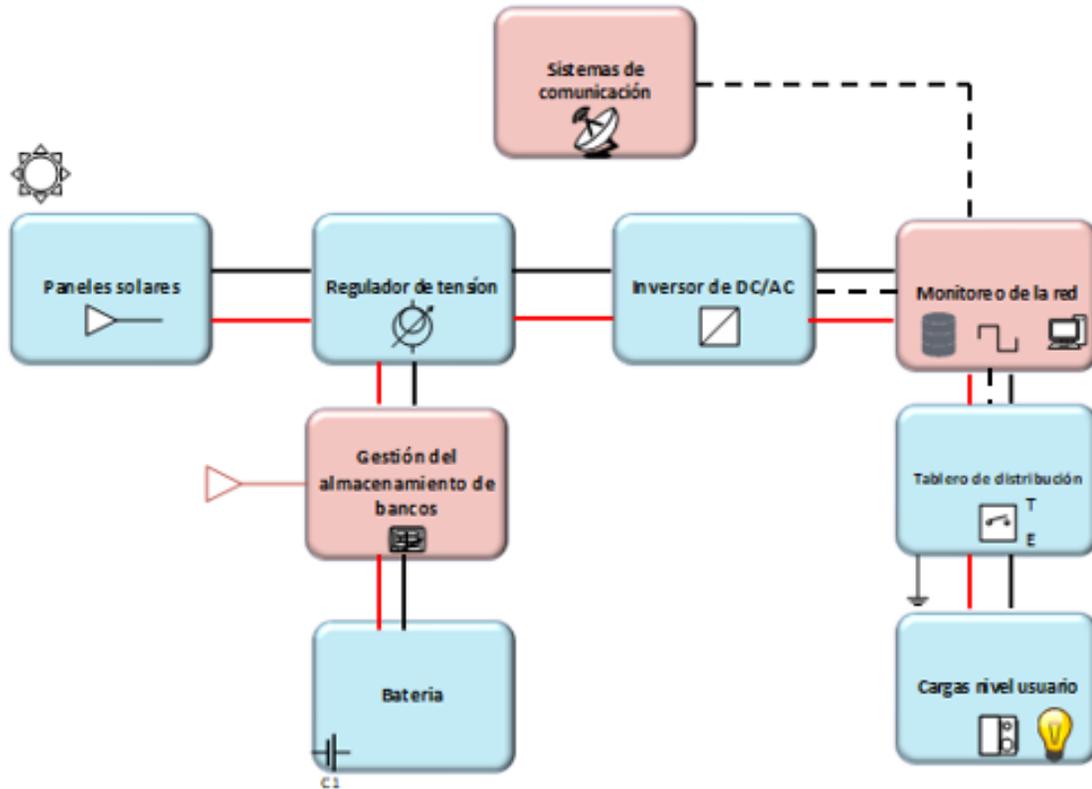


Figura 12.- Conexión de los elementos del sistema con tecnologías con componentes inteligentes (fuente: creación propia).

En la Figura 12 se muestra un modelo propuesto de la red convencional actual, pero con la implementación de tecnologías de concepto inteligente. Se agregaron los sistemas de gestión del almacenamiento de la energía que tomará mejores decisiones sobre la energía acumulada y podrá tomar decisiones sobre la utilización o entregarla al sistema eléctrico nacional. Por otro lado, también se agregaron sistemas de medición y monitoreo de la red, estos pueden ser sistemas de control y adquisición de datos y mediciones eléctricas, cuya actividad y calidad de los parámetros eléctricos son comunicados a la dependencia encargada.

### 3.5 Modelo conceptual del proceso de análisis del consumo de potencia eléctrica y demanda.

Para el proceso de análisis de consumo de potencia se utilizan sistemas de ecuaciones en base a los datos del levantamiento de obra que se realizaron. Con anterioridad se realiza un cálculo de la demanda que puede necesitar la zona. El proceso es teórico en base a cálculos que se encuentran en mucha bibliografía y en manuales de los equipos que se han recopilado desde que las tecnologías fotovoltaicas y baterías comenzaron en el mercado (Yornaldo,2016). En la actualidad siguiendo las respectivas normas de la comisión federal de electricidad, se perciben problemas de demanda ante el crecimiento de la población de las comunidades y a la par con el prematuro envejecimiento de las redes.

Para esta actividad se realizan encuestas en la zona para recopilar el tipo de cargas eléctricas que tienen los pobladores y en caso de no tenerlos se dimensiona para las que puedan adquirir en el futuro, tales como: refrigerador, cantidad de luminarias, equipos de sonido y TV, planchas, ventiladores, bombas, lavadoras, etc. En los informes que emite la empresa de Iberdrola proporcionan porcentajes sobre la cantidad de electrodomésticos que tienen los pobladores de distintas zonas rurales (Chamochín,2016).

Con una visión sistémica el modelo que se puede implementar en este proceso es que, al ser una actividad totalmente humana, se debe de tener conocimiento y comunicación con los pobladores de la zona antes y después de realizar las obras de electrificación.

En los cálculos y estimaciones sobre la demanda de la carga se incluye un margen que da amortiguamiento al incremento de carga, sin embargo, este análisis de la demanda también debería incluir los siguientes factores para mejorar:

- Estimar el crecimiento de la población
- Tomar en cuenta el posible futuro desarrollo de actividades terciarias de la zona



- Tomar en cuenta el anexo de organismos gubernamentales que puedan incrementar carga en el futuro o alterar la red, tales como hospitales y escuelas.
- Tomar en cuenta que los pobladores pueden abrir negocios que utilicen cargas que no se tomaron en cuenta en el análisis de consumo

### 3.6 Modelo conceptual del proceso de dimensionamiento e instalación del sistema eléctrico

Posteriormente para el dimensionamiento e instalación de paneles solares y que la energía sobrante es almacenada para utilizar en la noche, se necesitan cuadrillas de trabajo al mando de un especialista que asegure que la infraestructura es segura, que cumpla con las normas vigentes y que cumpla con los beneficios que ofrece.

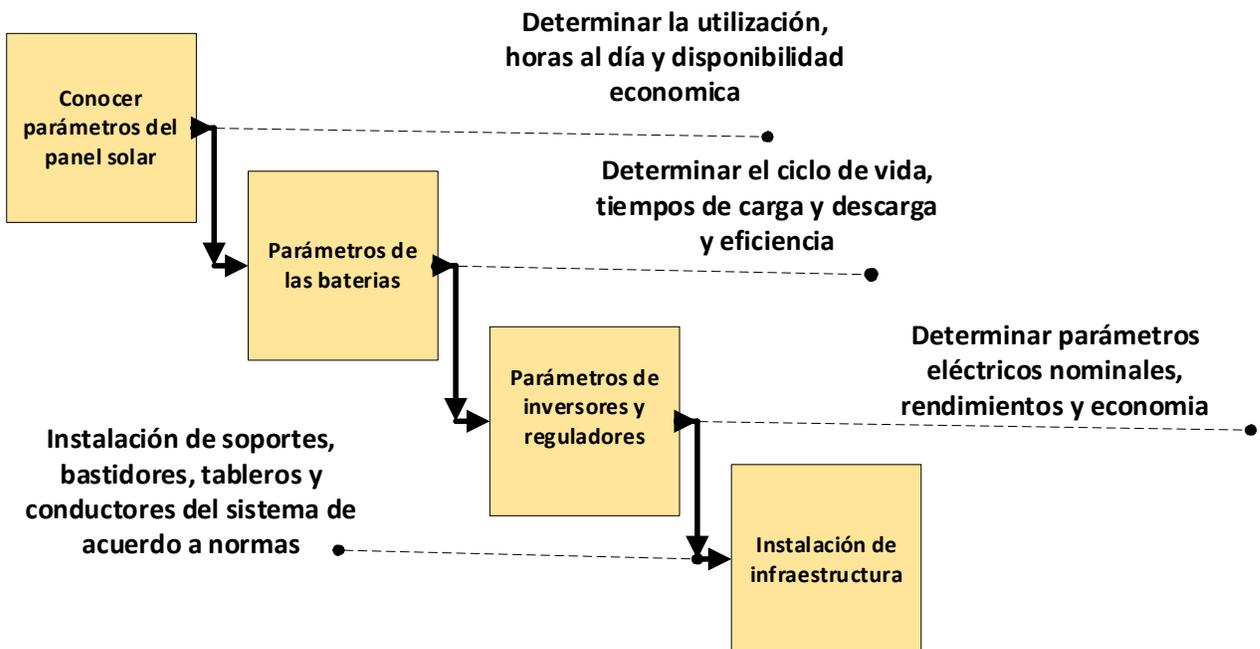


Figura 13.- Modelo general del proceso de puesta en servicio del sistema eléctrico (fuente: creación propia).



Como se puede visualizar en la Figura 13, en este proceso las etapas de conocimiento de parámetros eléctricos de los equipos a instalar son llevados a cabo por cuadrillas de técnicos que instalan todo de acuerdo a la norma oficial mexicana 001-2012 sede instalaciones eléctricas. La norma sede del 2018 no ha sido publicada pero ya ha sido aprobada, por lo que se puede decir que algunas instalaciones especiales en cuanto a paneles solares pueden no estar reguladas o no puede dar “buenas prácticas” técnicas en la instalación actualmente.

Los jefes de obra tienen la responsabilidad de hacer una revisión de la instalación y así mismo los directores de obra tienen la responsabilidad de revisar que el proyecto se efectuó conforme a las normas y darle seguimiento a problemas que se presenten en el futuro.

Finalmente, al modelo de la Figura 12, visto desde otro pensamiento sistémico se puede agregar únicamente que la puesta en servicio se actualice y que añadan un plan de mantenimiento y seguimiento del estado de la red.

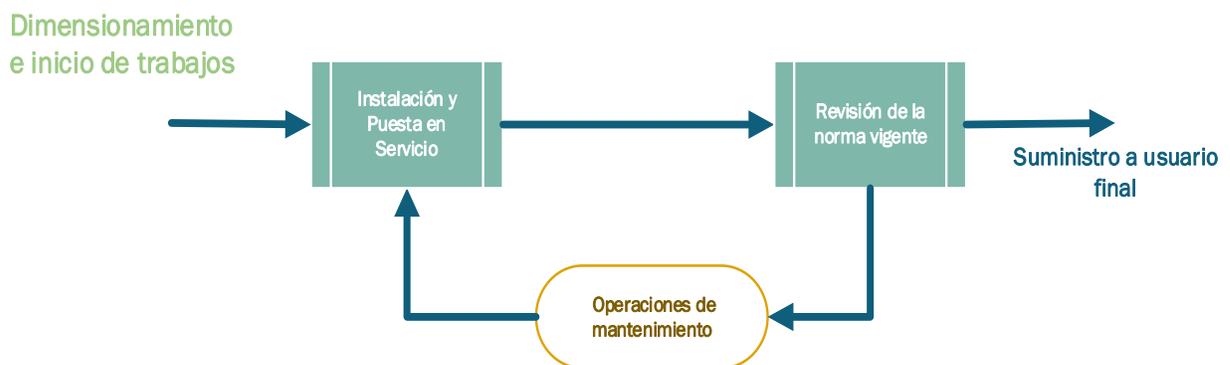


Figura 14.- Diagrama de lazo cerrado del proceso de puesta en servicio (fuente: creación propia).

En la Figura 14, el modelo general se encuentra en el primer bloque de instalación y puesta en servicio, en este diagrama se ha añadido a un sistema de lazo cerrado que se retroalimenta de acuerdo a las normas vigentes y de esta manera los factores de mano de obra y trabajos de ingeniería tienen una retroalimentación para

revisar el estado de la red eléctrica inteligente. Es una propuesta que es relevante, ya que la calidad de la instalación depende de las actividades humanas.

### 3.7 Pensamiento sistémico como una herramienta para la gestión de redes eléctricas y energía

Al final de este capítulo se ha logrado visualizar la forma del modelo de una planeación de redes eléctricas inteligentes, tomando en cuenta factores de actividad humana y definiciones básicas de los problemas que se habían definido anteriormente en el capítulo 2. Se ha obtenido un modelo conceptual que permite llevar a cabo lo que se especifica en las definiciones raíces, convirtiéndose adecuadamente en un modelo-reporte de las actividades para comenzar la “transformación” y construir de forma sistémica el modelo de planificación de redes inteligentes.

La eficiencia energética es un problema grande e importante en las redes eléctricas inteligentes y, como se mencionó anteriormente en este trabajo, los sistemas eléctricos en nuestras ciudades con búsqueda de la eficiencia energética, son un ejemplo de sistemas adaptativos complejos. La aplicación de enfoques sistémicos como herramienta para gestión de la energía a nivel de ciudad se justifican por un gran número de factores que se ven involucrados en la planeación de estos proyectos de incorporar redes eléctricas modernas o usar fuentes de energía renovables (Costello, 2012). El modelo conceptual obtenido en esta etapa, al ser sobre un problema social, sigue los principios de la heurística, dichos principios sobre problemas de carácter social provienen de Werner Ulrich, el creador de *Critical Systems Heuristics*. El menciona que, en cualquier proyecto, se deben elaborar múltiples perspectivas sobre el problema y los objetivos del proyecto, pero el objetivo principal es mejorar la comunicación entre los actores involucrados en el proyecto y de esta manera se verán disminuidos diversos problemas administrativos o de organización (Ulrich, 2002). Estos problemas administrativos, falta de cumplimiento de tareas y roles en los proyectos de electrificación de zonas aisladas son los que se plantearon desde la etapa 1 y 2 de y tienen gran relevancia en el modelo conceptual del sistema obtenido en este capítulo.



---

## Capítulo 4. Contrastación del modelo de planificación de la red (Etapas 5 y 6)

---

### 4.1 Introducción

En este capítulo se continua con las etapas 5 y 6, la metodología de Peter Checkland sugiere varias maneras de abordar la comparación de la fase 4 en 2, en este trabajo se abordará mediante la comparación de los escenarios de cada modelo conceptual ya visto. Esto sería comparar la forma en que se planifican actualmente las redes eléctricas con un enfoque de pensamiento sistémico que permite organizar las ideas de cada modelo. Posteriormente siguiendo la metodología, en la etapa 6 se obtienen al final de la contrastación y discusión de la información sobre las medidas para mejorar el modelo obtenido en la etapa previa.

A continuación, se muestran en forma de tabla la contratación de los modelos actuales que se explicaron en el proceso de planificación de redes actuales del capítulo anterior.

### 4.2 Contrastación del sistema modelado con la realidad

En esta etapa 5 de la metodología se sugieren muchas formas y técnicas para contrastar la información del modelo conceptual obtenido con el mundo real, en este caso utilizaremos uno en particular denominado “método tabular”. Las tablas responden a las preguntas sobre ¿Las actividades de los procesos existen en la implementación real de las redes eléctricas? ¿Cómo se lleva a cabo el proceso? ¿Qué criterios se toman al final? Dichas preguntas tienen como objetivo ayudar mediante el contraste de sus respuestas que los modelos mejoren y se encaminen a la etapa 6 para definir la factibilidad de los cambios.



## 1.- Modelo conceptual del proceso de Identificación de la zona geográfica y de la comunidad

Actividad	¿Existe?	¿Cómo se realiza el proceso?	¿Qué actores se involucran?	Indicadores de registro	Comentarios adicionales
Realizar inspecciones en sitio (levantamiento de obra)	No	Se lleva a cabo realizando inspección y análisis de la zona con equipos de cuadrillas de técnicos y un ingeniero.	Técnicos, Ayudantes generales, Ingenieros eléctricos.	Recopilación de bitácoras, planos e informes de levantamiento de sitio	La actividad debe realizarse no solo con especialistas en ingeniería eléctrica, debe de llevarse a cabo con un equipo completo, añadiendo ingenieros ambientales y urbanistas.
Realizar juntas con los pobladores y los servidores públicos	No	Las juntas para exponer los proyectos en las comunidades, se realizan con servidores del municipio en general	Empresarios, directores de obra eléctrica, director de obras públicas.	Generadores de Obra y juntas de acuerdo.	Debe de mejorar la comunicación y difusión de los proyectos de electrificación en las zonas rurales e incluir a los representantes de los pueblos.

## 2.- Modelo conceptual del proceso de Identificación de energías renovables

Actividad	¿Existe?	¿Cómo se realiza el proceso?	¿Qué actores se involucran?	Indicadores de registro	Comentarios adicionales
Identificación de la fuente de energía más viable.	si	A través de análisis de irradiación solar, incidencia de vientos y ponderando los beneficios de ambas	Técnicos, Ayudantes generales, Ingenieros eléctricos.	Recopilación de bitácoras, planos e informes de levantamiento de sitio	La actividad debe realizarse no solo con especialistas en ingeniería eléctrica, debe de llevarse a cabo con un equipo completo, añadiendo ingenieros ambientales y urbanistas.
Realizar juntas con los pobladores y los servidores públicos	No	Las juntas para exponer los proyectos en las comunidades, se realizan con servidores del municipio en general	Empresarios, directores de obra eléctrica, director de obras públicas.	Generadores de Obra y juntas de acuerdo.	Debe de mejorar la comunicación y difusión de los proyectos de electrificación en las zonas rurales e incluir a los representantes de los pueblos.



### 3.- Modelo conceptual para identificación y selección de las tecnologías de Smart grids

Actividad	¿Existe?	¿Cómo se realiza el proceso?	¿Qué actores se involucran?	Indicadores de registro	Comentarios adicionales
Preselección de instrumentos y componentes del sistema de distribución.	Si	Identificando el tipo de fuente de generación, se buscan las herramientas e instrumentos de control y medición de la red	Técnicos, Ayudantes generales, Ingenieros eléctricos.	Compilación de manuales de obra y normas vigentes sobre inversores, reguladores y baterías	La selección de los elementos de la red a implementar se lleva a cabo conforme a las normas vigentes de CFE.
Selección del tipo de configuración del sistema fotovoltaico	Si	Se utiliza un arreglo DC/AC en el sistema de acuerdo a la topología de la red	Ingenieros electricistas, jefe de cuadrillas de trabajo y administrativos	Generadores de obra, manuales de los componentes y normas.	En este modelo, los arreglos que se realizan en campo no son analizados a detalle con un especialista en convertidores. Generalizar la topología resulta perjudicial para la red actual.
Selección de sistemas de monitoreo, comunicación y control de la energía	No	En las redes actuales se utiliza un sistema regulador que controla los niveles de tensión para seguridad de la red y las baterías	Ingeniero electricista de la obra	Generadores de obra eléctrica.	La red evolucionista utiliza sistemas de medición mas avanzada, instrumentos de monitoreo y comunicación de la red eléctrica.

### 4.-Modelo conceptual del proceso de análisis del consumo de potencia eléctrica y demanda.

Actividad	¿Existe?	¿Cómo se realiza el proceso?	¿Qué actores se involucran?	Indicadores de registro	Comentarios adicionales
Cálculos de cargas eléctricas de la red	Si	A través de los parámetros obtenidos del levantamiento, se realizan cálculos para encontrar los parámetros eléctricos ideales.	Ingenieros eléctricos de la obra.	Informe de análisis de cargas y dimensionamiento	Los ingenieros eléctricos que participan en el proyecto realizan los cálculos de los parámetros eléctricos y cargas de demanda. Es un proceso puramente teórico.
Realización de encuestas de	Si	Se realizan encuestas o entrevistas con los	Técnicos de la obra.	Informe de resultados de la encuesta, bitácora	Las encuestas deben de agregar cuidadosamente las cargas sensibles e



<b>tipo de cargas de los usuarios de la zona</b>		pobladores para recabar información de los tipos de aparatos que tienen.		de levantamiento de parámetros.	inductivas (en caso de existir las), para una mejor planificación.
--	--	--	--	---------------------------------	--

<b>5.- Modelo conceptual del proceso de dimensionamiento e instalación del sistema eléctrico.</b>					
<b>Actividad</b>	<b>¿Existe?</b>	<b>¿Cómo se realiza el proceso?</b>	<b>¿Qué actores se involucran?</b>	<b>Indicadores de registro</b>	<b>Comentarios adicionales</b>
<b>Instalación y puesta en servicio de la red eléctrica</b>	si	Los componentes de la red eléctrica se instalan en la zona a suministrar energía por las etapas mencionadas en el modelo.	Ingenieros eléctricos de la obra, cuadrillas de trabajo conformadas por técnicos y ayudantes generales.	Reportes de puesta en servicio e informes de bitácora.	En este modelo la operación de la red puede visualizarse.
<b>Seguimiento y mantenimiento</b>	no	Se realizan recorridos y asistencia en sitio para ver el estado de las redes y paneles	Ingenieros de servicio y técnicos.	Bitácoras y reportes de fallas.	El seguimiento y mantenimientos en la realidad se llevan a cabo cada que existen interrupciones totales de suministro.

Una vez finalizado este método de contrastación (método tabular), surgen a la vista en la segunda columna de las tablas, que hay funciones que no se están llevando a cabo y que no se encuentran planteadas en la etapa 2. De la misma forma los actores involucrados como se muestran en la cuarta columna difieren de sus obligaciones y responsabilidades planteadas desde el inicio de la etapa 2, como de las planificaciones originales que se llevan a cabo actualmente en los proyectos de electrificación. A modo de debate se plantean las siguientes preguntas, haciendo énfasis en estas funciones y responsabilidades de las actividades y actores involucrados: Si de acuerdo a las legislaciones vigentes y al plan nacional de desarrollo en México, se apunta a incrementar el uso de fuentes de energía renovables y electrificar zonas marginadas, entonces *¿Por qué es difícil realizar planes de obra e invertir recursos para electrificar comunidades aisladas? ¿Por qué*



*la información y los datos recabados en las inspecciones en sitio de la obra no son precisos y útiles para el análisis del proyecto? ¿Por qué los levantamientos de sitio no se están llevando a cabo por personas expertas en la materia? ¿Existen expertos en la supervisión de cada área específica del proyecto? ¿Por qué no existe un canal de comunicación entre los proyectistas y la empresa con la comunidad durante todo el proyecto? ¿Se da un seguimiento de control y análisis de la obra aun después de terminar el proyecto en la comunidad? Y en cuanto a aspectos de carácter técnico: ¿Por qué no se desarrollan planes de mantenimiento preventivo y correctivos para los equipos?*

Estas preguntas estratégicas finalmente contrastan los problemas existentes entre la realidad y el mundo abstracto del sistema planteado.

#### 4.3 Síntesis de Resultados y discusión

La mayoría de las veces cuando se realizan obras eléctricas para electrificar zonas con las características que hemos estado trabajando, los protocolos de acción suelen ser “duros” y utilizar procesos que no son flexibles a los cambios. Estos entorpecen más los procesos de la etapa 4 de la metodología, la evaluación técnica que se puede obtener en la contratación de los modelos nos permite visualizar que tan flexible puede ser modificar todos los pasos de la planificación de redes eléctricas, por ejemplo, el director de la obra eléctrica puede eliminar alguna etapa del proceso para darle un ahorro de tiempos de ejecución o incluso ahorrar trámites administrativos. Dicho esto, en caso contrario si el director de obra utiliza las sugerencias y mejoras que surgieron de la contrastación de los modelos, puede ser conveniente para que los demás directivos y empresarios involucrados en el proyecto apoyen la metodología por proporcionar una mejora en tiempos, ahorro energético, ahorro de combustibles y refacciones de los mantenimientos correctivos y adquirir más experiencia en el campo de las redes eléctricas inteligentes. No debemos olvidar que actualmente al ser proyectos de licitación, si las propuestas



son idóneas, los directivos de la empresa realizarán la inversión económica para llevar a cabo el proyecto en las mejores condiciones.

Posteriormente se verá más adelante si las alternativas son factibles y los cambios obtenidos puedan mejorar la planificación de redes eléctricas en zonas rurales. En la etapa 6 de la metodología de sistemas suaves, se definirán si los componentes de un espectro de “red eléctrica inteligente” son factibles. De acuerdo con Peter Checkland, en esta fase 5 se debe de tener ya conocimiento enriquecido sobre el fenómeno y su problemática para tener una visión sistémica que permita una mejor planeación y organización de nuestro proyecto de electrificación a un próximo futuro en este caso. En base a la información de la Tabla 3, podemos visualizar los cambios del modelo obtenido en la etapa 4, dicho modelo se puede visualizar de forma gráfica en la Figura 13, cuyo modelo va tomando forma en cómo se lleva a cabo la puesta en servicio las redes eléctricas inteligentes en zonas rurales.

De forma concisa, los cambios relevantes del nuevo modelo serán:

*Tabla 3.- Comparación de modelo actual contra modelo propuesto*

<b>Potencial de los Cambios</b>	<b>Modelo Actual</b>	<b>Modelo Propuesto</b>
<b>Análisis previo de levantamiento de sitio</b>	Los realizan únicamente las áreas de ingeniería civil y recabando datos poco útiles para la planificación del proyecto.	Los levantamientos de sitio deberán ser llevados a cabo por cuadrillas dirigidas por expertos en las áreas de ingeniería ambiental, energía, eléctrica, civil y telecomunicaciones con información más útil.
<b>Comunicación interna entre los departamentos de la empresa</b>	Los equipos de las distintas ingenierías no se comunican constantemente o su interacción es nula en todo el organigrama.	Deberá existir una mejor comunicación en los equipos de trabajos; desde el operario hasta los jefes de obra y supervisores de sitio mediante juntas frecuentes.



<b>Comunicación con los pobladores</b>	Únicamente se le notifica a las autoridades o jefes de la comunidad sobre el proyecto sin detalles	Se le deberá de comunicar de forma asertiva los beneficios que traerá el proyecto a la comunidad.
<b>Motivar uso de tecnologías emergentes</b>	Se utilizan equipos con tecnología únicamente para captar y almacenar energía.	Se utilizarán tecnologías emergentes que se implementen en las redes eléctricas, con el fin de alcanzar un espectro amplio de telecomunicaciones, monitoreo en tiempo real, telegestión y eficiencia energética.
<b>Mantenimiento de los equipos a futuro</b>	No se realizan seguimientos del estado de las redes y equipos posteriormente.	Se deberá realizar planes de mantenimiento preventivo y correctivo para prolongar la vida de los equipos y salvaguardar la inversión económica del proyecto.

Posteriormente ahora se obtiene la información necesaria de una comparación con respecto al sistema del mundo real. Finalmente, con toda la información obtenida se plantea la metodología como lo muestra la Figura 15.



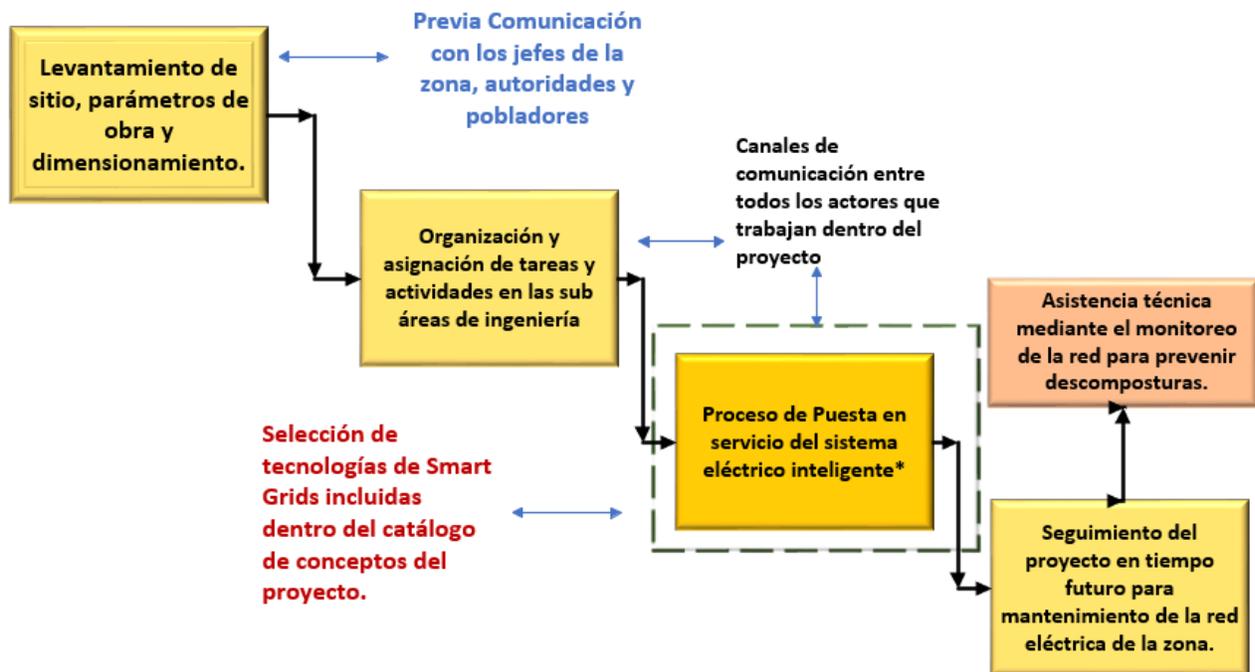


Figura 15.- Metodología propuesta para planificar redes eléctricas inteligentes con enfoque sistémico.

En la línea punteada de la Figura 15, se engloba el proceso de puesta en servicio en el ámbito técnico de las redes eléctricas inteligentes, en el capítulo 3 donde se obtiene dicho modelo se explican únicamente que las actividades realizadas son de carácter técnico y no toman en cuenta los demás aspectos sociales y administrativos de los actores. En este modelo se observa que se acopla la síntesis de la información obtenida por la contrastación de los modelos, creando así esta metodología ahora con enfoque sistémico para planificar redes eléctricas inteligentes.

#### 4.3.1 Evaluación del uso de tecnologías emergentes en redes eléctricas convencionales de zonas rurales

Como se ha explicado en los objetivos de aplicar esta metodología, el uso de las tecnologías más modernas y emergentes es de suma importancia para dotar de inteligencia la red convencional. La modernización de los sistemas de distribución son un paso inevitable que es mejor darlo con buenas inversiones y apoyos por

parte de los organismos y dependencias gubernamentales de cada país. En México la transición hacia utilizar menos fuentes de energías convencionales va encaminada a una inversión grande en materia de desarrollo y compra de equipos tecnológicos, así como la capacitación de recursos humanos para poder utilizarlos e implementarlos.

Desde que surgieron los paneles solares, sus aplicaciones han sido diversas y por ende se han realizado hasta la fecha una gran cantidad de estudios de análisis energético y consumo de estas tecnologías que aprovechan la energía del sol. Su uso particular, es abastecer de energía pequeños negocios, casas o empresas mediante arreglos más grandes de paneles. Dicho esto, en nuestro país se comenzaron a utilizar con gran popularidad y sin legislación hace cerca de 15 años. Los estudios de análisis de costo-beneficio de utilizar paneles solares son muchos y evolucionan con forme también mejoran las tecnologías. En este trabajo de investigación, como se ha mencionado, el propósito es utilizar este tipo de fuentes de energía renovable y sus mejores equipos en materia de redes inteligentes para abastecer zonas rurales marginadas de energía eléctrica.

En esta etapa se evalúa la situación de instalar paneles solares en las viviendas rurales de nuestro país por un lado los costos del precio de la energía lo pagarían una parte los usuarios con el mismo precio (en caso de ya contar con sistema de distribución) que se pagaría en otras zonas y por el otro, con el subsidio gubernamental que ya existe. Con estos dos fondos se puede solventar el financiamiento de las instalaciones solares en un plazo de poco más de 15 años, siendo que la vida útil de estas tecnologías es de más de 18 años (Castañeda,2019).

Brevemente se mostrará la rentabilidad de un proyecto de red eléctrica inteligente en zona rural, teniendo en cuenta como novedad el uso de tecnologías e instrumentos nuevos en materia de telecomunicación, tele gestión, medición avanzada y almacenamiento eficiente.

La evaluación social del proyecto se realiza utilizando los datos de los costos de la energía proporcionados por el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y se realiza



tomando datos de otros trabajos de investigación que han realizado análisis similares en municipios del norte de México y el sur (Castañeda,2019).

De acuerdo a la CFE, las zonas rurales de menos de 2000 pobladores, se les puede considerar como “usuarios de bajo consumo”, ya que incluso un grupo de casas de la zona tienen un consumo que no excede los: 80 kWh mensuales en promedio en el verano y 30 kWh mensuales el resto de las estaciones del año (CFE,2012). En este tipo de comunidades, se puede considerar la instalación de paneles solares menores a 600kW. Esto producirá una cantidad de energía superior a la que consume este usuario y de esta manera almacenar energía para poder mandarla a otras comunidades o casas alejadas.

La inversión privada en la compra de equipos de paneles solares puede parecer pérdidas económicas si solo se piensa en que los pobladores pagaran por si solos la tarifa, pero con el concepto del subsidio federal para la energía eléctrica, se vuelve una buena inversión (Castañeda,2019).

A continuación, en la Tabla 4, se muestra el flujo de caja que considera solamente el pago del usuario sin el apoyo del gobierno federal, con un VANP de pérdida de 13,203 pesos y una TIRP de menos 4.4%.

*Tabla 4.- Flujo de caja sin subsidio (Cifras en pesos de noviembre del 2018), tomado de (Castañeda,2019).*

CONCEPTO	AÑOS DE VIDA ÚTIL DEL PROYECTO							
	0	1	2	3	17	18	19	20
<b>SITUACION SIN PROYECTO</b>								
Factura total	\$ 483	\$ 483	\$ 483	\$ 483	\$ 483	\$ 483	\$ 483	\$ 483
Impuesto al Valor Agregado	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67
Costo del consumo de electricidad	\$ 416	\$ 416	\$ 416	\$ 416	\$ 416	\$ 416	\$ 416	\$ 416
Consumo en kwh	660	660	660	660	660	660	660	660
<b>SITUACIÓN CON PROYECTO</b>								
Factura total	\$ 239	\$ 239	\$ 239	\$ 239	\$ 239	\$ 239	\$ 239	\$ 239
Impuesto al Valor Agregado	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33
Pagos a la CFE (cargo mínimo mensual)	\$ 206	\$ 206	\$ 206	\$ 206	\$ 206	\$ 206	\$ 206	\$ 206
Valor de la energía producida no consumida	\$ 351	\$ 460	\$ 460	\$ 460	\$ 460	\$ 460	\$ 460	\$ 460
Energía producida no consumida kwh	648	626	626	626	626	626	626	626
<b>COSTOS TOTALES</b>	\$ 21,600	\$ 150	\$ -	\$ 150	\$ 150	\$ -	\$ 150	\$ -
Por inversión	21,600	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento	0	150	0	150	150	0	150	0
<b>Flujo neto</b>	<b>-\$ 21,006</b>	<b>\$ 553</b>	<b>\$ 703</b>	<b>\$ 553</b>	<b>\$ 553</b>	<b>\$ 703</b>	<b>\$ 553</b>	<b>\$ 703</b>
<b>VALOR ACTUAL NETO PRIVADO (VNP)</b>	<b>-\$13,203</b>							
<b>TASA INTERNA DE RENDIMIENTO PRIVADA (TIRP)</b>	<b>-4.4%</b>							



En cambio, en la Tabla 5, ahora tenemos el mismo flujo de carga para los usuarios de una comunidad rural pero ayudados con el subsidio del gobierno para la tarifa eléctrica. Se observa como el valor neto privado (VNP) ahora es de \$7652 MXN y una tasa (TIRP) que pasó a números verdes de 9.3%, mostrando que es redituable invertir en este tipo de tecnologías de REI's para electrificar zonas rurales.

Tabla 5.- Flujo de caja con subsidio federal (Cifras en pesos de noviembre del 2018), tomado de (Castañeda,2019).

CONCEPTO	AÑOS DE VIDA ÚTIL DEL PROYECTO							
	0	1	2	3	17	18	19	20
Tarifa total establecida por la CRE \$/kwh	1.704225	1.704225	1.704225	1.704225	1.704225	1.704225	1.704225	1.704225
Factura según tarifa MEM	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179
Más cargo fijo por operación del suministrador básico	786	786	786	786	786	786	786	786
TOTAL según MEM	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965
Aportación gubernamental	1,549	1,549	1,549	1,549	1,549	1,549	1,549	1,549
FLUJO de caja ajustado con aportación gubernamental	-\$ 19,457	\$ 2,102	\$ 2,252	\$ 2,102	\$ 2,102	\$ 2,252	\$ 2,102	\$ 2,252
VALOR ACTUAL NETO PRIVADO (VANP)	\$7,652							
TASA INTERNA DE RENDIMIENTO PRIVADA (TIRP)	9.3%							

Las tablas anteriores proporcionan datos recientes en cuanto al costo-beneficio en el concepto de inversión sobre un proyecto de electrificación rural en México con equipos emergentes. También nos amplían la visión sobre las ventajas que tiene implementar este tipo de tecnologías con energía renovable en zonas rurales. Sobre la duda de que, si es viable o no mejorar el modelo de sistemas que ya se tiene hasta esta etapa, se responde con este análisis técnico sobre que el costo de la energía “convencional” representada por las tarifas del mercado eléctrico es mayor que el costo de la energía solar. Es decir, para el gobierno y las instancias encargadas les es totalmente viable llevar a cabo un proyecto de este tipo y específicamente utilizando sistemas fotovoltaicos para electrificar zonas aisladas. Esto también es cierto para otro tipo de usuarios y poblaciones, pero no se considera “equitativo” que el gobierno apoye económicamente con un subsidio estas instalaciones, ya que se aleja un poco de los objetivos de los planes de la SENER y la CFE.



#### 4.4 Determinación de los cambios factibles del modelo

Basado en la metodología de Peter Checkland, se comienza en finalmente con la etapa 6 y una vez concluida la comparación de los modelos conceptuales con la situación de la realidad y después enfatizando las diferencias que surgieron, se procede a la ejecución de las medidas propuestas en la etapa previa. La metodología de sistemas suaves requiere en esta etapa 6 que se produzca una lista de cambios deseables y que puedan ser recomendaciones. Los cambios deben de satisfacer dos tipos de criterios:

- Ser deseables desde el punto de vista sistémico.
- Ser factibles o viables al momento de implementar en la vida real. Se deben de definir las acciones que se tomaran para mejorar la situación del problema.

A continuación, se describen los cambios resultantes de la comparación de la etapa anterior:

##### ***Cambios Deseables***

- Tener un plan de trabajo específico para recopilar información, datos y parámetros en todas las áreas de ingeniería involucradas en el proyecto de electrificación
- Involucrar recursos humanos con conocimientos idóneos para realizar todas las tareas de levantamiento de sitios, obras y parámetros eléctricos de consumo del lugar, previo al desarrollo del proyecto.
- Establecer una mejor comunicación por parte de la empresa y los inversionistas con los pobladores y las autoridades de la zona.
- Incentivar en el uso de las tecnologías emergentes en el campo de las redes inteligentes para mejorar los sistemas de distribución.
- Realizar un estudio de impacto social y ambiental antes y después del proyecto.
- Realizar un plan de trabajo posterior a la finalización del proyecto, con el fin de seguir dando mantenimiento de las redes eléctricas.



- Mejorar la flexibilidad de sistemas eléctricos mediante el uso de herramientas de medición avanzada y control de la red.
- Implementar un sistema de almacenamiento de energía inteligente.

### ***Cambios Viables***

- ✓ Implementar un plan de trabajo que contenga tareas específicas para los equipos o áreas de ingeniería que estén involucradas en el proyecto. El levantamiento de sitio tendrá información concisa y resumida que será útil para el desarrollo del proyecto.
- ✓ Contratar especialistas y recursos humanos capacitados para las tareas y actividades dentro de la obra. Se tendrá un supervisor especializado en cada área.
- ✓ La comunicación será bilateral y directa entre los trabajadores, supervisores y jefes de obra.
- ✓ Antes de realizar el proyecto se deberá realizar una junta con los jefes de la población o autoridades de las zonas, para informarles sobre los beneficios del proyecto y escuchar sus inquietudes y dudas sobre el impacto a su cultura o ecología.
- ✓ El proyecto al ser emergente tendrá una modernización de sus redes eléctricas con equipos de tele gestión, telecomunicación y medición avanzada de parámetros.
- ✓ La medición y monitoreo de la red eléctrica inteligente permitirá saber cuándo ocurre una descompostura de algún equipo del sistema, además que así se podrá atender en tiempo y forma los problemas técnicos a distancia y en caso necesario acudir al sitio con información recabada.
- ✓ Las redes eléctricas inteligentes implementadas ayudaran a que el mantenimiento de la red y los sistemas fotovoltaicos sea menos costoso en traslado y refacciones.
- ✓ El almacenamiento inteligente permitirá que la red pueda ser interconectada con otras casas o poblados cercanos.



---

## Conclusiones

---

1. Primeramente, abordando el pensamiento sistémico y su relevancia en este tipo de problemáticas planteadas, podemos concluir que los métodos de la Metodología de Sistemas Suaves, se centra en las problemáticas y la definición de sus modelos, que contrariamente a la definición de límites del pensamiento sistémico para la gestión de problemas o resolución, el método de Peter Checkland permite tocar esas partes de interacción humana y social, en este caso la metodología hace resaltar.
2. Actualmente nos encontramos dentro de un proceso de transformación energética donde tenemos que mejorar la infraestructura que hemos instalado en los últimos años de forma intensiva. Dicha infraestructura se instaló mediante planes y metodologías puramente técnicas que, aunque funcionales, presentan problemas que ni las normas técnicas como los manuales de los equipos pueden solucionar. Metodologías sistémicas aplicadas en este tipo de problemas son muy útiles para seguir dando una visión amplia del sistema en general y tocar otras partes que no se toman en cuenta. Esta es la clave para obtener eficiencia y seguir desempeñado un buen papel en el ámbito de la ciencias, la modernización y en este caso específico que ocurre en materia energética en el país, cambiar nuestro modelo energético.
3. El concepto de modernizar las redes eléctricas en las comunidades donde se instalan fuentes de energía renovables es relevante ya que analiza un problema que afecta a un gran porcentaje de la población del país y que dentro de este porcentaje se encuentran gran parte de poblaciones marginadas, así mediante la ciencia de sistemas se está proponiendo una metodología para utilizar tecnologías emergentes en los proyectos de electrificación de zonas rurales o marginadas. En la etapa tres de la metodología de Checkland se definen los problemas sociales y de factor



humano que entorpecen la implementación de estos proyectos o que acortan la vida de las tecnologías involucradas.

4. La definición de la raíz de los problemas al momento de llevar a cabo estos proyectos es contundente para identificar los aspectos que necesitan ser atendidos y resueltos, de esta forma con el uso de la metodología de sistemas suaves se pueden mejorar los planes actuales que utilizan en México cuando se llevan a cabo estas obras. El pensamiento sistémico es un tema amplio que abarca varios enfoques que surgieron de la teoría general de sistemas.
5. En el capítulo 4 finalmente se pueden visualizar los beneficios económicos de utilizar esta metodología en conjunto con las tecnologías de las redes eléctricas inteligentes, se muestra que, en conjunto con las herramientas sistémicas vistas en este trabajo, un proyecto de electrificación de este tipo tiene viabilidad económica en comparación con utilizar sistemas eléctricos y tecnologías convencionales.



---

## Recomendaciones para Trabajos Futuros

---

A partir de la síntesis de los cambios generales que se resaltan en la fase 4 de la metodología de sistemas suaves y su contrastación en la etapa 5, surgen nuevas ideas para enriquecer la metodología de planificación de redes eléctricas inteligentes. Como recomendación a trabajos futuros, con la información obtenida en la etapa 6 se puede abordar la etapa 7 con el fin de mejorar la situación a la que se llegó en este trabajo. También se puede abordar esta metodología y modificar el modelo para enfatizar más en los problemas de carácter administrativo y hacer caso omiso de caracteres más técnicos que se trataron en este trabajo. Un trabajo a futuro se puede encaminar a visualizar ahora el sistema de redes eléctricas inteligentes y su planificación como una empresa que necesita optimizar y mejorar su toma de decisiones a través de la Teoría de la decisión o de desarrollo organizacional. El consumo de energía eléctrica se basa en el comportamiento diario de un usuario, este comportamiento se puede monitorear mediante el uso de las tecnologías más nuevas, este comportamiento humano sigue una variedad de normas sociales y con la ayuda de metodologías sistémicas se pueden desarrollar a futuro modelos que tomen en cuenta estos comportamientos y factores sociales además de las características técnicas que ya se tienen en los modelados. Considerando la interdisciplinariedad y número de variables en un sistema estudiado como el de este trabajo, el comportamiento humano con relación al consumo de la energía es un problema de alta complejidad que se ramifica a nivel organizacional y puede atacarse con distintas visiones (Karresand, 2013).



---

## Referencias

---

- Ackerman T. & Andersson G. (2000). *Distributed generation: a definition*. ELSEVIER, vol 57, pp.195-204, 2000.
- B.I.D. Banco Interamericano de Desarrollo (2016). *Unidad de Planeación energética. Visión 2030 de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME*, Washington 2016.
- Banco Mundial (2017). *Documento de evaluación inicial del proyecto. Proyecto Servicios Integrales de Energía Mx*. Ciudad de Washington.
- Bhattacharyya S., Palitb D. (2016). *Mini-grid based off-grid electrification to enhance electricity access in developing countries: ¿What policies may be required?* Energy Policy (ELSEVIER). Vol 94, July 2016.
- Bolívar Maya D. & Montoya J. (2018) *Revisión Bibliográfica de Los Obstáculos a la implementación de Redes Inteligentes en Colombia*. Tesis para obtener el grado de Economista presentada en el año 2018 en la Escuela de Economía y Finanzas de Medellín.
- Cámara de Diputados (2017). *Boletín para la comunicación sobre las viviendas sin electricidad en comunidades indígenas y rurales*. Boletín No.1343 para la Cámara de Diputados LXV Legislatura, México.
- Castañeda J. (2019). *Análisis costo-beneficio de la instalación de paneles solares en las viviendas de la población más marginada de México*. Instituto Mexicano para la Competitividad, México.
- CFE-Comisión Federal de Electricidad (2012). *Smart Grid Mexico: A Reverse Trade Mission to the United States*. U. S. Trade and Development Agency. Atlanta, E.U. A.
- Chamochín M. (2016). *Desarrollo de un Modelo de electrificación para Comunidades rurales y Zonas Aisladas*. Trabajo de Proyecto de Investigación.



Presentado en enero de 2016 en la Dirección de Innovación y Sostenibilidad y Calidad, España.

Checkland P. (1981), *Soft Systems Methodology: A 30-Year Restrospective*. JHON WILEY & SONS, LTD C, New York.

Costello K. (2012), *Building on "Soft Systems for Soft Projects": Project management lessons learned*, Sydney: University of Technology.

DOF. (2014). *Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica*. Publicada el mes de octubre del 2014 Tercera Edición, México.

Dondi P. & Bayuomi D. (2002). *Network integration of Distributed Power Generation*. ELSEVIER, pp.1-9,2002.

EPRI-Electric Power Research Institute (2000). *Engineering Guide for Integration of Distributed Generation and Storage into Power Distribution Systems*. EPRI, Palo alto, california, 2000.

FUNSEAM-Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental (2012). *Smart Grids: Tecnologías prioritarias*. Informe estratégico elaborado en el CITCEA-UPC Catalunya, España.

Gaona Jiménez J.L. (2009). *Aspectos para la Planeación de Redes de Distribución*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Electricista presentada el año 2009 en la ESIME-Zacatenco del IPN.

Gascó M.V (2013). *Integración de Energías Renovables en Redes Eléctricas Inteligentes*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería eléctrica presentada el año 2013 en la Universidad de Alicante, España.

Karresand H. (2013), *Creating New Energy Orders: Restrictions and opportunities for energy efficient behavior*. s.l., ECEEE.

León Trigo L.I., Reyes Archundia E., Gutiérrez Gnechi J.A., Méndez Patiño A., Chávez Campos G.M. (2019). *Smart Grids: Current Situation, Challenges*



*and Implementation*. Revista Ingeniería Investigación y Tecnología aceptado el 17 de enero de 2019.

Limón Portillo A. (2017). *Energía Solar en México: su potencial*. Artículo web por limón Portillo Alejandro en Centro de Investigación Económica y Presupuestaria. Publicado en 2017.

Mendieta Vicuña D. & Escribano Pizarro J. (2015). *Electricidad, Desarrollo Rural y Buen Vivir*. UACM, Ciudad de México.

Momoh J. (2012). *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*, 1ª ed. New Jersey, USA: Wiley.

Moreno I.M. (2015). *Técnicas Avanzadas de Protección de Redes Eléctricas Inteligentes*. Memoria de Tesis Doctoral presentada en octubre 2015 en la Universidad de Córdoba.

Nader F. (2014). *Smart Grid Regulatory Framework for Mexico*. Reporte Final presentado en el CRE en Virginia USA.

Pereira Mendes C.F. (2019). *Análisis de la Integración de Tecnología Smart Grid en Sistemas Eléctricos Insulares con Elevada Penetración de energías Renovables*. Tesis para obtener el grado de Doctor presentada en el año 2019 en el CIRCE de la Universidad de Zaragoza.

Pesántez Sarmiento P. (2018). *Planificación Eficiente de Redes eléctricas Inteligentes (Smart Grids) Incluyendo la Gestión Activa de la Demanda: Aplicación Ecuador*. Tesis para obtener el grado de Doctor presentada en mayo del 2018 en la Universidad Politécnica de Valencia en España.

PND- Gobierno de la República. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. México.

Programa Sectorial de Energía (2013). *Diario Oficial de la Federación*, México, 2013.

Quintana Morales B., Granadeth Salcedo N. (2012). *Estado del Arte de las Redes Inteligentes “Smart Grid”*. Tesis para obtener el cargo de ingeniero



electricista presentado el año 2012 en la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Quintero Crespo E. (2010). *Desarrollo de un Modelo de Fallas en Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica Utilizando Técnicas de Inteligencia Artificial*. Tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería de sistemas presentada en abril del 2010 en la Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez González O. (2016). *Impacto de la Generación Distribuida en la Confiabilidad de Redes de Distribución*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero electricista presentada en junio del 2016 en la ESIME-Zacatenco del IPN, México.

SENER-secretaría de Energía (2015). *Estrategia Nacional de Energía*. Emitida en febrero del 2014. CDMX, México.

SENER-secretaría de Energía (2017). *Manual de Buenas Practica Ambientales para la Construcción de Obras de Electrificación con la Aplicación de Granjas Solares*. Emitida en el año 2017. CDMX, México.

Ulrich W. (2002), *Critical systems heuristics*. In H.G. Daellenbach and R.L. Flood (eds), *The Informed Student Guide to Management Science*, London: Thomson, 72f.

Vicini Hernández R.A. (2009). *Smart Grids: Un nuevo concepto para la optimización de redes eléctricas*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Energética. Presentada en diciembre de 2009 en el Tecnológico de Monterrey.

Wissner M. (2011). *The Smart Grid-A saucerful of secrets? Applied Energy*. ELSEVIER 88(7): 2509-2518.

Yornaldo Abdias P.B. (2019). *Diseño del Sistema Fotovoltaico de 3 KW en Zonas Rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash*. Tesis para obtener el grado de ingeniero Eléctrico y de Potencia. Presentada en 2019 en la Universidad Tecnológica de Perú.



---

## Glosario de términos

---

<b>Almacenamiento de Energía</b>	Sistemas de almacenamiento con baterías capaces de almacenar la electricidad de manera eficiente. Son una parte principal de las fuentes de energía renovables.
<b>Carga Eléctrica</b>	Es un elemento o componente que se opone al flujo de la corriente eléctrica y consume energía.
<b>Consumo Eléctrico</b>	Es la energía eléctrica que se aprovecha o se utiliza por las cargas eléctricas de una red.
<b>Despacho eléctrico</b>	Es el mecanismo que decide el orden en el que cada fuente de generación suministra su energía a la red en un periodo determinado, la fuente con mayor eficiencia y menos carga es la principal para proporcionar energía al sistema eléctrico nacional.
<b>FACTS</b>	Sistemas de control que permiten manejar los parámetros de los sistemas eléctricos de potencia (impedancia, ángulo de fase, oscilaciones a frecuencias distintas).
<b>Flexibilidad de Sistemas Eléctricos</b>	Es la propiedad de un sistema eléctrico de poder interconectarse con otros elementos de otras redes eléctricas sin mostrar fluctuaciones.
<b>Flujo de caja</b>	Reporte financiero que indica las entradas y salidas de dinero en una empresa o proyecto dentro de un período de tiempo.
<b>Generación aislada</b>	Es una planta de generación eléctrica que no se encuentra conectada a otro sistema de generación eléctrica.
<b>Generación Distribuida</b>	Es la generación de energía eléctrica mediante la interconexión de otras fuentes de energía más pequeñas que están más cerca las cargas eléctricas.
<b>Inversor</b>	Dispositivo electrónico que convierte la corriente alterna en corriente continua con niveles de tensión y frecuencia determinados.
<b>Levantamiento eléctrico</b>	Argot de la ingeniería eléctrica para referirse a inspeccionar una zona previamente a realizar una



	obra eléctrica, un levantamiento incluye medidas, análisis de terreno, inspección de espacio aéreo y toma de lectura de temperaturas del lugar, incidencia solar y resistencia de suelos.
<b>Medidor inteligente</b>	Dispositivo de medición de tecnología avanzada que toma lecturas y realiza operaciones sobre los parámetros eléctricos medidos de una red.
<b>Micro red</b>	Red eléctrica de tamaño compacto que pueden generar su propia energía y operar de forma autónoma.
<b>Políticas publicas</b>	Son medidas y acciones que un gobierno utiliza para solucionar problemas de la sociedad mediante el uso de estrategias y recursos.
<b>Potencia Eléctrica</b>	Es la variación del trabajo o energía en función del tiempo, en energía eléctrica es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento.
<b>Red</b>	Es el sistema eléctrico de potencia del país, representado como el sistema de componentes eléctricos instalados para generar, suministrar, transferir y utilizar la energía eléctrica
<b>Red de Distribución</b>	Es la etapa de la red eléctrica que se encarga de distribuir la energía eléctrica a niveles de tensiones bajos para alimentar directamente a las ciudades o poblados.
<b>Red de Transmisión</b>	Es la etapa de la red encargada de transmitir la energía eléctrica mediante líneas aéreas o subterráneas. Los niveles de tensión son altos, superiores a los 50 kV en México.
<b>Regulador de Tensión</b>	Es un dispositivo en los sistemas eléctricos diseñado para mantener un nivel de tensión constante o a un nivel determinado.
<b>REI</b>	Abreviatura de su nombre completo: “Red Eléctrica Inteligente”, la cual es un concepto de un tipo de red con la capacidad de tomar decisiones, monitorear y mejorar la conectividad de un sistema eléctrico.



<b>Sistema Eólico</b>	Es el sistema de generación eléctrica que utiliza la energía cinética del viento para convertirla en energía eléctrica mediante aerogeneradores.
<b>Sistema Fotovoltaico</b>	Sistema de generación de energía compuesto de paneles solares para convertir la energía solar en energía eléctrica y suministrarlo a la red.
<b>Tele gestión</b>	Conjunto de tecnologías informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones que permiten el control a distancia de instalaciones técnicas aisladas o distribuidas geográficamente.
<b>Tasa Interna de Retorno Privado (TIRP)</b>	Indica la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión de un proyecto.
<b>Valor Actual Neto Privado (VANP)</b>	Es un indicador financiero para determinar la viabilidad de un proyecto. Si después de medir los ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto privado es viable.
<b>Watt</b>	Unidad de medida de la potencia eléctrica.
<b>Zona rural</b>	Zona geográfica con poblaciones menores a 500 personas, cuyas viviendas se encuentran distribuidas en toda el área y que se encuentran alejadas de la urbanización.



---

## Productos Derivados de la Tesis

---

### Congresos

Asistencia y presentación del trabajo: *Metodología Sistémica para la Planificación de Redes Eléctricas Inteligentes en zonas rurales de México*. XX. Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas. Noviembre 2021.

### Proyectos de Investigación

Colaboración en el proyecto de investigación: *Estado del Arte de las Redes Eléctricas Inteligentes*. PIFI- IPN 202. N. de proyecto 20211791.

