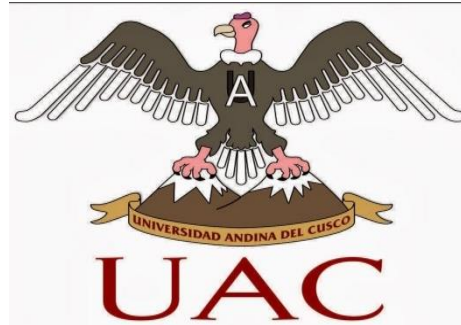




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO



TESIS

**IMPACTOS POR LA INTEGRACION DE LA GENERACION DISTRIBUIDA
CON ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN REDES DE MEDIA TENSION
DE LA CIUDAD DEL CUSCO**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO

ACADEMICO DE DOCTOR EN MEDIO

AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Presentado por:

José Wilfredo Callasi Quispe

ASESOR: Dr. Herbert Cosio Dueñas

CUSCO – PERÚ

(AÑO – 2020)



AGRADECIMIENTOS

Ahora que he concluido mi Tesis Doctoral, es momento de pararse un momento a mirar atrás, y recordar cómo he llegado hasta aquí, y dar las gracias a todas las personas que han hecho posible, de una manera u otra, haber logrado culminar este importante trabajo.

A los primeros que debo darles las gracias son a mis padres que tengo la suerte de tenerlos a mi lado, ellos me dieron la vida y me educaron en el área de la Ingeniería. Ellos me transmitieron la constancia y la perseverancia para lograr objetivos en la vida. Han pasado muchos años desde entonces y sólo puedo expresar un agradecimiento infinito hacia la inagotable generosidad y bondad de mis padres, hacia su respeto y apoyo incondicional en todos los sentidos, en todas las decisiones que he tomado siempre. Ellos creyeron en mí incluso cuando ni yo mismo lo hacía, y han dedicado su vida a darnos lo mejor a mis hermanas y a mí, a sacrificarse por nosotros para que tuviéramos todo lo necesario para ser felices. Gracias de todo corazón, nunca podré devolverles todo lo que me han dado, sin Uds. nada de esto hubiera sido posible. Por supuesto, junto a ellos, debo agradecer también su apoyo, su compañía a mi esposa y a mis dos hijos que son el sostén de mi vida, y mención especial a mi primera nieta recién nacida.

De igual manera mi más sincero agradecimiento al Director de la Escuela de Posgrado Dr. Alejandro Pablo Pletickosich Picon, a mi Asesor de Tesis Dr. Herbert Cosio Dueñas por haberme brindado su ayuda, consejos cuando lo necesitaba y sobre todo por esa gran amistad que me brinda, a mis Dictaminantes: Dr. Nicolás Francisco Bolaños Cerrillo y al Dr. Alejandrino Donato Holguín Segovia, quienes



colaboraron a perfeccionar y concluir con esta Tesis Doctoral en esta Universidad tan prestigiosa que es la Universidad Andina del Cusco,

A mis compañeros de sala de doctorandos, y a los que hoy ya son doctores y a los que ya vienen, con los que compartí las mismas experiencias, por su apoyo y ánimo.

A mis colegas y amigos que me brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de mis objetivos.

En general quisiera agradecer a todos y cada uno de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis doctoral, con sus altos y bajos y no necesito nombrarlos porque tanto ellos como yo sabemos lo importante que fueron y les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración y amistad.



RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar los impactos positivos y negativos del acoplamiento de las tecnologías solares al sistema eléctrico del departamento del Cusco. Los embates continuados del efecto invernadero, que no solo socava el equilibrio de los ecosistemas en general, sino también representa la principal amenaza para la preservación de los asentamientos humanos. La ciencia en el propósito de prolongar la impronta del hombre en el tiempo, se sirve de los medios para idear nuevas formas de coexistir con el entorno natural de existencia. El consumo de energía por fuentes fósiles es altamente perjudicial a razón de la emisión de gases de coadyuvan al impulso del cambio climático y que, de paso, conforman una generación masiva con presupuestos elevados de ejecución, aunado a que el esquema eléctrico actual dificulta una electrificación total del área servida, registrándose aún en los territorios foráneos, más del 20% de usuarios sin redes eléctricas. El estudio se situó metodológicamente en una investigación aplicada, con un nivel explicativo de corte transversal y un diseño no experimental. Se aplicó un cuestionario, así como la modelación eléctrica de la penetración de las nuevas tecnologías, estableciendo como resultados, el emplazamiento de generación distribuida solar, como suministro eléctrico aislado para la carga estudiada, dispone de elementos favorables en términos técnico (mejora sustantiva), ambiental (las emisiones contaminantes se inhiben en la atmósfera), social, normativo y económico (ahorro potencial del servicio eléctrico). Se determinó que los módulos de paneles solares dimensionados en proporción del modelo comercial de 250Wp, corresponde a los requerimientos de potencia, proveyendo beneficios de distinta



índole, de acuerdo con los hallazgos de la simulación eléctrica, que conllevan a la inclusión de una forma de producción de energía en sitio para alimentar una demanda en proporciones de incremento lineal y contribuir significativa a la contención del calentamiento global identificado.

Palabras claves: generación distribuida, energía solar, impactos



ABSTRACT

The research aimed to assess the positive and negative impacts of coupling solar technologies to the electrical system of the Cusco department. Continued onslaught of the greenhouse effect, which not only undermines the balance of ecosystems in general, but also poses the main threat to the preservation of human settlements. Science in the purpose of prolonging the imprint of man in time, uses the means to devise new ways of co-managing with the natural environment of existence. Energy consumption from fossil sources is highly damaging because of the emission of adjuvan gases at the momentum of climate change and which, by the way, make up a massive generation with high execution budgets, together with the current electricity scheme it makes it difficult to fully electrify the area served, still registering in the foreign territories, more than 20% of users without power grids. The study was methodologically based on applied research, with an explanatory level of cross-section and a non-experimental design. A questionnaire was applied, as well as the electrical modelling of the penetration of new technologies, establishing as results, the site of solar distributed generation, as an isolated electrical supply for the studied load, has elements technically (substantial improvement), environmental (polluting emissions are inhibited in the atmosphere), social, regulatory and economic (potential savings of electricity service). It was determined that the solar panel modules sized in proportion to the 250Wp business model, correspond to the power requirements, providing benefits of different kinds, in accordance with the findings of the electrical simulation, which lead to the



inclusion of a form of on-site energy production to fuel demand in linear lyratio ratios and contribute significantly to the containment of identified global warming.

Keywords: distributed generation, solar energy, impacts



RESUMO

A pesquisa teve como objetivo avaliar os impactos positivos e negativos do acoplamento de tecnologias solares ao sistema elétrico do departamento de Cusco. O ataque contínuo do efeito estufa, que não só prejudica o equilíbrio dos ecossistemas em geral, mas também representa a principal ameaça à preservação dos assentamentos humanos. A ciência com o propósito de prolongar a marca do homem no tempo, usa os meios para elaborar novas formas de co-gestão com o ambiente natural da existência. O consumo de energia proveniente de fontes fósseis é altamente prejudicial devido à emissão de gases adjuvantes na dinâmica das alterações climáticas e que, a propósito, constituem uma geração maciça com orçamentos elevados de execução, juntamente com o actual regime de electricidade torna difícil eletrificar totalmente a área servida, ainda registrando nos territórios estrangeiros, mais de 20% dos usuários sem redes de energia. O estudo foi metodologicamente baseado em pesquisa aplicada, com um nível explicativo de seção transversal e um projeto não experimental. Foi aplicado um questionário, bem como a modelagem elétrica da penetração de novas tecnologias, estabelecendo como resultados, o local de geração distribuída solar, como um fornecimento elétrico isolado para a carga estudada, tem elementos tecnicamente (melhoria substancial), ambiental (emissões poluentes são inibidas na atmosfera), social, regulamentar e econômica (potencial poupança do serviço elétrico). Foi determinado que os módulos de painéis solares dimensionados em proporção ao modelo de negócio 250Wp, correspondem aos requisitos de energia,



proporcionando benefícios de diferentes tipos, de acordo com os achados da simulação elétrica, que levam a a inclusão de uma forma de produção de energia no local para alimentar a demanda em proporções lineares de λ ratio e contribuir significativamente para a contenção do aquecimento global identificado.

Palavras-chave: geração distribuída, energia solar, impactos



ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
RESUMO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	x
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema	6
1.2.1 Problema General	6
1.2.2 Problemas Específicos.....	7
1.3 Justificación de la Investigación	7
1.3.1 Conveniencia.....	7
1.3.2 Relevancia Social	8
1.3.3 Implicancias prácticas	8
1.3.4 Valor teórico.....	8
1.3.5. Utilidad Metodológica	9
1.4 Objetivos de la Investigación	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos.....	9
1.5 Delimitación del Estudio	10
1.5.1 Delimitación Espacial	10
1.5.2 Delimitación Temporal.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1 Antecedentes de Estudios.....	11
2.1.1 Antecedentes Internacionales	11
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	18
2.2 Bases Teóricas	27
2.2.1 Generación Distribuida	27
2.2.2 Sistema de Distribución	30



2.2.2.1 Sub-sistema de distribución primaria 36

2.2.2.2 Sub-sistema de distribución secundaria 37

2.2.2.3 Instalaciones de alumbrado público 39

2.2.2.4 Unidad de alumbrado público 41

2.2.3 Red de Distribución Primaria 43

 2.2.3.1 Tensiones de distribución primaria..... 44

2.2.4 Generación Centralizada vs Generación Distribuida 46

2.2.5 Generación Distribuida Renovable 54

 2.2.5.1 El sistema solar fotovoltaico interconectado a la red..... 55

2.2.6 Efectos de la generación distribuida en un sistema eléctrico..... 61

2.2.7 Gases de efecto invernadero 69

 2.2.7.1 Dióxido de carbono (CO₂)..... 75

 2.2.7.2 Efecto invernadero..... 77

 2.2.7.3 Cambio climático..... 82

2.2.8 Radiación solar, onda electromagnética y fotón 84

2.3 Hipótesis..... 85

 2.3.1 Hipótesis General 85

 2.3.2 Hipótesis Específicas 86

2.4 Variables..... 86

 2.4.1 Identificación de Variables..... 86

 2.4.1.1 Variable independiente..... 86

 2.4.1.2 Variable Dependiente: 87

 2.4.2 Operacionalización de las Variables..... 88

2.5 Definición de Términos Básicos 89

CAPÍTULO III: MÉTODO 98

 3.1 Alcance del Estudio 98

 3.2 Diseño de Investigación 99

 3.3. Población..... 100

 3.4. Muestra..... 101

 3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... 102

 3.5.1. Técnicas..... 102

 3.5.2. Instrumentos..... 103

 3.6 Validez y Confiabilidad del Instrumentos 103

 3.6.1 Validez..... 103



3.6.2 Confiabilidad	104
3.7 Plan de Análisis de Datos	105
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	108
4.1 Resultados respecto a los objetivos específicos	108
4.1.1 Modelamiento eléctrico de la generación distribuida en M. T.....	108
4.1.1.1 Determinación de la demanda eléctrica	111
4.1.1.2 Determinación del recurso energético	114
4.1.1.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	116
4.1.2 Determinación de los efectos técnicos de la interconexión	119
4.1.2.1 Simulación con DIGISILENT Power Factory	120
4.1.3 Análisis energético para la determinación de los efectos ambientales.....	129
4.1.4 Análisis Económico, Normativo y Social de la incorporación de la generación distribuida en las cargas de Media Tensión	133
4.1.4.1 Análisis Económico.....	133
4.1.4.2 Análisis político y normativo	137
4.1.4.3 Análisis de datos para la determinación de los problemas sociales.....	141
4.2 Resultados respecto al objetivo general.....	145
CAPITULO V: DISCUSION	149
5.1 Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos.....	149
5.1.2 Impactos Técnicos de la interconexión de la generación distribuida en cargas de M.T.	150
5.1.3 Impactos Económicos en usuarios de M.T. de la ciudad del Cusco.....	150
5.1.4 Impactos Ambientales por la integración de la tecnología seleccionada.....	151
5.1.5 Impactos sociales en la población en estudio.....	152
5.1.6 Impactos Normativos por el uso de esta tecnología.	152
5.2 Limitaciones	153
5.3 Comparación crítica con la literatura existente	153
5.4 Implicancias del estudio.....	155
CONCLUSIONES.....	157
RECOMENDACIONES.....	159
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	160
ANEXOS	171
ANEXO 01: Matriz de Consistencia	172
ANEXO 02: Validación de Expertos al Instrumento.	173



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características del dimensionamiento..... 12

Tabla 2. Análisis económico..... 13

Tabla 3. Determinación de la viabilidad económica..... 20

Tabla 4. Dimensionamiento del sistema propuesto..... 24

Tabla 5. Criterio para la determinación de los paneles solares 24

Tabla 6. Niveles de tensión en Perú..... 45

Tabla 7. Gases de efecto invernadero 78

Tabla 8. Variable independiente 86

Tabla 9. Variable dependiente 87

Tabla 10. Fiabilidad Alfa de Cronbach..... 105

Tabla 11. Criterios para la comprobación de Hipótesis 106

Tabla 12. Histórico de demanda 112

Tabla 13. Demanda Máxima Anual 113

Tabla 14. Proyección de la demanda 114

Tabla 15. Resumen de los paneles requeridos por escenario 119

Tabla 16. Flujo de potencia de las condiciones actuales de la red eléctrica 122

Tabla 17. Escenarios de penetración fotovoltaica propuesto 123

Tabla 18. Flujo de potencia resultante con la interconexión de la GD 124

Tabla 19. Parámetros resultantes de la simulación eléctrica..... 125

Tabla 20. Valores de los Impactos Técnicos Positivos, niveles de confianza y t de student
..... 128

Tabla 21. Valores de los Impactos Ambientales Positivos, niveles de confianza y t de
student..... 132

Tabla 22. Módulos Fotovoltaicos comerciales..... 134



Tabla 23. Estimación de consumo y costo de la energía..... 136

Tabla 24. Costos de adquisición de la tecnología solar 136

Tabla 25. Valores de los Impactos Económicos, Normativos y Sociales Positivos, niveles de confianza y t de student..... 144

Tabla 26. Valores de los Impactos Positivos, niveles de confianza y t de student 147



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación del Estudio..... 10

Figura 2. Comparación de la potencia generada con SFCR y potencia convencional..... 15

Figura 3. Energía inyectada al sistema..... 15

Figura 4. Energía acumulada disponible..... 15

Figura 5. Evolución de la generación de energía convencional 20

Figura 6. Emisiones de CO2 21

Figura 7. Estimación del costo de la energía solar 21

Figura 8. Sistema de distribución..... 31

Figura 9. Generación centralizada y generación distribuida 50

Figura 10. Generación centralizada vs generación distribuida 52

Figura 11. Sistema de generación distribuida 53

Figura 12. Sistema de generación distribuida solar 56

Figura 13. Componentes de un sistema de generación fotovoltaicas..... 59

Figura 14. Diagrama de Sistema Fotovoltaico..... 60

Figura 15. Evolución de las emisiones de CO2 67

Figura 16. Modelación del efecto invernadero 80

Figura 17. Coeficientes de absorción de gases atmosféricos 81

Figura 18. Absorción radiactiva de la atmósfera 81

Figura 19. Modelo Eléctrico del primer escenario..... 109

Figura 20. Modelo Eléctrico para el segundo escenario 110

Figura 21. Modelo Eléctrico para el tercer escenario 110

Figura 22. Representación del histórico de demanda..... 112

Figura 23. Tendencia de la demanda máxima anual 113

Figura 24. Distribución de la Irradiancia en el departamento del Cusco 115



Figura 25. Matriz energética del Perú 119

Figura 26. Vista aérea de la red de media tensión UNSAAC 121

Figura 27. Modelado de la red eléctrica en Digisilent 121

Figura 28. Modelado de la red propuesta..... 123

Figura 29. Cargabilidad del transformador simulada..... 126

Figura 30. Pérdidas estimadas en la simulación 126

Figura 31. Cargabilidad del distribuidor simulada..... 127

Figura 32. Pérdidas estimadas en el conductor por simulación 127

Figura 33. Proyectos de generación distribuida solar..... 129

Figura 34. Energía eléctrica producida por los paneles solares..... 130

Figura 35. Energía eléctrica que consume 130

Figura 36. Uso de generación distribuida solar 131

Figura 37. Suministro de energía eléctrica convencional 131

Figura 38. Normas que regulan el sistema eléctrico..... 138

Figura 39. Calidad del servicio eléctrico..... 139

Figura 40. Leyes que regulan la generación distribuida solar..... 139

Figura 41. Incendios por la implementación de la generación distribuida..... 140

Figura 42. Normarse la opción de energía sobrante GD..... 140

Figura 43. Suministro de energía eléctrica sin interrupciones 141

Figura 44. Generación distribuida solar como energía alternativa 142

Figura 45. Energía eléctrica que presenta deficiencia 142

Figura 46. Tecnología para el uso de la energía solar 143

Figura 47. Molestias frecuentes por interrupciones servicio eléctrico..... 143

Figura 48. Acoplamiento de la generación distribuida solar 144



INTRODUCCIÓN

A razón de la evolución de los tiempos históricos, específicamente una vez tuvo lugar los sucesos enmarcados en la revolución industrial, en cada una de sus fases, la idea que ocupa las mentes de la comunidad científica es cómo adelantar los progresos sociales sin agredir el contexto que lo engloba; lo anterior se debe, a todas las variantes que ocurren en el seno de los eco sistemas como consecuencia directa de una influencia axiológica desmesurada, en búsqueda de su propio bienestar.

Un complemento del avance tecnológico es la energía eléctrica y fundamentalmente, las formas de generación involucradas, ya que las fases posteriores de transmisión y distribución son inocuas para el ambiente. El sustento de las economías de los países occidentales, se ciernen en los recursos naturales de mayor arraigo para el impulso de los Producto Internos Brutos, así como de las matrices energéticas que, desde la entrada del siglo XX, se caracterizó por una explotación desproporcionada de recursos fósiles en aras de la producción de los bloques de energía para el suministro normal.

La consecución de dichas matrices, que se fortalecieron al ritmo del comportamiento de una demanda eléctrica que se incrementa en una tendencia casi lineal, contribuyeron de igual manera a la propulsión de un cambio climático que cada vez toma más fuerza y protagonismo en la reversión del ciclo normal de la biodiversidad y que se augura como una futuro devastador y no muy lejano de lo que se conoce en la actualidad.

De igual manera, al hecho de una producción de energía cuya fuente es altamente contaminante, se añade una calidad de servicio, cuya acepción se entiende por la



cuantificación de interrupciones y el perfil de la onda de tensión asociada, aspecto que no suele profesar de una consideración positiva por el lado de los usuarios.

Todo este ambiente es lo que ha propiciado un cambio paulatino en las metodologías de generación eléctrica convencional, abriendo el paso para un tipo de energía cuya fuente es limpia o renovable y que no es de alcance masivo y de altos costos, definiendo el contexto de aplicación de la generación distribuida o generación en sitio que, con la base de una alimentación renovable, los bloques de energía local, son suministrados en la misma ubicación de la demanda eléctrica.

Entonces, frente a los embates del efecto invernadero, algunos acuerdos internacionales se han manifestado a favor de impulsar en las naciones comprometidas, la incorporación al sistema eléctrico local, el tipo de generación distribuida, de acuerdo a las potencialidades endógenas, para no solo subsanar los aspectos concernientes a una calidad de servicio, sino también aportar acciones en pro de contener el paso desmedido del cambio climático global.

Son por las razones argumentadas, que se esgrimió una investigación que pudiese dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuáles serán los impactos positivos y negativos de la incorporación de una generación distribuida con Energía Solar Fotovoltaica en las inmediaciones del departamento del Cusco-Perú?, cuya constitución se presentó por medio de la culminación de cuatro (4) capítulos:

El capítulo I Introducción: en donde se explica el planteamiento del problema de una generación por fuentes convencionales fósiles y los resultados derivados de dichas formas de producción, formulación, justificación y objetivos.



El capítulo II Marco Teórico: con antecedentes de la investigación, los cuales fueron expuestos como contenidos referenciales al trabajo, teórica, definición de términos, declaración de variables y operacionalización de las mismas.

El capítulo III Método: que establece los lineamientos metodológicos de la investigación, conforme un diseño no experimental de enfoque cuantitativo, nivel explicativo para un tipo de trabajo aplicado, cuyo espacio muestral se constituyó por 29 sujetos reconocidos como usuarios de la empresa Electro Sur Este, para los cuales se aplicó un instrumento tipo cuestionario a fin de evaluar las consideraciones asociadas al servicio y la generación distribuida.

El capítulo IV Resultados: se efectuó el procesamiento de datos y se muestra los resultados respecto a los objetivos específicos y al objetivo general, con el planteamiento de escenarios de proyección de demanda y penetración de la tecnología solar, como potencial inminente de la región del Cusco al registrar los niveles de irradiancia más altos del cono sur en un caso de estudio puntual, para discernir con ello los efectos eléctricos sobre la cargabilidad y pérdidas técnicas en el transformador y alimentador principal.

El Capítulo V Discusión se muestra los hallazgos más relevantes y significativos, también se hizo una comparación crítica con los antecedentes de este estudio, asimismo en este espacio se hallan las conclusiones en forma de impactos comprendidos en orientación a los aspectos: económicos, sociales, normativos y técnicos que conlleva la incorporación de un tipo de generación distribuida solar al sistema interconectado local.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El hombre, conforme mejora las condiciones de vida, incrementa igualmente, los medios para lograr la mayor calidad de vida posible; dentro de estas formas de sentir confort, la electricidad, se convierte en la herramienta por excelencia que mueve los cambios y avances tecnológicos, que en materia se vienen generando, así que, integrado a estos avances, pareciera observarse una tendencia mundial, dirigida a utilizar las energías renovables, dentro de las cuales se encuentra la energía solar fotovoltaica, de este modo, estas fuentes no convencionales, pueden tener una gran, mediana o pequeña capacidad de generación eléctrica.

Se prevé de este modo que, las redes de distribución de media tensión, se enfrentan a diversos desafíos, tal como lo es el aumento de la generación distribuida (GD), surgida, dado el incremento de la demanda eléctrica y las redes de distribución de electricidad, por lo que su definición surge dada la implantación de generación de energía mediante generación renovable, en cualquiera de sus tipos (fotovoltaica, eólica) cerca de las cargas de consumo de los usuarios finales.

Se hace importante agregar que, tal concepto de GD. data de muchos años, la cual se puede entender como un tipo de generación de electricidad que permite la interconexión a un punto inmediato dentro del esquema de potencia (González Longatt, 2014), iniciado con redes eléctricas que operaban con corriente continua con lo que se conseguía un equilibrio entre la generación y la demanda de energía



eléctrica, de allí que, la generación de electricidad distribuida a pequeña escala en potencia, se integra en la red convencional como un elemento de eficiencia de producción y gestión, asimismo, ayuda con la mitigación de los cambios climáticos producidos por los gases de efecto invernadero, dejando de ser una simple conexión para entrega de la energía eléctrica producida.

Es propicio señalar que, existen grandes redes de transporte y distribución de energía eléctrica, las cuales vienen evolucionado significativamente, formadas por grandes centrales de generación, lo que comprende el esquema básico del proceso normal de electrificación, que se encuentra comprendido por las fases de: generación, transmisión, distribución y comercialización, de conformidad con los recursos y potencialidades de las zonas (Ramírez y Avilio, 2014), por ende, al interconectar varias centrales de generación, estaría lográndose un aumento de la continuidad del suministro, razón por la cual, estos sistemas interconectados, harían posible la utilización de dicha generación distribuida, pudiendo considerar, que el desarrollo de las futuras redes eléctricas, tendrían su base en la complementariedad, proveniente de la GD con las redes convencionales; desde esta perspectiva, se considera la generación fotovoltaica, la cual combinada con la generación distribuida, se muestra como un avance importante hacia la eficiencia y sostenimiento del servicio eléctrico.

Sin embargo, el enfoque de mejoramiento, no solo trataría de reconocer como el sistema eléctrico crece a pasos agigantados con la ayuda de las nuevas tecnologías, igualmente lo sería, conocer los efectos positivos o negativos que este tipo de generación (fotovoltaica), tendría sobre las redes de distribución, es decir, en el sistema eléctrico general, mostrando así el punto de los estándares de calidad de



dicho servicio, esto, de acuerdo a la normativa técnica, legal y de usabilidad, que garantice a la vez seguridad, tanto de los usuarios, como de los trabajadores u operadores de esta red.

Ante tal situación no escapa Perú, por lo que se asume lo expuesto por la Pontificia Universidad Católica del Perú (2017), pues señala, que según datos del año 2011 del Grupo de Apoyo del Sector Rural, el 16% población peruana no tiene electricidad en sus casas, cifra que se eleva a 22% en las zonas rurales, referenciando así mismo que, para la Dirección General de Electrificación Rural, aún existen cerca de 500.000 hogares ubicados en zonas rurales que faltan para ser atendidos por los programas públicos de electrificación, por lo que dentro del Plan de Electrificación Nacional de Electrificación Rural de este país, cerca de 345.823 hogares, deben ser cubiertos con módulos fotovoltaicos en espacios rurales.

Lo expuesto, lleva a apreciar que, en Perú, en la mayoría de los casos. se estaría utilizando fuentes renovables no convencionales fotovoltaicas de pequeña capacidad, solo para cargas en zonas rurales y en zonas urbanas en poca cantidad, ambos conectados en forma aislada a las redes convencionales, esto con la posible promoción de tecnologías de energías renovables que llevarían al logro de la eficiencia energética, favoreciendo la electrificación rural con energías renovables.

Ahora bien, para este caso de estudio, la demanda eléctrica de la población en la región del Cusco crece a diario, por consiguiente, los costos de energía también aumentan y para cubrir esta demanda dentro de la matriz energética nacional, se recurre a la generación de energía eléctrica mediante centrales térmicas, lo cual incrementaría el calentamiento global con la producción de gases de efecto invernadero. Se hace notar que, en esta ciudad, se tiene la Central Térmica de



Dolorespata, con cinco grupos de generación eléctrica que alcanzan una potencia instalada de 62 Mw, los cuales operan en tiempos de contingencia.

Tal como se aprecia, esta solución no es la más adecuada, por lo que se está en la búsqueda de medios menos contaminantes, más económicos y eficaces dentro de la generación distribuida, también conocida como generación in-situ, la cual consistiría básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de pequeñas fuentes de energía conectadas directamente a la red de distribución o en las instalaciones de los consumidores de media tensión (M.T.).

A lo expuesto se agrega que, esta generación distribuida, pudiera lograrse con energía renovable solar, cuya principal ventaja es el aprovechamiento de la radiación solar por medio de una conversión térmica de elevada temperatura y una conversión fotovoltaica para sugerir una potencia eléctrica resultante (Fernández, 2015), ya que en esta región del Cusco, se cuenta con el recurso energético solar, con el cual se puede propiciar el uso masivo de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en la zona urbana de esta ciudad del Perú. Con esta práctica, pudiera lograrse el uso eficiente de la energía eléctrica y la mitigación considerable de los gases de efecto invernadero que incrementan el calentamiento global.

Sin embargo, la población del Cusco que está conectada a las redes eléctricas de media tensión, no tiene conocimiento de las innovaciones tecnológicas existentes actuales para la integración de la GD, tampoco, sobre los impactos técnicos, económicos, normativos y sociales que se darán por esta integración. Con los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos podría analizarse las ventajas y desventajas que propiciaría el autoconsumo de energía eléctrica en los usuarios de energía eléctrica de media tensión en la mencionada ciudad.



Se estima igualmente sobre esta problemática que, el desarrollo y crecimiento de la industria energética, vendría provocado, de igual modo, desastres climatológicos en la ciudad de Cusco, producto de los cambios climáticos presentados al generarse, en parte, los gases de efecto invernadero, esto debido a la generación de energía en cada región del país. En ese sentido, se hace relevante determinar aquellos impactos técnicos, producidos por la interconexión y penetración de la energía renovable solar al sistema convencional en media tensión de las redes eléctricas.

En otro contexto, se debe evaluar de igual manera, la normatividad eléctrica interpuesta para implementar este tipo de tecnología, con el objetivo de propiciar en las pequeñas industrias del Cusco el autoconsumo. En consecuencia, la GD, sería una buena alternativa que lleve a disminuir los efectos del cambio climático, por consiguiente, sería importante determinar cuantitativamente los impactos ambientales a manifestarse, lo que incluye también los impactos económicos y sociales. Para lograr este cometido, habría de definirse y discernir sobre los conceptos de los indicadores de los impactos técnicos, ambientales, económicos, normativos y sociales, citados previamente en esta introducción, así como otros términos vinculados a ellos.

En este orden de ideas, dentro del impacto técnico, se podría hacer un análisis en régimen permanente de la potencia de cortocircuito del sistema de generación distribuida, de la estabilidad transitoria de los sistemas de generación distribuida en media tensión, de la frecuencia-potencia para poder determinar si es posible la penetración de la generación distribuida en el sistema convencional.

Por su parte, en cuanto a los impactos económicos, así mismo serán analizados,



con el fin de implementar el sistema de generación distribuida en media tensión, la viabilidad económica para los usuarios considerando que el costo de las tecnologías fotovoltaicas tiene una tendencia a la baja. Mientras que resulta igualmente relevante, analizar la normatividad peruana, referida a la generación distribuida con energía solar fotovoltaica, acotándose, que no se tiene una normatividad específica para este tipo de generación eléctrica, solo se conoce que existen borradores a algunos proyectos de ley en donde solo contempla la utilización de esta tecnología.

Ahora bien, tomando el modelamiento eléctrico de las redes de media tensión y la generación distribuida en una carga específica, al tiempo de utilizar algunas herramientas informáticas de sistemas eléctricos de potencia, serán analizados en igual medida, los impactos académicos que se producirán, los cuales quedarían a consideración de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.

Dados los planteamientos anteriores, la presente investigación, tendría en sus objetivos, determinar los impactos técnicos, ambientales, económicos, normativos y sociales para propiciar la implementación y uso de esta nueva tecnología y fomentar el autoconsumo instantáneo, al tiempo de potenciar la producción individual de energía en instalaciones de pequeña potencia de media tensión en el mismo sitio, para que sean eficientes dentro del conjunto de los sistemas eléctricos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuáles son los impactos positivos y negativos de la integración de generación distribuida con energía solar fotovoltaica en los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco 2019?



1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿Se puede modelar para la simulación eléctrica la generación distribuida de energía solar fotovoltaica interconectada a las instalaciones de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco?
- b) ¿Cuáles son los impactos técnicos que se producirán de la inserción de la generación distribuida de energía solar fotovoltaica en los usuarios de media tensión de la Ciudad del Cusco?
- c) ¿Cuáles son los impactos ambientales que se producirán de la inserción de la generación distribuida de energía solar fotovoltaica en los usuarios de media tensión de la Ciudad del Cusco?
- d) ¿Cuáles son los impactos económicos, normativos y sociales de la utilización de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco?

1.3 Justificación de la Investigación

1.3.1 Conveniencia

El incremento de la producción de dióxido de carbono en la región del Cusco, así como en el resto del Perú, es cada día mayor, situación involucrada en el calentamiento global y por ende al cambio climático. Dicho aumento, está trayendo consecuencias fatales para el país, por tanto, es conveniente mitigar los gases de efecto invernadero promoviendo la utilización de la generación distribuida con energías renovables, tal como lo es la energía solar fotovoltaica, dirigida a los consumidores de energía eléctrica de media tensión en esta ciudad, para lo cual, es fundamental determinar los impactos positivos y negativos que ocasiona si se



llevara a cabo esta interconexión.

1.3.2 Relevancia Social

La relevancia social de este estudio, se ve reflejada en los resultados que se ha obtenido con la realización de esta investigación, pues la sociedad cusqueña está en capacidad de identificar adecuadamente las tecnologías que debe utilizar, así como reconocer los principales impactos que pudieran encontrarse, lo cual, permite promover el autoconsumo mediante la inserción de la GD en media tensión de la ciudad del Cusco y consecuentemente para el Perú.

1.3.3 Implicancias prácticas

Resulta importante este estudio, pues lleva a determinar los impactos técnicos por la utilización de la generación distribuida en las redes de baja tensión, integrando la necesidad de aplicar herramientas informáticas para realizar simulaciones eléctricas del modelo eléctrico de este trabajo, con lo que se ha determinado los parámetros eléctricos, así como las perturbaciones eléctricas, todo ello con el objetivo de lograr una interconexión confiable entre la energía renovable solar fotovoltaica y la red convencional de media tensión de la ciudad del Cusco.

1.3.4 Valor teórico

Este trabajo de investigación es una información escrita, la cual servirá como herramienta bibliográfica para posteriores trabajos que sobre esta misma línea de estudio pretendan llevarse a cabo; igualmente, la disposición de los resultados obtenidos de esta interconexión en las redes de media tensión de la ciudad, así como discusiones e interrogantes para futuros trabajos similares, llevando todo esto a considerar el valor teórico de este trabajo de investigación.



1.3.5. Utilidad Metodológica

Con la identificación de las variables de este trabajo de investigación, tal como la generación distribuida y los impactos técnicos, ambientales, económicos, normativos y sociales, se pueden manipular, analizar y evaluar, con lo que se logra una metodología que lleve a consolidar el objetivo de la utilización de estas tecnologías en las instalaciones de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco, agregando, que de forma adicional, se utilizaron herramientas informáticas para las simulaciones y procesamientos de los datos obtenidos.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Determinar los impactos positivos y negativos ocasionados por la integración de la Generación Distribuida con energía solar fotovoltaica en cargas eléctricas de media tensión de la ciudad del Cusco 2019.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Modelar eléctricamente la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.
- b) Determinar los impactos técnicos de la inserción de generación distribuida con energía solar fotovoltaica mediante simulaciones eléctricas con herramienta computarizada avanzada utilizando el modelo eléctrico respectivo.
- c) Determinar los impactos ambientales de la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de redes de media tensión en la ciudad del Cusco.

- d) Evaluar los impactos económicos, normativos y sociales que se ha obtenido de la inserción de la Generación Distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de redes de media tensión de la ciudad del Cusco.

1.5 Delimitación del Estudio

1.5.1 Delimitación Espacial

Este trabajo de investigación se ha desarrollado en el Departamento, Provincia del Cusco, en las redes de media tensión de la ciudad, se ha tomado como modelo a un usuario de media tensión ubicado en la Subestación del Pabellón de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicada en la misma población.



Figura 1. Plano de ubicación del Estudio

Fuente: Propia (2019)

1.5.2 Delimitación Temporal

El tiempo de estudio que se utilizará para la investigación, será el que comprenda el periodo del año 2019.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Estudios

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Luego de una revisión exhaustiva, sobre el tema objeto de investigación, se seleccionaron algunos trabajos que guardan similitud con las variables involucradas; en tal sentido, Aristizabal, A. y Dyner, I. (2014) realizaron un estudio titulado “Generación Distribuida de energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica en la red de Baja Tensión” de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Conference paper

El objetivo de llevar a cabo este trabajo, fue debido a que los BIPVS (Building Integrated Photovoltaic Systems), constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica. Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra interconectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor; produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico, con el fin de reducir el consumo de energía, la venta energía sobrante y promover el uso de energías renovables.

Metodológicamente, se implementó un prototipo del sistema con facilidades para medir y monitorear parámetros eléctricos y ambientales que dan información tanto del desempeño de sistemas fotovoltaicos interconectados como de la calidad

de la potencia eléctrica generada por ellos. El sistema de monitoreo fue desarrollado usando el concepto de instrumentación virtual, para lo cual fue empleado como software el paquete LabVIEW 7.1.; asimismo se procesó la información de radiación y temperatura entre los años 2004 y 2010 con el fin de determinar el potencial del recurso solar para Bogotá.

Resultados:

Con los datos procesados, se obtuvo el dimensionamiento del prototipo en estudio. En la siguiente tabla. se muestra el resumen de las principales características del dimensionamiento.

Tabla 1. Características del dimensionamiento

Características	Por sistema individual	Generación de Energía
Generador FV: paneles Lightway 250W, 8,78A, 37,8Voc	24 paneles (6000W)	525 kWh/mes
Inversor Sunny Boy	1 inversor 5kW	

Fuente: Aristizabal y Dyner (2014)

Se aprecia de la información antes descrita, que la evaluación económica se da debido a que un sistema fotovoltaico interconectado opera mediante un concepto de intercambio de energía bidireccional con la red eléctrica (entrega energía a la red cuando la generación fotovoltaica excede el consumo de la carga o consume energía de la red cuando la generación fotovoltaica es inferior a la demandada por la carga) con lo que se realiza el análisis económico correspondiente.

Tabla 2. Análisis económico

COSTOS DEL SISTEMA BIPVS UTADEO		
ÍTEM	CANTIDAD	PESOS
Paneles Solares Fotovoltaicos	24	\$ 15.412.800
Inversor	1	\$ 6.156.000
Total		\$ 21.568.800*

(*Este valor no incluye la estructura, cableado ni instalación

Fuente: Aristizabal y Dyner (2014)

En este orden, una de las **conclusiones** menciona que los resultados logrados en el marco de este trabajo, constituyen una importante fuente de información, útil para el dimensionamiento óptimo de sistemas BIPVS en Colombia y para evaluar la conveniencia o no del desarrollo en el futuro de proyectos de generación FV de electricidad donde juegan un papel importante los aspectos técnicos y económicos, pero sobre todo los aspectos medioambientales, ya que este tipo de generación no contamina el medio ambiente

En este trabajo, se aspira hacer aportes de nuevas tecnologías para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes limpias y renovables el que se dimensiona e instala un sistema en las redes de baja tensión con la denominación de generación distribuida de la universidad de Bogotá, y con ello se evalúa la factibilidad del uso de estos sistemas. La idea fue diseñar sistemas BIPVS (Building Integrated Photovoltaic Systems) de manera que pueda utilizarse con mejor eficiencia la energía emitida por la generación distribuida y la energía convencional.

Por su parte, Cáceres, M.; Busso, A.; Vera, L.; Friman, A.; Leiva, G. y Luque, L. (2013), llevaron a cabo una investigación denominada “Sistemas Fotovoltaicos conectados a red: estabilidad en los parámetros de la red y sus efectos en la capacidad de generación”. Revista Brasileira de Energía Solar, Volumen IV,



número 1, Julio de 2013, p. 47-54

Se recoge de este trabajo que, el empleo de los sistemas de generación fotovoltaica conectadas a la red (SFCR), se presentan en la actualidad como una alternativa para el desarrollo de sistemas de generación de energía eléctrica renovable y limpia y crece a una tasa anual de un 25 %. Un claro ejemplo de esto es el caso de Alemania, que instaló un total de 7,406 MW de generación fotovoltaica solamente durante el año 2010 sumando una capacidad de generación fotovoltaica mundial de 50 GW a fines del año 2010 (REN21, 2011).

También existe un continuo crecimiento del uso de SFCR para abastecimiento de energía eléctrica en otros países como España, China, Japón, Estados Unidos y, en Latinoamérica, México, Perú, Brasil entre otros (IEA, 2010) (U.S. Department of Energy, 2010) (Zilles, 2009).

En este estudio, se presenta el modelo matemático que permite realizar el análisis de interconexión de un SFCR desarrollado en el entorno de programación Matlab (Matlab, 2010). Este modelo es complementario al presentado por Cáceres et al, (2010) puesto que permite realizar simulaciones para períodos de tiempo prolongados a diferencia del citado que permite realizar evaluaciones de la interacción red-SFCR para períodos transitorios.

Por otra parte, se presenta la metodología adoptada para adquirir valores experimentales de los parámetros de funcionamiento que permiten validar el modelo, los resultados obtenidos mediante simulación para 8 semanas donde la disminución en la capacidad de generación es elevada y un resumen de los valores promedios de las variables que caracterizan el funcionamiento del SFCR instalado.

Resultados:

Se muestran algunos resultados que han obtenido de la simulación del modelo matemático para un SFCR.

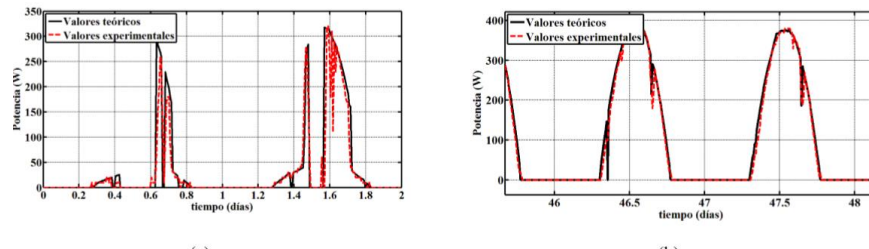


Figura 2. Comparación de la potencia generada con SFCR y potencia convencional

Fuente: (Cáceres et al., 2013)

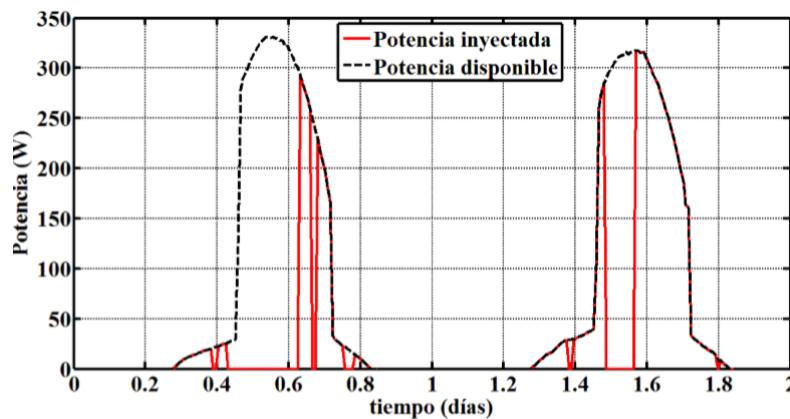


Figura 3. Energía inyectada al sistema

Fuente: (Cáceres et al., 2013)

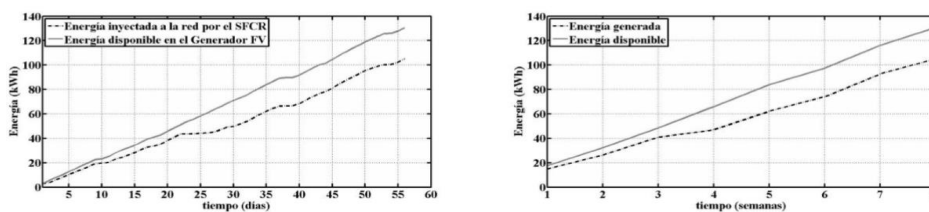


Figura 4. Energía acumulada disponible

Fuente: (Cáceres et al., 2013)

La **conclusión** principal de este trabajo es que los valores obtenidos mediante simulación del modelo, el SFCR pierde un 20% de su capacidad de generación por



la interacción con la red de BT durante los períodos donde la temperatura ambiente es elevada. Comparando el valor simulado de la energía producida por el SFCR y el valor experimental para el mismo período se determinó que el error relativo cometido no supera el 2%.

Es importante observar este trabajo, pues en él se realiza una comparación de la energía producida por el SFCR (sistema fotovoltaico conectado a la red) en forma experimental y un modelo matemático que fue desarrollado, el cual permite predecir la interacción Red- SFCR. Con esto se obtiene la cantidad que pierde de su capacidad de generación por la interacción con la red de BT y el SFCR.

Mientras que Gasco, M. (2013) en su trabajo “Integración de energías renovables en redes eléctricas inteligentes”, fue una Tesis Doctoral en la Universidad de Alicante. El mismo, tuvo carácter analítico de las diferentes tecnologías para la utilización de la generación distribuida, que es un cambio de la generación eléctrica centralizada, se considera a la generación distribuida como “instalaciones de reducida potencia integradas de forma dispersa en el sistema eléctrico”, entre las causas de este desarrollo cabe destacar:

- a. El desarrollo de tecnologías limpias compatibles con la población
- b. La mejora de la eficiencia de pequeñas instalaciones
- c. La reducción en inversiones de transporte de electricidad
- d. La minimización de las pérdidas de transporte de energía
- e. La seguridad de suministro

En el año 2012 manifiesta que, las fuentes de generación distribuida constituyen el crecimiento de los sistemas eléctricos avanzados, y las tecnologías que lo componen se basan en la utilización de recursos renovables y con reducidas



emisiones, entre ellas destacan:

- a. Parques eólicos
- b. Centrales solares fotovoltaicas.
- c. Centrales solares termoeléctricas.
- d. Turbinas de gas y microturbinas
- e. De vapor.
- f. Minihidraulica
- g. Motores alternativos.

Resultados:

Se hace una evaluación de las tecnológicas existentes sobre la integración de los distintos tipos de generación distribuida en esa fecha para España, en el cual hace mención también sobre redes inteligentes y su normatividad europea respectiva. Se utiliza una herramienta de análisis y simulación para determinar los efectos técnicos por la inserción de estos generadores y con lo que mencionamos las conclusiones más importantes:

Como **conclusión** general de este trabajo de tesis doctoral menciona que, “La generación distribuida es cada día más importante y está sustituyendo a la generación mediante el sistema de grandes centrales eléctricas centralizadas. El nuevo paradigma de red distribuida requiere desarrollar las redes de distribución eléctrica inteligentes.

El carácter no despachable de gran parte de la generación eléctrica distribuida, conformada en gran medida por energías renovables, requiere de nuevos sistemas complementarios en el sistema eléctrico, como los sistemas de acumulación y control, el objeto de permitir a los usuarios disponer de la energía en condiciones



análogas a las de las redes con generación centralizada y despachable, y también de nuevos métodos de gestión de la energía, denominados sistemas inteligentes. La integración de los nuevos sistemas y métodos de gestión posibilita el desarrollo de la generación distribuida en redes inteligentes, incluyendo la posibilidad de comportarse como microredes, capaces de trabajar de forma aislada, así pues, la generación distribuida queda vinculada a las redes eléctricas inteligentes”.

El análisis que se realiza en este trabajo doctoral, muestra una perspectiva general de los sistemas distribuidos de generación eléctrica y las tecnologías de regulación de un sistema eléctrico, seguidamente presenta un modelo de red de distribución el cual contempla la generación distribuida conectada a la red convencional, se hace también un análisis de las pérdidas eléctricas y que los datos eléctricos de un sistema de generación distribuida dependen del tipo de tecnología que se utilizará.

También es importante mencionar que, en este estudio se muestra el análisis de la estabilidad transitoria, donde se evalúa los efectos que se dan debido a la interconexión entre sí, de la generación distribuida y el sistema centralizado; finalmente, hace el análisis del control de la frecuencia-potencia del generador distribuido que permitirá maximizar la penetración de potencia a la red convencional mejorando la estabilidad del sistema. Cabe mencionar que, la generación distribuida que se analiza en este trabajo, contempla las energías renovables fotovoltaicas y eólicas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Como primer antecedente nacional, se encuentra el de Tinoco y Huamani (2013), titulado “Micro generación distribuida con sistemas fotovoltaicos en



viviendas urbanas para mitigar impactos ambientales” en la Universidad Nacional de Ingeniería, Repositorio Institucional, como tesis de maestría, llevada a cabo en Lima, Perú.

Se consideró en dicho estudio que, las emisiones de CO₂ producidas por las centrales térmicas del Sistema Interconectado Eléctrico Nacional SEIN, se incrementan cada año al ritmo del crecimiento económico del país y de la demanda de energía eléctrica, la planificación inadecuada no ha permitido que se construyan centrales que utilicen fuentes renovables menos contaminantes tales como las centrales hidroeléctricas promoviéndose indirectamente la instalación de centrales térmicas a gas natural, lo que provoca impactos negativos sobre el ambiente.

En el país, no existen suficientes experiencias de aplicaciones y estudios del uso de fuentes renovables para mitigar estos impactos ambientales, que sean las alternativas de desarrollo sostenible para que las empresas eléctricas y clientes del SEIN puedan aplicar en sus instalaciones. Una de las alternativas planteadas en el presente estudio es la Implementación de un Estudio Piloto de “Instalación de 500 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red en viviendas residenciales del área de concesión de Edelnor en la ciudad de Lima”.

En la siguiente figura N° 5, se muestra la evolución de generación eléctrica con fuentes de combustibles fósiles, Gas Natural, Diesel 2 y Carbón existentes en el Perú las cuales en el año 2010 alcanzan el aproximado del 40% del total de energía eléctrica que demanda el país, considerando que hace 10 años este porcentaje no llegaba al 10% del total.

EVOLUCIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DE GAS NATURAL EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DEL SEIN (GW.h)
2010

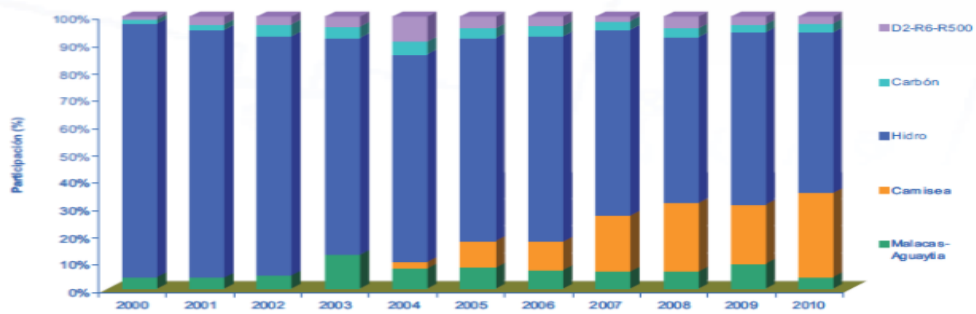


Figura 5. Evolución de la generación de energía convencional

Fuente: Gasco (2013)

Resultados:

Se logró los resultados mostrados a continuación:

Viabilidad técnica:

Tabla 3. Determinación de la viabilidad económica

Departamento	Horas de Sol Anual	Año
Moquegua	3384,8	2002
Arequipa	3323,9	2002
Puno	3191,4	1995
Ica	2783,4	2002
Tacna	2508,6	2002
Junín	2507,5	2002
Piura	2493,1	2002
Lambayeque	2398,4	2002
Cajamarca	2113,6	2002
Huánuco	2073,3	2002
Cuzco	2037	2002
Ucayali	2012,1	2002
Ancash	1930,3	2002
Apurímac	1838,3	1999
Loreto	1674,2	2002
Lima	1480	2003
San Martín	1460,4	1998
Amazonas	...	
Huancavelica	...	
La Libertad	...	
Madre de Dios	...	
Pasco	...	
Tumbes	...	

Fuente: Gasco (2013)

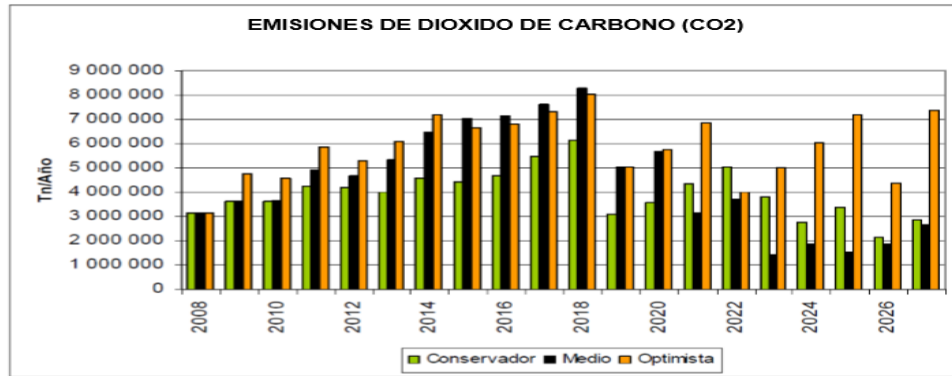


Figura 6. Emisiones de CO2

Fuente: Gasco (2013)

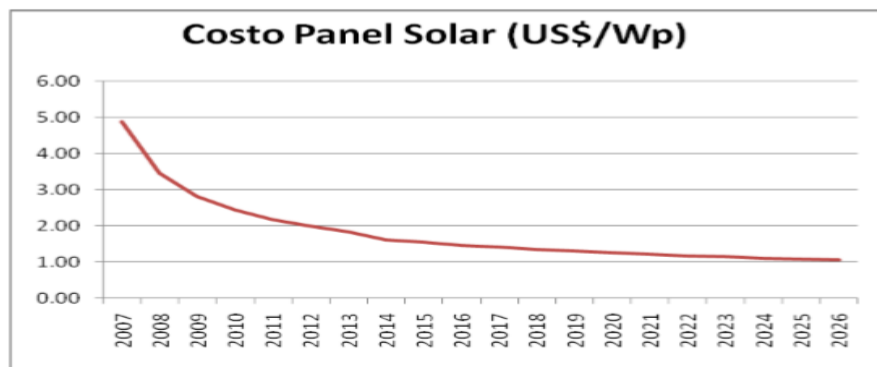


Figura 7. Estimación del costo de la energía solar

Fuente: Gasco (2013)

En este documento, se da una **conclusión** que menciona lo siguiente: “Con el presente estudio se ha logrado determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación del mismo en diferentes partes del país, considerando los criterios de: potencial solar en cada departamento del Perú, los precios obtenidos en las últimas subastas de energía producida con fuente solar, los bonos de carbono y la proyección de la disminución progresiva de los costos de tecnología de los sistemas fotovoltaicos.

Con la implementación de este estudio, según el análisis de resultados del



Capítulo V, se logra la disminución de 974.8 Toneladas de Emisiones de CO₂ al ambiente, al producirse el desplazamiento de energía eléctrica generada con centrales térmicas de Diésel o Gas Natural. Esto es equivalente a sembrar 387400 árboles o 1000 Hectáreas de bosque (considerando 20 kg CO₂/árbol)”.

Este estudio muestra en forma preliminar si es factible la instalación de sistemas fotovoltaicos en viviendas urbanas en forma general, donde tiene la característica de generación de baja potencia entre 1 y 2 Kw. por cada domicilio y hace los cálculos económicos correspondientes, hace notar también la mitigación del CO₂ emitido por centrales térmicas de generación eléctrica al utilizar la generación distribuida con energía solar fotovoltaica con lo que se obtuvo bonos de carbono.

Le sigue Ramírez, C. y Avilio, J. (2014) en su estudio “Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂ en el poblado rural La gramita de Casma”, en la Universidad en la Universidad Nacional de Ingeniería, Repositorio Institucional, siendo tesis de maestría en Lima, Perú.

Se señala sobre el particular que, la población mencionada, no cuenta con el servicio de energía eléctrica siendo complicada su implementación a través de la alimentación de las redes eléctricas del servicio público, ya que la red de media tensión de 10 kV más cercana se encuentran a 21 km hacia el Norte en la ciudad de Casma y a 32 km al Sur en el distrito de Culebras en Huarney.

Desde hace más de 50 años, los habitantes de este pequeño poblado de pescadores han visto siempre postergados sus anhelos de contar con energía eléctrica, siempre han utilizado como fuente de iluminación las velas, mecheros, y usos esporádicos de pequeños grupos electrógenos en algunas viviendas. Esta caleta



tampoco cuenta con servicio de agua y desagüe, el suministro de agua lo compran individualmente a proveedores particulares de agua potable que trasladan en camiones cisternas desde la ciudad de Casma, para los desagües utilizan silos de subsuelo.

Existe un desinterés de parte de las autoridades locales para invertir en el desarrollo y progreso de estos pobladores además de no contar con los estudios técnicos y especialistas en el tema que se encarguen de desarrollar el proyecto técnico para suministro de energía eléctrica que sea sustentable, es decir las necesidades de la actual generación; sin que se vean perjudicadas las futuras generaciones, pues esta energía es limpia no genera contaminación ambiental. Algunos de los aspectos a evaluar más importantes para que el sistema sea sostenible son:

- a. Uso de energías renovables en sitios remotos y la disponibilidad de recursos energéticos locales.
- b. Análisis y evaluación de la Demanda de Potencia.
- c. El menor costo comparativo de la energía generada.
- d. Operación y mantenimiento, vida útil del servicio
- e. Seguridad y aceptación local.

Resultados:

Aporte del Sistema Fotovoltaico (Caso 1) Este cálculo se efectuó en base a la demanda crítica de cargas de uso comun 31650 Wh/día: AP, Posta Medica, Colegio, Local Comunal y Pescadores, tal como se muestra en la tabla 3.3. (s utilizó el Programa excel de dimensionamiento de Sistema Hibrido, elaboración propia)

Tabla 4. Dimensionamiento del sistema propuesto

Sistema Solar Fotovoltaico	
Energía Solar (DM Fv)	31650 Wh/día
Carga Instalada (W)	7250 W (Dmax.)
Voltaje del Sistema (Vn)	24 V
Degradación del Sistema (D)	10%
Reserva futura (Rfut)	10%
Tiempo Autono batería (n)	1 Día
Profundidad de descarga	60%

Fuente: Ramírez y Avilio (2014)

Tabla 5. Criterio para la determinación de los paneles solares

Cálculo de cantidad de paneles solares	
Factor de Seguridad (Fs)	1,2
Demanda máxima FV (DM Fv)	31.650 Wh
Horas radiac	7,5 h/día
Pot pico panel (PPF)	240 Wp
N° Paneles	$FS \times DMFv / (HPS \times PPF)$
N° Paneles	27,5 U ó 28 U

Fuente: Ramírez y Avilio (2014)

Una **conclusión** general menciona: “Mediante el aprovechamiento del recurso eólico y solar con la implementación de Sistema Híbridos eólicos-fotovoltaicos para la Caleta “La Gramita de Casma” se logra una solución técnica y económicamente viable. Es un proyecto de inversión social porque genera beneficios a toda la comunidad y mejora de la calidad de vida, sin embargo, desde el punto de análisis como proyecto privado es necesario efectuar un subsidio no retornable que equivale al 80% de la inversión para que el proyecto sea rentable, estimando un tiempo de recupero de la inversión de 20 años a una tasa interna de retorno del 16,80%”.

Se aprovecha dos fuentes de alimentación energética que son el Sol y el Viento, para lo cual hacen cálculos de velocidades anuales de vientos que alcanza a 5,26



m/s. y la irradiación anual superior a 5,75 Kwh/m². Mediante un cálculo con el programa en hoja de Excel permite dimensionar las fuentes fotovoltaicas y el aerogenerador y muestran la rentabilidad económica por menor inversión de este sistema híbrido.

Por último, Cornejo, V. (2017), elaboró el trabajo “Generación distribuida en redes secundarias en Arequipa, en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Escuela de posgrado. Unidad de posgrado de la Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios, como tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias, mención Ingeniería Energética. Arequipa. Perú.

El trabajo de generación distribuida en redes secundarias en Arequipa, demuestra que la implementación de generadores fotovoltaicos en determinadas zonas de deficiencia de energía eléctrica, mejora los parámetros eléctricos. Para del desarrollo se eligió de manera aleatoria una zona del distrito de Yanahuara, departamento de Arequipa, en un número de 113 viviendas, las que son analizadas a partir de su consumo eléctrico a SEAL, empresa distribuidora de electricidad.

Se inicia con un repaso de los principales conceptos relacionados a los temas de generación distribuida y generadores fotovoltaicos dados en el Perú y específicamente en la ciudad de Arequipa. Del análisis al modelo de 113 viviendas agrupadas en nodos, se obtiene la distribución de sus consumos durante todos los días de acuerdo a una clasificación y mediante el análisis de simulación del modelo real y del modelo con la inserción de generación distribuida con plantas fotovoltaicas en diferentes escenarios, se obtienen los parámetros eléctricos para estos casos.

Se consideraron los 5 tipos de consumo dados por Osinergmin, respecto al

consumo de energía en hogares típicos, en las siguientes graficas se muestra para los días 14 de enero, mayo, agosto y diciembre; y para 5 diferentes tamaños de plantas fotovoltaicas de acuerdo al tipo de vivienda. Las gráficas muestran la generación, consumo y diferencia entre ambos.

De igual modo, la red de distribución secundaria, estuvo constituido por 125 suministros a viviendas de diferentes tipos, cuyo contrato, dirección y consumo promedio durante el último año, tablas siguientes, además se hace una gráfica de todo el día de los consumos por nodos, de acuerdo al consumo típico de viviendas. Para la obtención de los parámetros de la red de distribución de baja tensión, se utilizó el software especializado de sistemas de potencia Digsilent, dando los siguientes parámetros de simulación:

- a. Tensión de alimentación 380 V.
- b. Transformador de 110 kV a 380 kV.
- c. Líneas de distribución de 0.380 kV.
- d. Cargas 125.

Resultados:

En relación a los resultados de los análisis efectuados, se logró determinar que, la inserción de plantas de generación distribuida a través de plantas fotovoltaicas en determinados nodos, hace que los parámetros eléctricos mejoren en sus características, lo cual hace que el servicio sea de mejor calidad en esta región del país.

Como **conclusiones**, se obtuvo que, en el Perú no está definida la reglamentación de la generación distribuida a niveles de redes secundarias; igualmente que, Arequipa tiene potencial para la generación distribuida fotovoltaica por su



ubicación geográfica, así que es factible la micro generación distribuida fotovoltaica para los diferentes consumos de las viviendas, por lo que la generación distribuida fotovoltaica, puede suministrar toda la energía necesaria para muchos hogares.

No obstante, el costo de implementación sería el único inconveniente, pues por lo demás, permitiría que la generación distribuida, mejore el comportamiento de los niveles de tensión en las redes secundarias, luego la ubicación de las plantas fotovoltaicas de generación distribuida, pueden optimizar y lograr mejores características de respuestas, siendo factible la aplicación a niveles de media y alta tensión.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Generación Distribuida

Sobre generación distribuida (GD), expresa Barmejo (2005), que, históricamente, ha prevalecido la idea de que un sistema eléctrico eficiente, debía basarse en grandes plantas de generación y largas líneas de transporte. Este sistema centralizado provenía de una base técnica que justificaba unos precios unificados independientemente de los costos del servicio a cada usuario. Pero esto, ya no es cierto por múltiples razones: reestructuración industrial, insostenibilidad del modelo actual, envejecimiento de las centrales convencionales y la necesidad de suministro seguro. Como consecuencia de estos factores, se está imponiendo un nuevo sistema eléctrico de generación a pequeña escala, la generación distribuida (GD). La producción eléctrica, será con certeza más descentralizada que la actual, con crecientes cantidades, siendo generadas localmente.

Por su parte, agrega Carvajal (2012), que la generación distribuida, es la



generación y el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de comprar o vender energía eléctrica con el sistema interconectado o trabajar aisladamente. La importancia de la GD se comenzó a resaltar en los últimos años cuando muchos países liberaron sus mercados eléctricos y comenzaron a incentivar la evolución de nuevas tecnologías de generación. Otro de los factores que ha generado un creciente interés en la GD, es la contribución al desarrollo sostenible, ya que esta se asocia comúnmente con la producción de energías limpias.

Por otro lado, la GD puede contribuir a la seguridad energética elevando los niveles de confiabilidad del sistema. El aporte que pueda hacer la GD en este punto depende, en gran parte, de políticas energéticas concebidas para incentivar el uso de energías alternativas a un precio justo para el usuario.

Expone Zarco (2019), que la GD, es una forma de producción propia de las tecnologías insertadas en las energías renovables y la cual produce electricidad en el mismo sitio de su consumo, bajo ciertas disposiciones técnicas y normativas señaladas en la Ley de la Industria Eléctrica. En los años recientes la GD ha encontrado en la generación fotovoltaica la tecnología que tiene el potencial de “democratizar” el acceso a la electricidad, de llevarla a todos los rincones

Un sistema solar fotovoltaico interconectado menor a 500 KW, de acuerdo con el estudio señalado, es “un dispositivo conectado a la red eléctrica que convierte la luz del sol en electricidad lista para ser consumida”; aquí está la clave para que cualquier comunidad por pequeña que sea tenga acceso a esta tecnología, tanto en la Sierra Tarahumara como en cualquier región de la Selva Lacandona.

El equipo necesario de la GD y su mantenimiento para su operación resulta de



lo más sencillo que uno pueda imaginar; se requieren paneles fotovoltaicos, un inversor, una pequeña estructura de montaje, cableado eléctrico y un sencillo sistema de comunicación. La vida útil de un sistema fotovoltaico para la GD de pequeña escala puede abarcar un periodo de hasta 25 años, excepto el inversor el cual por su operación intensa demanda ser remplazado en un periodo de 10.

Indica Castillo y Davidovich (2016), que la generación distribuida es un tipo de generación de energía eléctrica, en la cual el consumidor o usuario genera su propia energía conectado a la red de distribución. Existen distintas maneras en que se ha utilizado este término, tanto en normativa como en jurisprudencia y doctrina.

Por otro lado, cabe mencionar que la generación distribuida supone la generación de energía eléctrica a pequeña escala, en la cual su conexión se da a una red de distribución cercana a su consumo. Esto asegura reducir pérdidas en la red al bajar los flujos de energía. Uno de los usos habituales de la generación distribuida consiste en utilizar la energía eléctrica obtenida para autoconsumo; es decir, el productor-consumidor aprovecha la energía generada por este, dentro de sus propias instalaciones eléctricas para abastecer de forma exclusiva su propia demanda, en el sitio donde la produce.

En igual orden de ideas, cita Sánchez (2014), a la International Energy Agency (IEA), pues define la generación distribuida, como aquella producción de energía que se conecta a la red de distribución en baja tensión, asociándola a motores, miniturbinas y microturbinas, pilas de combustible y energías renovables. Luego menciona el mismo autor, que según el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) en Estados Unidos y Canadá, la generación distribuida, es aquella energía eléctrica producida por instalaciones de menor tamaño que las actuales



grandes centrales de generación, de manera que se puedan conectar en cualquier punto de un sistema eléctrico.

2.2.2 Sistema de Distribución

Según Ramírez (2004), un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos.

Aproximadamente las 2/3 partes de la inversión total del sistema de potencia, están dedicados a la parte de distribución (Gigante Invisible), lo que implica necesariamente un trabajo cuidadoso en el planeamiento, diseño y construcción y en la operación del sistema de distribución, lo que requiere manejar una información voluminosa y tomar numerosas decisiones, lo cual es una tarea compleja, pero de gran trascendencia. Según la figura N° 8, el sistema de distribución a su vez está conformado por:

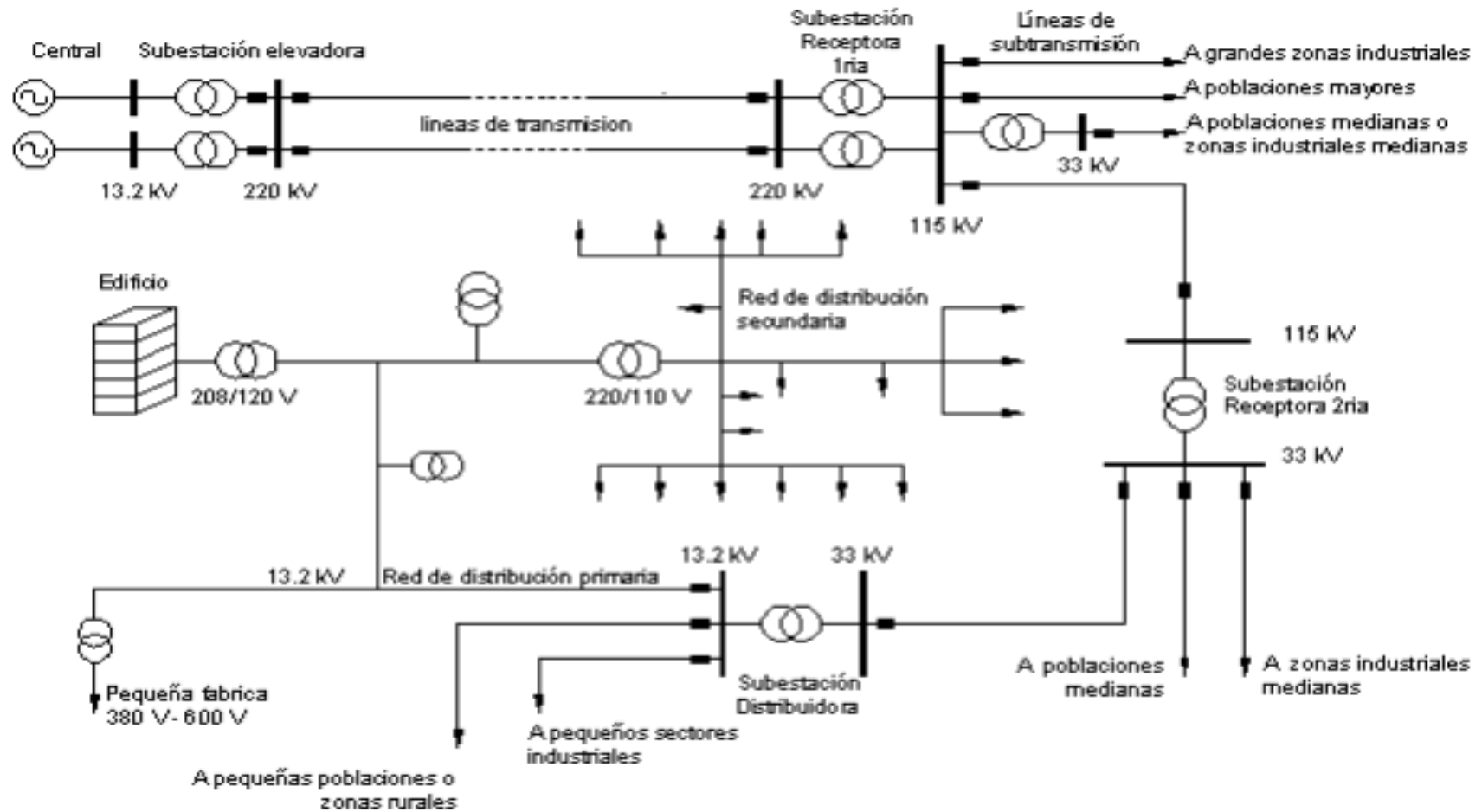


Figura 8. Sistema de distribución

Fuente: Ramírez (2004)



Nótese que es en esta parte donde se producen los porcentajes más grandes de pérdidas de energía en todas sus manifestaciones, debido al gran volumen de elementos que lo conforman, y a los bajos niveles de tensión que se manejan.

Para Juárez (1995), las redes de distribución, forman una parte muy importante de los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios.

Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. Por esta razón el sistema de distribución resulta todavía más complejo que el sistema de potencia. La definición clásica de un sistema de distribución, desde el punto de vista de la ingeniería, incluye lo siguiente;

- a. Subestación principal de potencia,
- b. Sistema de subtransmisión,
- c. Subestación de distribución.
- d. Alimentadores primarios,
- e. Transformadores de distribución,
- f. Secundarios y servicios.

Estos elementos son válidos para cualquier tipo de cargas, tanto en redes aéreas como en las subterráneas. La figura 8 muestra los componentes principales del sistema de potencia y del sistema de distribución. Las funciones de los elementos de un sistema de distribución son:

- a. Subestación principal de potencia. Ésta recibe la potencia del sistema de transmisión y la transforma al voltaje de subtransmisión. Los voltajes de transmisión pueden ser de 230 KV, 400 KV y mayores, pero actualmente existen



subestaciones de distribución de 230 KV. La potencia de la subestación principal es normalmente de cientos de MW.

b. Sistema de subtransmisión. Son las líneas que salen de la subestación (SE) principal para alimentar a las SE de distribución. Las tensiones de subtransmisión son de 115 KV y menos, aunque ya 230 KV puede considerarse también como subtransmisión. El sistema de subtransmisión tiene normalmente potencias de cientos de megawatts.

c. Subestación de distribución. Se encarga de recibir la potencia de los circuitos de subtransmisión y de transformarla al voltaje de los alimentadores primarios. Su voltaje va desde 66 KV hasta 230 KV. Maneja potencias de decenas de MW, por ejemplo, bancos de transformadores de 60 o 75 MVA.

d. Alimentador primario. Son los circuitos que salen de las SE de distribución y llevan el flujo de potencia hasta los transformadores de distribución. La potencia de los alimentadores depende del voltaje de distribución (2.4 a 34.5 KV), pero puede ser entre 2 y 8 MW.

e. Transformador de distribución. Reduce el voltaje del alimentador primario al voltaje de utilización del usuario. Los voltajes de utilización comunes son de 440 V y de 220 V entre fases. Los transformadores de distribución para poste tienen potencias normalizadas de hasta 300 KVA y los de redes subterráneas de hasta 750 KVA; en edificios grandes existen transformadores del orden de 2000 KVA.

f. Secundarios y servicios. Distribuyen la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios o servicios. Las potencias van desde 5 hasta 300 KVA en redes aéreas y hasta 750 KVA y más en redes subterráneas. En las redes subterráneas se utilizan redes automáticas de baja tensión que se abastecen de



energía a través de unos 4 o más alimentadores y múltiples transformadores de distribución, por lo que su potencia es muy grande.

Expresa Carreto (2018), que los sistemas de distribución de energía eléctrica comprenden niveles de alta, baja y media tensión. Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares. Se clasifican de la siguiente manera:

a. Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados, y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en: Industriales, comerciales, urbana y rural.

b. Sistemas de distribución industrial, comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, químicas, petróleo, papel, entre otros, que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante procesos a vapor, gas o diesel

c. Sistema de distribución comercial, es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos, entre otros. Este tipo de sistemas tiene sus propias características, como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia

d. Sistema de distribución urbana, alimenta la distribución de energía eléctrica a



poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de carga pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.

e. Sistema de distribución rural, estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el costo del kWh consumido. En muchos casos es justificado, desde el punto de vista económico, la generación local, en una fase inicial, y sólo en una fase posterior, puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande

Por su parte, los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

- a. Subestación de distribución de casitas: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, entre otros), cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.
- b. Circuito Primario.
- c. Circuito Secundario.

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas. La primera está constituida por la red de reparto, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 132 kV. Intercaladas en estos anillos están



las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kV y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que la tensión a la salida de estos centros es de baja tensión (125/220 ó 220/380 V.).

La línea que forma la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red.

La localización de averías se hace por el método de "prueba y error", dividiendo la red que tiene la avería en dos mitades y energizando una de ellas; a medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de la red. Esto ocasiona que en el transcurso de localización se pueden producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red.

2.2.2.1 Sub-sistema de distribución primaria.

Según la Norma EC.010 (2011), es aquel destinado a transportar la energía eléctrica producida por un sistema de generación, utilizando eventualmente un sistema de transmisión, y/o un subsistema de subtransmisión, a un subsistema de distribución secundaria, a las instalaciones de alumbrado público y/o a las conexiones para los usuarios, comprendiendo tanto las redes como las



subestaciones intermediarias y/o finales de transformación.

Luego para Vásquez (2013), son aquellos elementos encargados de llevar la energía eléctrica desde las subestaciones de potencia/distribución hasta los transformadores de distribución. Los conductores normalmente van soportados en postes cuando se trata de instalaciones aéreas y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas. Los componentes básicos de un alimentador primario son:

Troncal: Es el tramo de mayor capacidad del alimentador que transmite la energía eléctrica desde la subestación de potencia/distribución a los ramales. En los sistemas de distribución estos conductores son de calibres gruesos como 2/0, 3/0 y hasta 795 MCM, ACSR (calibre de aluminio con alma de acero), dependiendo del valor de la densidad de carga.

Ramal: Es la parte del alimentador primario energizado a través de un troncal, en el cual van conectados los transformadores de distribución y servicios particulares suministrados en media tensión. Normalmente son de calibre menor al troncal.

2.2.2.2 Sub-sistema de distribución secundaria.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2005), es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada normalmente a bajas tensiones, desde un sistema de generación, eventualmente a través de un sistema de transmisión y/o subsistema de distribución primaria, a las conexiones. Los proyectos y la ejecución de obras en subsistemas de distribución secundaria, deben sujetarse a las Normas DGE de procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras en sistemas de distribución y sistemas de utilización.



Expresa Navas (2015), que la red de distribución secundaria, está diseñada para transportar la energía eléctrica suministrada a la tensión de servicio de los abonados desde la salida de baja tensión de los puntos de transformación (transformadores) hasta las acometidas. También se ubican en esta red, los dispositivos del alumbrado público. Puntos de transformación, los cuales están conectadas por un lado con la red de distribución primaria y por el otro lado con la red de distribución secundaria. se usan para cambiar el nivel de tensión de la energía eléctrica, para la distribución parcial, y para regular la tensión aplicada a los centros de carga.

Según Vásquez (2013), los alimentadores o redes secundarias distribuyen la energía eléctrica desde los transformadores de distribución hasta las acometidas de los usuarios. En la mayoría de los casos estos alimentadores secundarios son circuitos radiales, salvo en los casos de las estructuras subterráneas malladas (comúnmente conocidas como redes automáticas) en las que el flujo de energía no siempre sigue la misma dirección. Los alimentadores secundarios de distribución, por el número de hilos, se pueden clasificar en:

- a. Monofásico dos hilos.
- b. Monofásico tres hilos.
- c- Trifásico cuatro hilos.

Para conocer las ventajas técnicas y económicas inherentes a los alimentadores Secundarios de distribución, se deben realizar estudios comparativos que esclarezcan estos méritos y permitan seleccionar el sistema de distribución más adecuado a las necesidades del caso.

2.2.2.3 Instalaciones de alumbrado público

Sobre este aspecto, Pérez (2017), refiere que las instalaciones de alumbrado público tienen la finalidad de iluminar las vías de circulación o comunicación y los espacios comprendidos entre edificaciones, que, por sus características o seguridad general, deben permanecer iluminadas, en forma permanente o circunstancial, sean o no de dominio público.

El alumbrado público debe proporcionar unas condiciones de visibilidad idóneas para la conducción de vehículos, el paseo de viandantes o la observación del entorno. Una buena iluminación urbana aumenta la seguridad de las personas y propiedades disminuyendo los delitos en vías públicas, aumenta la capacidad de reacción ante amenazas. También contribuye a la reducción de accidentes en la carretera, y a la ambientación urbana, dando personalidad al ambiente, pudiendo identificar lugares por su iluminación.

En igual orden de ideas, Harper (2006), indica que para el caso de los requisitos que debe cumplir una instalación de alumbrado de calles o alumbrado público, el punto de partida para un proyecto de iluminación en calles, son los elementos a considerar, y, además, ciertos requisitos que debe satisfacer la instalación, como son:

- a. Evitar el fenómeno de deslumbramiento.
- b. Ofrecer un grado aceptable de uniformidad en la iluminación.
- c. Facilitar el mantenimiento.
- d. Satisfacer las condiciones de estética.
- e. Dar un grado satisfactorio de confiabilidad.

Agrega De los Santos (2018), que el alumbrado público y urbano, es un tema



que siempre debe de tratarse en cuanto a seguridad local y vías públicas. Estas instalaciones tienen como finalidad el iluminar las vías de circulación y los espacios que hay entre las edificaciones. Debido a sus características o seguridad general es necesario tener una buena iluminación de forma permanente o no tan recurrente. Un buen alumbrado público es sinónimo de seguridad, ya que de esa forma una buena iluminación pueda aumentar la seguridad.

Disminuyendo los posibles atentados de delitos y amenazas contra las personas y los espacios públicos de nuestras comunidades. De igual manera, una buena iluminación apoya a la reducción de accidentes en las carreteras, logrando tener una mejor visualización de los caminos, una buena ambientación urbana.

La tecnología es una buena aliada para poder cumplir con este objetivo de obtener alumbrado de calidad y económico. Es por eso que les compartimos algunas de los principales equipos que son más utilizados en sistemas de lámpara. Para poder lograr el objetivo que funge el alumbrado público o urbano es necesario poder observar criterios de calidad. La función del alumbrado es que los usuarios puedan ser capaces de ver el trazado de una carretera, señales y/o cualquier obstáculo.

Comúnmente el tipo de lámparas que se ha estado utilizando en el proceso de alumbrado público es de mercurio. Las lámparas de tipo descarga son las que actualmente se recomienda que puedan instalarse en los alumbrados públicos. Si bien el sistema de descarga es para las zonas urbanas, para las carreteras se recomienda lámparas de vapor de sodio a alta presión. Ya que la luminosidad de ellas es perfecta para esas áreas y cuentan con mejor rendimiento que otras lámparas.

2.2.2.4 Unidad de alumbrado público

Expone la Cancillería de Comercio, Industria y Energía (2006), que el alumbrado público, puede llegar a representar el 40-50% del consumo energético de un ayuntamiento, por lo que se hace necesario definir algunas de las tecnologías más eficientes que se encuentran en el sector y algunas medidas que pueden aplicarse para reducir el consumo. Por este motivo se detallan a continuación los equipos principales que intervienen:

Lámparas: Las lámparas utilizadas en el alumbrado público deben presentar algunas características que permitan un ahorro energético y, a su vez, económico:

Intensidad luminosa y tipo de luminaria (reproducción cromática): las lámparas utilizadas deben adaptarse a las necesidades de uso. La demanda lumínica de emplazamientos turísticos no es la misma que en puntos únicamente de tráfico, por lo que las necesidades de intensidad y tipo de luz en estos emplazamientos no es la misma. Tener presente estas diferencias debe permitir reducir la demanda energética total y optimizar la potencia instalada.

Calidad energética de las lámparas (eficiencia): no todos los tipos de lámparas presentan el mismo rendimiento energético. Hacer una correcta selección de las lámparas (dentro de la misma función), teniendo en cuenta el rendimiento (lumen/W), puede derivar en un ahorro energético importante.

Zonificación: establecer cuál es el área que se necesita iluminar permite optimizar las potencias de las lámparas y, por lo tanto, reducir el consumo.

Duración de la vida económica: las lámparas presentan una reducción del rendimiento con el tiempo (lumen/potencia). Tener presente esta variación de propiedades y establecer un óptimo (económico y energético) en la sustitución



de lámparas debe permitir un mejor rendimiento del sistema lumínico.

La mayor parte de las lámparas utilizadas en el alumbrado público utilizan un sistema de descarga eléctrica en un gas, generalmente lámparas de mercurio con rendimientos inferiores a otras opciones que se encuentran en el mercado. Los sistemas de descarga consisten en dos electrodos que generan un flujo de electrones por medio de un gas; la excitación de los átomos del gas permite generar luz, cuyas características están en función de la lámpara utilizada. Los tipos más utilizados en el alumbrado público son:

- a. Lámparas fluorescentes.
- b. Lámparas de vapor de mercurio de alta presión.
- c. Lámparas de vapor de sodio a baja presión.
- d. Lámparas de vapor de sodio a alta presión.
- e. Lámparas de mercurio con halógenos metálicos.
- f. Lámparas con descarga por inducción.

La sustitución de las lámparas, es un proceso que se ha desarrollado en la mayor parte de las ciudades, aunque en muchas zonas se continúan utilizando sistemas de mercurio. En este sentido, se recomienda el uso de lámparas del tipo descarga, si bien su elección tiene que ser la adecuada para obtener las finalidades previstas.

En carreteras, se recomiendan lámparas de vapor de sodio a alta presión, a causa de su eficacia luminosa (lumen/W) y mejor rendimiento cromático que las lámparas de vapor de sodio a baja presión. Estas características de las lámparas de baja presión las convierten en adecuadas para puntos con poca necesidad de intensidad lumínica, como pueden ser las carreteras en campo abierto o las zonas rurales. Así que, en las ventajas energéticas y ambientales, una óptima selección de lámparas



permite:

- a. Reducción del consumo energético.
- b. Ahorro en las emisiones de CO₂.
- c. Ahorro económico. La inversión en materiales de calidad deriva en una inversión inicial superior, aunque se acaba amortizando con la optimización del consumo energético.
- d. Adecuación de la intensidad lumínica para cada necesidad en particular. Esto permite minimizar la contaminación lumínica de cada emplazamiento.
- e. Optimización de las necesidades lumínicas para cada necesidad.
- f. Equipos auxiliares

2.2.3 Red de Distribución Primaria

Según la Norma EC.010 (2011), es aquel destinado a transportar la energía eléctrica producida por un sistema de generación, utilizando eventualmente un sistema de transmisión y/o un subsistema de subtransmisión, a un subsistema de distribución secundaria, a las instalaciones de alumbrado público y/o a las conexiones para los usuarios, comprendiendo tanto las redes como las subestaciones intermediarias y/o finales de transformación.

Para Navas (2015), la red de distribución primaria, es la parte del sistema que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a los transformadores de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 132 kV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.



En igual sentido, para Rivero (2011), la red de distribución primaria, está constituida por conjunto de cables o conductores, su elemento de instalación y sus accesorios, proyectado para operar a tensiones normalizadas de distribución primaria, que partiendo de un sistema de generación, está destinado a alimentar/interconectar una o más subestaciones de distribución, el abarca los terminales de salida desde el sistema alimentador hasta los de entrada a la subestación alimentada.

En este sentido, agrega el mismo autor que, los componentes de un sistema de distribución primaria, son los encargados de llevar la energía eléctrica desde las subestaciones de potencia hasta los transformadores de distribución. Los conductores van soportados en poste cuando se trata de instalaciones aéreas y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas.

Los alimentadores primarios, normalmente, se estructuran en forma radial, en un sistema de este tipo, la forma geométrica del alimentador semeja la de un árbol, donde por el grueso del tronco, el mayor flujo de la energía eléctrica se transmite por toda una troncal, derivadas a la carga a lo largo de los ramales. La ruta troncal, es la cadena de nodos por donde se sirve el flujo de potencia mayor del círculo en condiciones normales o de emergencia cuando se transfieren cargas a este. En esta ruta por lo general, ocurre la mayor caída de tensión y posee el conductor con el mayor calibre del circuito.

2.2.3.1 Tensiones de distribución primaria.

Según Espina (2003), se acepta que un sistema eléctrico de distribución, propiamente, es el conjunto de instalaciones desde 120 v hasta tensiones de 34.5 kv, encargadas de entregar la energía eléctrica a los usuarios. La subtransmisión y

distribución, pues como la primera, mueve cantidades relativamente grandes de potencia eléctrica de un punto a otro, y, como la segunda, proporciona cobertura de zona.

Los niveles de tensión de subtransmisión van de 12 hasta 245 kv, pero en la actualidad son más comunes los niveles de 69.115 y 138 kv. El uso de tensiones más elevadas está aumentando con rapidez, a medida que crece la aplicación de tensiones de distribución primaria más altas (por ejemplo 25 y 34.5 kv). La historia de los sistemas de servicio eléctrico ha mostrado que la tensión que en principio fue de transmisión, pasó a ser de subtransmisión, de la misma manera que la tensión de subtransmisión evolucionó para convertirse en el nivel actual de distribución primaria.

En opinión de Rivero (2011), los niveles de tensión aprobados para los sistemas de distribución primaria que abastecen servicios públicos, son los indicados en la tabla 6 que se muestra a continuación:

Tabla 6. Niveles de tensión en Perú

Tensión Nominal Kv	Tensión Máxima del Sistema Kv
<u>10</u>	<u>10.5</u>
1	1.0
3.2/7.62	7.62
20	22.9
22.9/13.2	22.9

Fuente: Código Nacional de Electricidad Suministro (2011)

El nivel de tensión que se considerará para este trabajo, serán las tensiones subrayadas en las columnas de la tabla 6 descrito anteriormente, debido a que esta tensión, en media tensión, opera la ciudad del Cusco.

Al respecto, destacan Puentes y Rodríguez (2013), que, en las tensiones de una



subestación, las tensiones en un sistema de potencia se normalizan, en primer término, dependiendo de las normas que se utilizan en cada país, y en segundo término, según las normas internas de las empresas propietarias de los sistemas eléctricos.

2.2.4 Generación Centralizada vs Generación Distribuida

Al hacer referencia a la generación centralizada vs generación distribuida, es propicia la opinión de Valencia (2008), para quién la generación eléctrica tradicional, tiene cinco tipos de problemas:

- a. En la construcción y en el desmantelamiento.
- b. En el funcionamiento.
- c. En el servicio.
- d. En el ambiente, y,
- e. En lo social.

La construcción de una gran central es un proyecto a largo plazo con el objetivo de satisfacer la demanda prevista en el futuro: democratización de la energía eléctrica, demanda prevista en el futuro, donde cada proyecto es diferente, exigiendo cada vez un diseño y una construcción exclusiva: se necesitan extensos terrenos, permisos para pasar las líneas de la red por otras propiedades y estudios detallados sobre su impacto ambiental en la región de la instalación.

De esto nacen dos inconvenientes: primero añaden más al ya largo tiempo de construcción, segundo provocan reacciones y discrepancias por parte de la población. Hoy en día la oposición a grandes proyectos surge, no solo en los países desarrollados, sino también en los en vía de desarrollo, tales como India y China.

La manera como se produce la electricidad, en grandes centrales alejadas del



sitio del consumo, obliga a mantener una larga red de transmisión y distribución con los adecuados transformadores para los cambios del voltaje. Este gran sistema necesita para funcionar de una energía que constituye unas pérdidas del sistema. Además, el sistema tiene que mantener algunos de sus componentes siempre en disponibilidad para los casos de emergencia. Usualmente en la generación, esto se consigue teniendo un grupo de reserva, con una capacidad igual al generador más grande que esté operando en el sistema, para que cuando falle uno el sistema siga sirviendo la carga adecuadamente.

En los países desarrollados los problemas, se identifican con la calidad del servicio y la fiabilidad del suministro. Toda la gente ha sido testigo de caídas de tensión o de apagones del suministro en horas pico o en épocas con gran aumento de la demanda. Por ejemplo, en verano cuando numerosos aires acondicionados se ponen en funcionamiento a la misma hora del día. Hoy día, y cada vez más, parte de la vida cotidiana se basa en mecanismos electrónicos u ordenadores, por lo tanto, la fiabilidad del suministro de la electricidad es un requisito imprescindible.

Los sucesos adversos que se han dado, demuestran la vulnerabilidad de las grandes plantas de generación a los ataques terroristas, además las pérdidas debidas a cortes en el suministro provocados por los desastres naturales, tienden a aumentar por la conjunción de dos factores: la agudización de los fenómenos provocados por el cambio climático y el desarrollo de una sociedad crecientemente informatizada, en la que incluso, una leve caída de tensión puede causar grandes costos económicos.

La generación eléctrica, aparte de su impacto ambiental en la fase de construcción y de funcionamiento, es el más importante emisor de CO₂ en la



atmósfera. Globalmente, hay 1800 millones de seres humanos sin acceso a algún tipo de energía comercial. La mayoría de ellos viven en los países menos desarrollados, donde la infraestructura es insuficiente o no existe.

Llevar extensas redes de transporte a áreas remotas o poco controladas puede hacer su mantenimiento y su operación imposible o extremadamente caro. Por lo tanto, es muy improbable que proyectos de generación tradicional alcancen a satisfacer las necesidades, continuamente crecientes, de esta gente. En la siguiente figura N° 9, se muestra gráficamente la comparación de una generación centralizada y la generación distribuida, mostrando lo mencionado anteriormente.

Refiere Inarquia (2014), que la generación de electricidad del sistema eléctrico, se lleva a cabo en centrales, ya sean fósiles, nucleares o renovables como son la energía térmica o energía fotovoltaica, convirtiendo al sistema eléctrico en solar. Esta actividad está regulada, pero es libre, es decir, no sólo las grandes compañías eléctricas son propietarias de las centrales, sino que cualquier persona, puede generar electricidad y verterla a la red. Una vez generada la electricidad, debe transportarse.

El transporte se lleva a cabo a través de torres de alta tensión, mediante los cables. Están gestionadas por la empresa de cada país. Cuando la electricidad llega cerca del punto de suministro, la distribución se encarga de asegurar que llegue a los puntos de demanda. La gestión de esta actividad está distribuida geográficamente, Por último, las comercializadoras, son las que facturan el suministro eléctrico y cuantifican el servicio ofrecido en cantidades monetarias, euros. En cada región del mundo, existen comercializadoras de electricidad.

El principal problema del modelo de generación centralizado que sufren todos



por igual, incluido los sistemas eléctricos de una casa, son las pérdidas, pero, ¿por qué se producen estas pérdidas? Esto es debido a que las centrales no son cien por cien eficientes y una vez generada la electricidad, se ha de transportar durante cientos de kilómetros hasta el punto de demanda. Cuando las centrales son de restos fósiles, además de no ser totalmente eficientes, hay que comprar el fósil, ya sea petróleo, carbón, por lo que hace que sean más contaminantes.

En cambio, si la fuente de energía es renovable, el costo inicial relativo a la fuente de energía, es cero, pues el aire y el sol, al tratarse de recursos naturales, son gratuitos.

Como ejemplo podemos ver que 36 unidades de viento, energía renovable, se convierten en 22 unidades al convertirse en electricidad y en la distribución en 20 unidades para encender una simple bombilla. Si se tratara de central de restos fósiles, 63 unidades de gas se convierten en 44 al convertirlo en electricidad, 22 unidades al pasar por la central de ciclo combinado y 20 tras la distribución. Se puede ver que es necesario el doble de materia prima en el caso de energías no renovables.

Con la generación distribuida, se reducen las pérdidas, gracias a la eficiencia del equipo generador de energía renovable y la disminución de la distancia de transporte. El otro modelo posible de sistema eléctrico sería el modelo distribuido, que consiste en generar tu propia energía en casa, por ejemplo, a través de placas solares en el tejado, si se necesita la electricidad, serás la persona la que haga uso de ella; pero si no la necesita, la utilizará el punto de demanda más cercano al de generación.

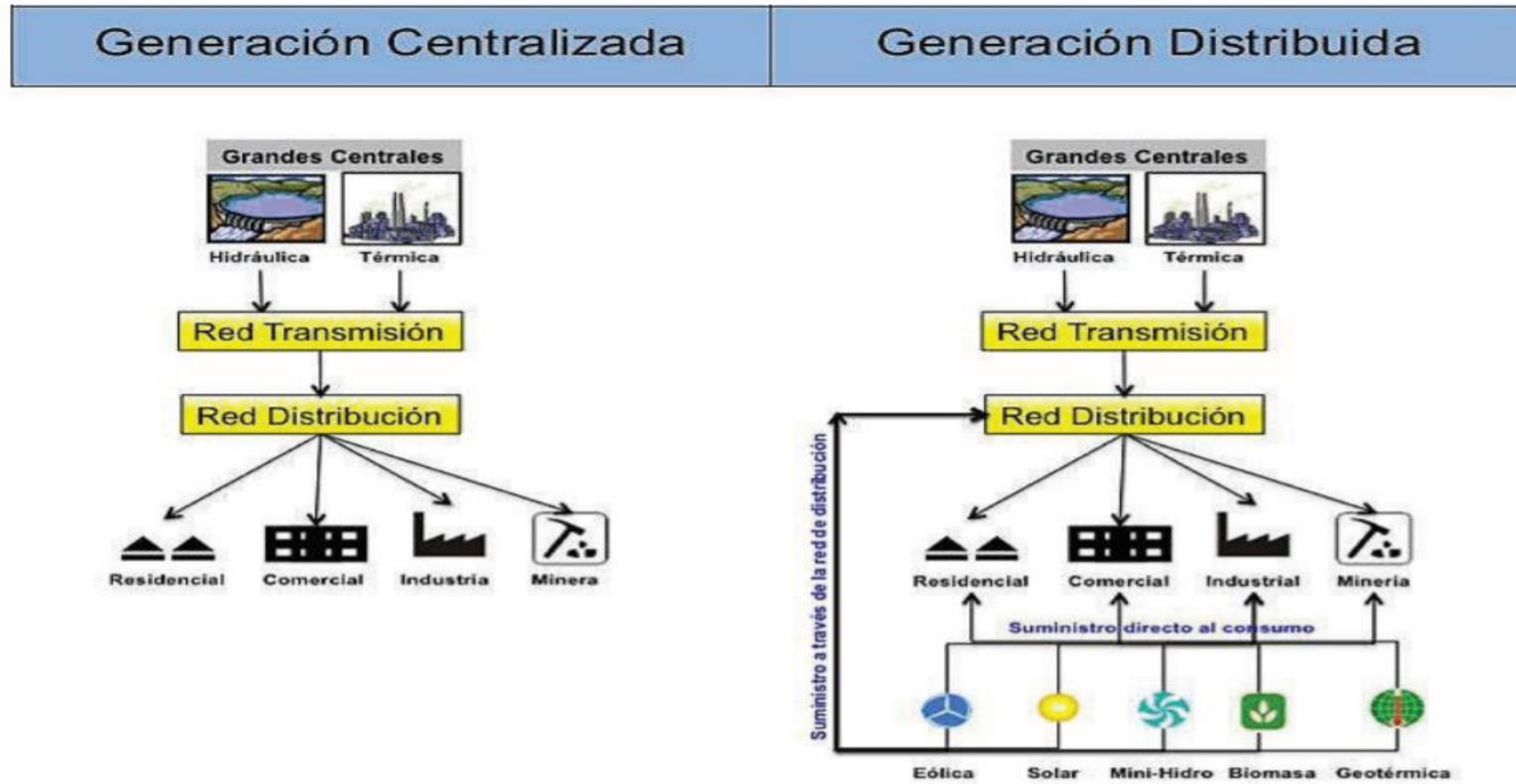


Figura 9. Generación centralizada y generación distribuida

Fuente: Consultoría de construcciones bioclimáticas, eficiencia energética y energías renovables (2014).



Una pregunta a responder sería ¿Por qué apoyar la generación distribuida y el autoconsumo? En primer lugar, para promover un uso de la electricidad limpia y eficiente (que implica un cambio de cultura en términos de sostenibilidad) y también para reducir las pérdidas en el proceso de distribución.

Finalmente, todos estos cambios se traducirán además en un ahorro en las facturas, con el consiguiente beneficio económico para el consumidor, una vez se haya recuperado la inversión inicial. La generación distribuida es una buena opción, ya que hay muchas horas de sol en el país y se pueden aprovechar para el autoconsumo.

La Consultoría de Construcciones Bioclimáticas, Eficiencia Energética y Energías Renovables (2012), señala que la situación energética, no es sólo un problema para México, es de orden global. El petróleo, el gas y el carbón ya no bastan para la creciente demanda mundial de energía. El gran problema, es que se asume el sistema de estructura del sector energético actual como un único, sin entender que puede existir otro.

Este funciona de la siguiente manera; Primero, maquinaria pesada a diesel extrae el carbón en enormes cantidades, lo muele y lo carga en unos camiones a diesel que se dirige a la planta de energía. A menudo, ésta se sitúa a cientos de kilómetros. En ese lugar, el carbón es quemado para liberar calor junto con CO₂ y varios otros contaminantes.

El calor calienta el agua, genera vapor y hace que gire una turbina y finalmente genera electricidad. Luego la electricidad es llevada por líneas de alto voltaje, muchas veces cientos de kilómetros de distancia. Finalmente, el voltaje desciende en una subestación y es enviado por cables a los hogares para que pueda conectar

al televisor.

No se trata de un sistema simple, pero funciona y logra que cada habitante pueda ponerse a ver la televisión, oír la radio, entre otros. Debido a toda la energía utilizada por la maquinaria o la que se pierde por las líneas eléctricas, estos aparatos, recibirán menos del 65% de la energía original (por lo que se llega a la conclusión de que no es un sistema eficiente).

Esto es lo que se llama un sistema de generación centralizado, donde la electricidad se genera en forma centralizada en grandes cantidades y luego es enviada por las líneas eléctricas hacia una gran cantidad de casas y negocios, ver figura N^a 10.

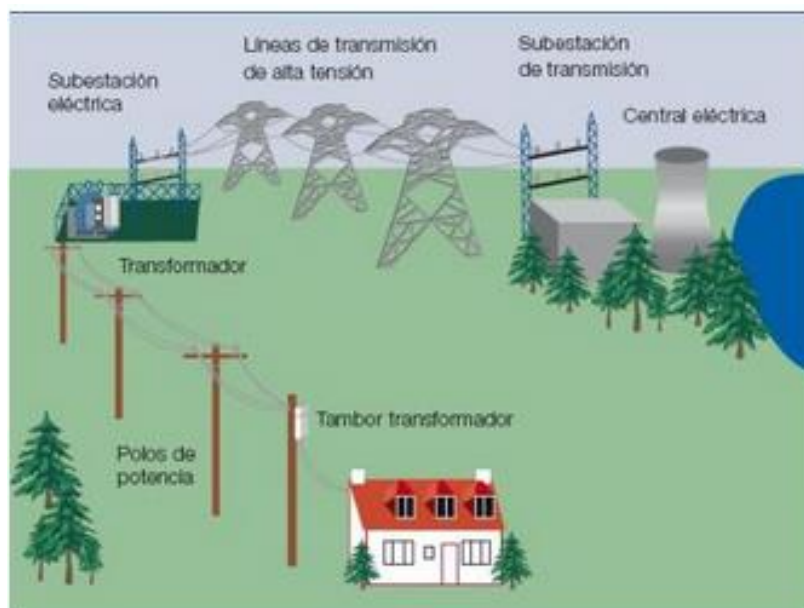


Figura 10. Generación centralizada vs generación distribuida

Fuente: Consultoría de Construcciones Bioclimáticas, Eficiencia Energética y Energías Renovables (2012)

Por el otro lado, se tienen los sistemas de energía distribuida, el cual se produce la energía en el punto de consumo, ¿Qué ventajas tiene esto? En primera se evita la pérdida de energía por medio del transporte, también conocidas como pérdidas

parásitos, el cual es casi un 65% de la total producida y son mucho más sencillos que los sistemas de generación eléctrica centralizada.

Los sistemas más populares de generación de energía distribuida, son los paneles solares. Los cuales son sistemas de energía renovable a escala doméstica, por lo que una de sus ventajas son que no emite emisiones de CO₂ al generar energía, dado a que su fuente es el sol. Por el momento, dado a su precio todavía no son competencia para los sistemas centralizados, pero cada vez el precio de producción de esta tecnología está reduciéndose, en un futuro muy cercano podrá sobrepasar esa curva de competencia y desplazar a un lado el obsoleto y poco eficiente sistema centralizado, ver figura N^o 11.

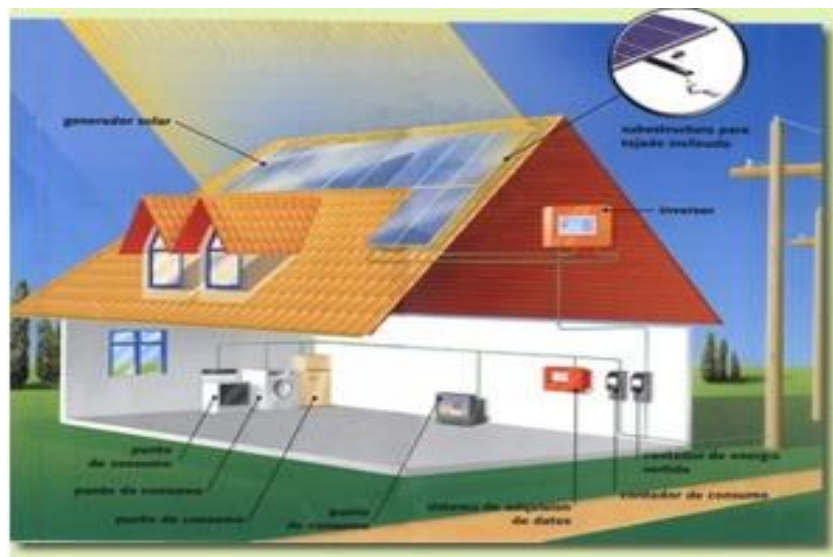


Figura 11. Sistema de generación distribuida

Fuente: Consultoría de Construcciones Bioclimáticas, Eficiencia Energética y Energías Renovables (2012)



2.2.5 Generación Distribuida Renovable

El Ministerio de Hacienda de Argentina (2019), señala que, es el uso de Fuentes Renovables, como el sol, el viento, el agua en cauces de río, la biomasa, y otros, para generar energía eléctrica destinada al autoconsumo, y a su vez inyectar el excedente de energía a la red de distribución. Los equipos de generación distribuida, como paneles solares, pequeños aerogeneradores u otras tecnologías, pueden instalarse en industrias, PyMEs y hogares, generando un ahorro económico en la factura del servicio eléctrico y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Sobre el particular Strashorra (2015), indica que, la generación distribuida, consiste en generar electricidad cerca de los puntos de consumo o en el mismo punto de consumo, en oposición al concepto de generación centralizada, que actualmente es la forma dominante en las redes convencionales, y que, se basa en grandes plantas de generación eléctrica, normalmente alejadas de los centros de consumo.

El auge de la GD, surge por la necesidad de disponer de mayor potencia de generación, la saturación de las actuales redes de transporte y distribución y la irrupción de las energías renovables a gran escala. La GD, abarca cualquier forma de generación (y acumulación) de energía eléctrica, pero cobra interés cuando se trata de generación con energías renovables. Los principales sistemas de generación de energía abarcan: solar, cogeneración, eólica, microturbinas de gas, hidráulica, grupos electrógenos y biomasa.

Destaca Información Tecnológica (2002) que, se considera la energía renovable, como la energía proveniente de fuentes renovables, como viento, calor y luz del sol, caídas de agua y biomasa. Estos recursos pueden ser usados para la generación de energía eléctrica, pero su utilización depende de la abundancia, del nivel de



maduración, de la tecnología disponible y, en algunos casos, del interés y aceptación de los consumidores finales.

Desde el punto de vista ambiental, la energía generada de fuentes renovables reduce las emisiones con relación a las fuentes convencionales, además de ahorrar carbón, gas natural, urano y combustibles fósiles para aplicaciones que no tengan sustitutos y que pueden ser vitales para las generaciones futuras. La generación a partir del viento o sol, no producen emisiones y aquellas a partir de la biomasa, presentan un saldo nulo de CO² (siempre que haya reposición equilibrada), pues las emisiones resultantes de la combustión son compensadas por la extracción de dióxido de carbono extraído de la atmósfera durante el proceso de fotosíntesis que ocurre en el crecimiento de las plantas.

Sobre los aspectos socio-económicos, se tiene que la generación distribuida de fuente renovable, abastece oportunidades de negocios y beneficios financieros para aquellos de la propia localidad. Debe notarse, también que la energía renovable, es un componente fundamental para el desarrollo sostenible y puede ser vista como una estrategia de largo plazo en la planificación de negocios.

En este estudio se involucra solamente a la generación distribuida renovable con energía solar. Algunas tecnologías de generación distribuida renovables son: Generadores fotovoltaicos, generadores eólicos, micro turbinas hidráulicas, biomasa.

2.2.5.1 El sistema solar fotovoltaico interconectado a la red.

2.2.5.1.1 Generadores fotovoltaicos.

Según Nadezhda (2019), los sistemas interconectados a la red eléctrica, son aquellos que no necesitan baterías para almacenar la energía producida ya que en

estos sistemas la energía es introducida y almacenada en la red de CFE por medio de un medidor bidireccional, esta energía se utiliza de resguardo para cuando es de noche.

Las ventajas que tienen este tipo de sistemas principalmente es que sus precios son más accesibles, proporcionan energía 100% limpia, la inversión inicial para comenzar el proyecto se recupera pronto, tienen una vida útil cuando menos de 25 años, por otra parte, no implica gastos de mantenimiento ya que solo requieren de limpieza, son ideales para uso residencial, de oficina, incluso para grandes empresas e industrias, ver figura N^a 12.

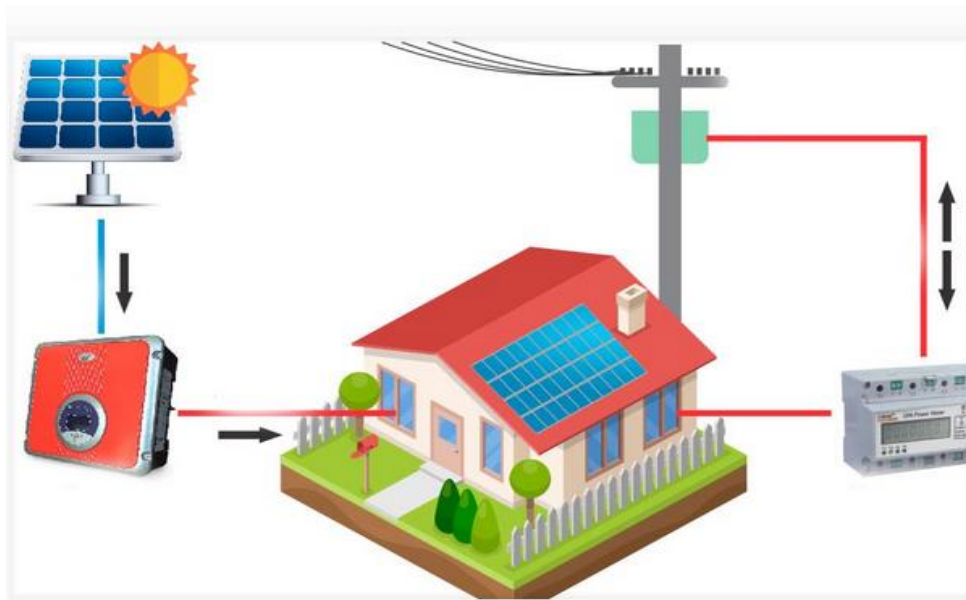


Figura 12. Sistema de generación distribuida solar

Fuente: Nadezhda (2019)

Por su parte, Dexen Energy (2019), informa que un sistema de paneles solares interconectados a la red, es simplemente un sistema que está conectado a la red eléctrica de CFE y, por lo tanto, utiliza la electricidad tanto del sistema de paneles solares como de la red eléctrica. Debido a esto, un sistema solar interconectado no tiene que satisfacer todas las demandas de electricidad del hogar. Si es necesario, la casa puede extraer energía de la red en momentos (como en días nublados o en la



noche) cuando los paneles solares no están produciendo con la máxima eficiencia.

De la misma manera, si se genera más energía de la necesaria por los paneles de una casa, ese exceso de energía será alimentado a la red y se te abonará. De este modo, conectar la casa a la red requerirá la participación de cada dueño y del proveedor de su sistema de paneles solares. Para empezar, el proveedor del sistema solar debe conocer las leyes locales de interconexión.

Las leyes de interconexión son reglas y procedimientos que se aplican específicamente a situaciones en las que un sistema de energía renovable como un sistema de energía solar está conectado a la red eléctrica. Las leyes de interconexión establecen los términos que deben seguir tanto los propietarios del sistema como las utilidades. Para comenzar con un sistema interconectado a la red, su proveedor de sistema solar realizara los trámites de interconexión y medición neta con CFE.

En cuanto a su funcionamiento, los paneles solares capturan los rayos del sol convirtiéndolos en energía limpia. El inversor convierte la corriente directa (DC) en alterna (AC). La corriente alterna (AC) viajara al centro de carga para ser utilizada. El medidor bidireccional cuantifica la energía inyectada a la red. El exceso de energía se envía CFE y se te abona. En igual orden de ideas, un sistema solar interconectado a la red tiene varias ventajas:

Asegura suministro: Hay días en que la eficiencia no es la mejor, debido a tormentas o en la noche. Sin embargo, muchas de nuestras actividades diarias y nocturnas seguirán requiriendo el uso de electricidad. Aquí simplemente utilizas energía de la red. A diferencia de los sistemas aislado de la red que pueden quedarse sin energía. Menos energía se desperdicia como resultado y la eficiencia de su sistema. Excepto en el caso de un apagón, siempre tendrá acceso a la electricidad



durante cualquier hora del día, siempre y cuando su sistema esté conectado a la red.

Costos: Para funcionar correctamente, los sistemas aislados de la red requieren equipo más especializado lo que los hace caros rápidamente. Evidentemente, menos equipo significa generalmente menores costos de instalación y mantenimiento. Este es el caso de la mayoría de los sistemas conectados a la red. Dado que la red eléctrica funciona como una batería para su sistema, usted no sólo no tiene que pagar por las baterías, no tiene que pagar por el mantenimiento que está involucrado con esas baterías.

Medición neta; El concepto clave para entender acerca de un sistema atado a la red es que le da la capacidad de alimentar la red durante el día, cuando está produciendo energía excesiva y usar el suministro de la red por la noche. La medición neta es un proceso de facturación que acredita a los propietarios de sistemas conectados a la red cuando producen más energía que las necesidades del hogar.

El medidor de energía sigue este intercambio entre su sistema solar y la red. La generación de energía excesiva conduce a que su medidor gire hacia atrás en lugar de hacia adelante, lo que le da un crédito. El crédito puede utilizarse para compensar los pagos por el uso futuro de energía.

Indica Solarbox Energías Renovables (2019) que, la energía solar fotovoltaica es la que utiliza el efecto fotovoltaico para generar energía eléctrica, mediante el flujo de electrones que genera un material semiconductor al incidir la luz sobre él. Este tipo de generación de electricidad se utilizaba para lugares aislados a los que no llegaba la electricidad. Sin embargo, su expansión y la tecnología existente como fuente de generación de energía para la red eléctrica ha sido muy rápido durante los

últimos años.

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica constituyen una de las aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años. La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación formado por la batería y la regulación de carga. Además, el inversor en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la tensión de la red.

Las principales componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red son: el panel o modulo solar con su respectiva etapa de DC/DC,, un elemento acondicionador de la potencia producida (un inversor AC/DC), cuya función es adecuar la energía generada por el panel a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta y finalmente una estrategia de control que permita llevar a cabo un correcto funcionamiento del sistema en general, ver figuras N° 13 y N° 14.

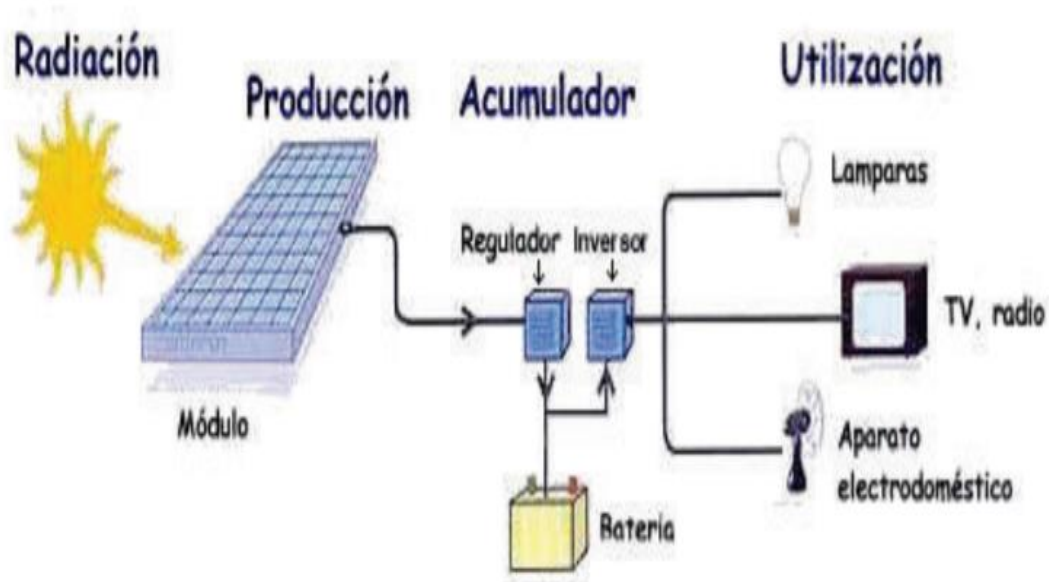


Figura 13. Componentes de un sistema de generación fotovoltaicas

Fuente: Fuente: Consultoría de Construcciones Bioclimáticas, Eficiencia Energética y Energías Renovables (2014)

Diagrama Sistema de Energía Fotovoltaico

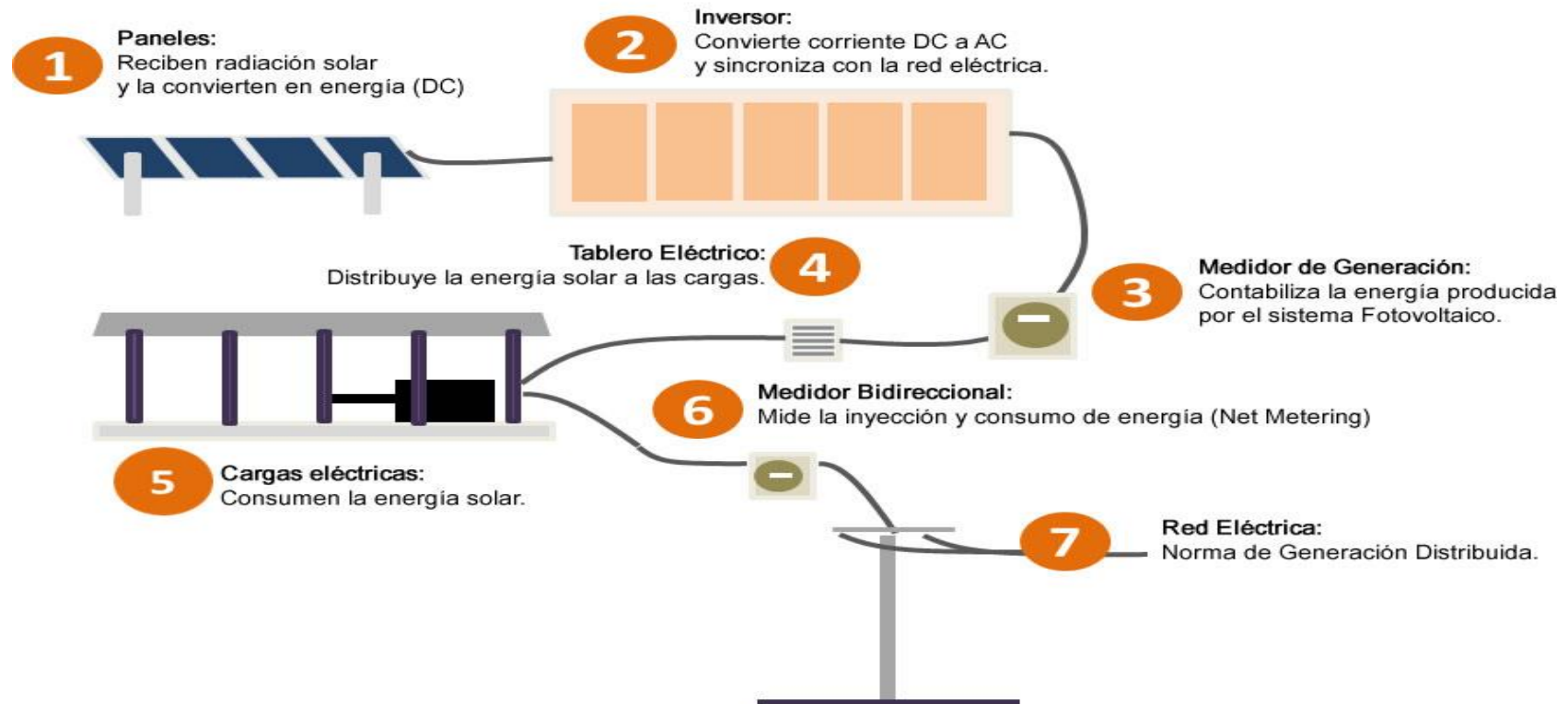


Figura 14. Diagrama de Sistema Fotovoltaico

Fuente: Consultoría de Construcciones Bioclimáticas, Eficiencia Energética y Energías Renovables (2014)

2.2.6 Efectos de la generación distribuida en un sistema eléctrico

Establece Mendiara (2013) que, dentro de los aspectos analizados para evaluar el impacto de la generación distribuida en las redes de distribución eléctrica, se encuentran los siguientes:

Flujos de potencia: El cálculo de flujos de potencia es una valoración cuantitativa de la transferencia de potencia producida en la red. Conocidas la potencia generada y las cargas del sistema, es posible calcular los flujos de potencia para las distintas condiciones de funcionamiento. Se distinguirá entre flujos de potencia activa (P) y reactiva (Q).

Pérdidas de potencia: En la distribución de energía a través de electricidad, una parte se pierde en el propio proceso. Será objeto de estudio si las instalaciones de generación distribuida contribuyen al aumento o disminución de las pérdidas de potencia en la red.

Estabilidad de tensión: Es la capacidad del sistema de potencia para mantener la tensión de todos sus nudos dentro de unos límites aceptables cuando el sistema está funcionando tanto en condiciones normales como después de haber sufrido alguna alteración. Una caída de tensión cuando las condiciones de funcionamiento se ven alteradas, puede provocar que el sistema experimente un estado de inestabilidad. Esto da a entender que mantener el perfil de tensiones sin grandes reducciones tras añadir Generación Distribuida favorece para no sacar al sistema de la estabilidad. Para los casos prácticos se cuantificará la tensión en magnitud unitaria (p.u) y así observar qué modificaciones introduce la GD.

Análisis de fallos: Un defecto en las condiciones de funcionamiento puede ocasionar un fallo de los elementos que la componen. La consecuencia suele ser



una elevada corriente por donde está localizado el fallo. Estas corrientes de fallos son un riesgo para el suministro y para los componentes que forman la red. El fallo simulado en los casos prácticos será un fallo Línea –Tierra producido en las condiciones en que el sistema está sometido a carga máxima. El parámetro de análisis será la corriente de fallo (A).

Capacidad de transferencia de potencia: La capacidad de transferencia de potencia en un sistema eléctrico indica la cantidad que puede incrementarse la potencia transferida entre distintas zonas del sistema sin comprometer su seguridad. Es un concepto muy útil a lo hora de planificar la introducción de GD en un sistema ya que uno de los problemas a evitar es el de la congestión (la demanda supera la capacidad de transferencia) de las líneas. Con este propósito puede resultar incluso más interesante conocer cuál es la máxima potencia que se puede transferir en un sistema eléctrico desde un área a las áreas restantes.

El parámetro cuya evolución se va a evaluar tanto en el caso con GD como sin GD es la máxima capacidad de transferencia de potencia del sistema de distribución (CTDD). Es una medida de la capacidad del sistema para permanecer seguro en caso de fallos de generación. Para las redes de estudio en este proyecto se calculará la máxima CTDD y el elemento limitante para cada zona del esquema eléctrico y para los diferentes escenarios de funcionamiento definidos en las simulaciones. Este cálculo se hará tanto para el caso base (funcionamiento normal de las redes) como para el caso en los que el sistema está sometido a contingencias (líneas abiertas como fallo provocado).

Análisis de estabilidad transitoria: La estabilidad de un sistema eléctrico de potencia, es la habilidad de éste para recuperar el estado de operación en equilibrio



después de haber sido sometido a una perturbación, con la mayoría de las variables del sistema delimitadas de tal manera que todo el sistema permanece intacto. La inestabilidad tras un fallo se manifiesta con un aumento de las oscilaciones angulares de algunos generadores. Por tanto, el parámetro a seguir será el ángulo de rotor, variable que se ve directamente afectada por los problemas que una perturbación ocasiona y que puede ser causa de la pérdida de sincronismo por parte de todo el sistema. Este concepto es lo que se denomina estabilidad transitoria

Expresa Chusin y Escobar (2015) que, la generación distribuida tiene efectos positivos y negativos en una red eléctrica, a continuación, se realiza una breve descripción de los mismos.

Efecto en las pérdidas del sistema: De manera general se puede afirmar que, al inyectar corriente producido por la GD conectado al nodo de la red, se puede disminuir las pérdidas, pues al disminuir la intensidad por una rama disminuye la caída de tensión y por tanto las pérdidas en un tramo de línea, pero si el nivel de penetración de la GD aumenta, afecta a la capacidad térmica de los conductores por lo que las pérdidas más bien aumentan. Los bancos de capacitores reducen pérdidas al igual que la GD, pero la diferencia fundamental es que, la GD influye en los flujos de potencia tanto activa como reactiva y los capacitores solo influyen en el flujo de potencia reactiva.

Efecto en el flujo de carga: El impacto que tiene la GD en el flujo de carga tiene que ver con las corrientes y voltajes en los nodos del alimentador, si una red que se alimenta desde la subestación, se añade una, o varias fuentes de generación, las tensiones en los nodos de la red tienden a subir debido a que la corriente que fluye desde la subestación hacia las cargas disminuye y las cargas se alimentan desde



fuentes más cercanas a ellas además de la fuente principal, esto reduce las caídas de tensión en las líneas.

Pero la otra cara de la moneda sería que la inyección de potencia sea mayor a la que los conductores de alimentador soportan y con esto provocar que la capacidad térmica de los conductores sea violada, con lo que aumentaría la resistencia en los conductores y por ende aumentan también las pérdidas. El criterio en este caso sería “deslazar” GD, con el fin de llevar a la red a un estado de operación normal (entendiéndose por “operación normal” como el estado en que una red opera sin rebasar límites térmicos y de voltajes). En el caso en que la potencia generada por el GD es mayor que la consumida y que el sistema soporta este flujo de carga sin problemas, la potencia sobrante es transferida a través de las subestaciones primarias a la red de transmisión.

Efecto sobre las corrientes de falla y equipos de protecciones: La potencia de cortocircuito en cada nodo se ve afectado por muchos parámetros, uno de ellos es el cambio de topología de la red por conexión de nuevos generadores o cargas. Además, para un evento de fallo, los generadores conectados al sistema contribuyen a la corriente de falla. Considerando los aspectos mencionados, el sistema de protecciones de la red se verá afectado, debido a que estos equipos han sido diseñados para unos valores de sobrecarga determinados con su respectivo rango máximo de tolerancia, el cual puede llegar a ser el factor limitante de conexión de nuevos generadores.

Por lo tanto, los equipos de protección deberían ser redimensionados y/o recalibrados (tiempos y capacidad) para los nuevos valores de las corrientes de falla y establecer tiempos de operación de los equipos de protección para las nuevas



corrientes de falla. En general, la contribución de los generadores síncronos a la corriente de falla es alta, la de los generadores de inducción es baja, y la de los generadores de corriente continua acoplados al sistema a través de equipos electrónicos, es muy baja.

Efectos sobre la calidad de la energía: La instalación de GD afecta de varias formas a la calidad de potencia, entre las cuales se pueden mencionar; la inyección de armónicos en el caso de emplear interfaces con inversores, complicando la operación de los dispositivos reguladores de voltaje; el incremento en el riesgo de presencia de ferro resonancia introduciendo “Flicker” (parpadeo) desde la generación.

Efecto sobre la confiabilidad de un sistema eléctrico: La presencia de la GD en sistemas de distribución tiene aspectos positivos desde el punto de vista de confiabilidad a la hora de analizar la confiabilidad de dichos sistemas, ya que, al convertirse la GD en una alternativa de alimentación para la red, el tiempo de interrupción causado por una falla permanente disminuye para los usuarios aguas abajo del tramo o área que fallo, ya que el tiempo de interrupción (por una falla permanente).

Para dichos usuarios sería aproximadamente el tiempo que conllevaría aislar el tramo que fallo y ya no el tiempo de reparación del componente que fallo o el tiempo de transferencia de carga a un alimentador vecino, dando como resultado una mejora de los índices de confiabilidad del sistema. La diferencia fundamental entre contar con una alternativa de alimentación de un alimentador vecino y una alternativa de alimentación con GD es que, con la segunda, la topología de la red no cambia por lo que los tiempos de operación son menores que cuando se hace



trasferencia de carga y luego de reparado el componente se tenga que volver a la topología inicial.

Gases de efecto invernadero: Desde la revolución industrial el ser humano ha emitido a la atmósfera cerca de 375.000 millones de toneladas de carbono en forma de dióxido de carbono (CO_2). Las mediciones atmosféricas muestran que prácticamente la mitad de ese CO_2 permanece en la atmósfera y que, hasta ahora, los sumideros oceánicos y terrestres han ido aumentando progresivamente.

Las mediciones de CO_2 realizadas con precisión por los asociados de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sirven de base para entender el destino del CO_2 emitido a la atmósfera. La figura N° 15, del lado izquierdo muestran el promedio mundial de CO_2 desde 1958 que se infiere de las mediciones realizadas por los asociados de la VAG (en azul) y el que se estima que habría de no existir sumideros oceánicos y terrestres (en verde).

La figura de la derecha muestra las emisiones anuales en PgC provenientes de la quema de combustibles de origen fósil y de otros procesos industriales, el aumento atmosférico anual y la cantidad de carbón secuestrado por los sumideros cada año. Los sumideros constituyen la pequeña diferencia neta que existe (~100 PgC por año) entre los grandes flujos de CO_2 enviados a la atmósfera y los absorbidos por la biosfera terrestre y los océanos.

Esta diferencia varía con oscilaciones climáticas como los fenómenos El Niño y La Niña. Entre los sumideros, el oceánico es menos susceptible a la interferencia humana que la biosfera terrestre. Las absorciones netas de CO_2 por parte del océano hacen que este se vuelva más ácido, lo que puede tener repercusiones importantes

en la cadena alimentaria de los océanos.

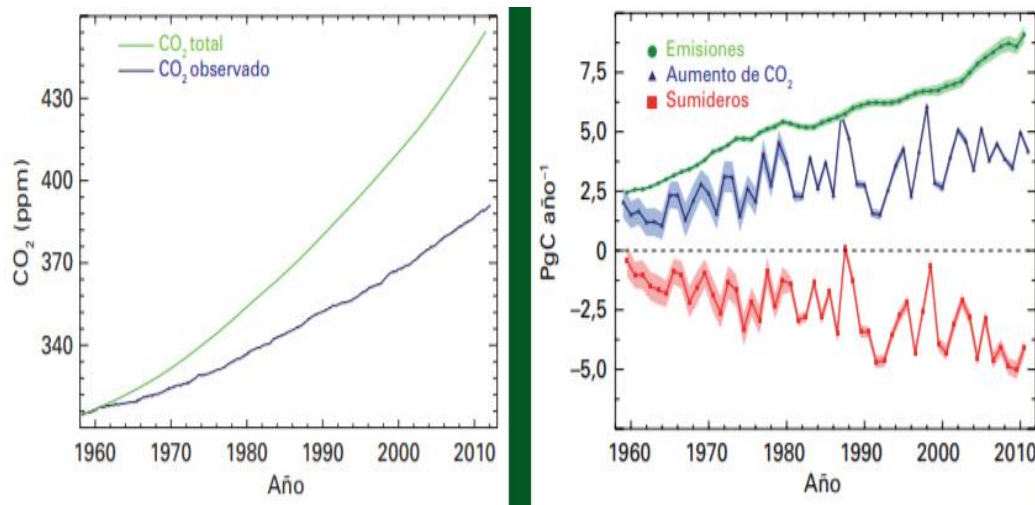


Figura 15. Evolución de las emisiones de CO₂

Fuente: Vigilancia de la Atmosfera Global “VAG” de la Organización Mundial Meteorológica “OMM” (2017)

Por su parte, Carvajal y Marín (2012), refieren que, la distribución trae incertidumbres a los diversos agentes del mercado que conllevan a problemas técnicos, económicos y regulatorios. A continuación, se analizan cada uno de los problemas mencionados, de manera global, teniendo en cuenta las oportunidades que promete tener la instalación de GD en los sistemas eléctricos de potencia.

Generación distribuida y aspectos técnicos: La generación distribuida, trae consigo muchos beneficios para la seguridad energética, dado que puede utilizar tecnologías de energías renovables (RETs _ Renewable Energy Technologies. Las RETs mitigan el riesgo de sufrir desbalances entre generación demandada y generada a largo, mediano y corto plazo, puesto que apoyan el sistema eléctrico en situaciones inesperadas que ponen en peligro el suministro de energía eléctrica y el buen funcionamiento del mercado.

La GD, por ser conectada cerca de los centros de consumo, no necesita las redes de transmisión y en caso de un evento en que se desconecte, parcial o totalmente,



el sistema interconectado de potencia, la GD puede ser clave para mitigar las consecuencias económicas y sociales que trae consigo un apagón. Además, la GD puede aumentar la seguridad, calidad y con complementarios como el control de tensión y el arranque autónomo.

Generación Distribuida e Impacto ambiental: La expansión de generación eléctrica a nivel mundial muestra una tendencia a la búsqueda de proyectos que tengan en cuenta la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), ya que éste, representa el 86% del total de partículas aceleradoras del cambio climático.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), la agencia meteorológica de la ONU, indica que el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico son ahora más prevalentes en la atmósfera que en ninguna otra época desde la revolución industrial.

El reporte de la OMM mide la cantidad total de gases de efecto invernadero en la atmósfera con base en estaciones de monitoreo en más de 50 países. Esto significa que incluye las emisiones naturales y los procesos de absorción, al igual que las emisiones causadas por la actividad humana. El dióxido de carbono, responsable del 80% del efecto de calentamiento global en las últimas dos décadas, subió rápidamente con el uso de combustibles fósiles. Las principales fuentes de CO₂ son: la quema de combustible fósiles y la deforestación.

Generación distribuida y necesidad de políticas regulatorias: Las limitaciones detectadas en el desarrollo de la GD aparecen ligadas a factores económicos, ya que las plantas distribuidas son plantas con una capacidad de generación que no superan los 20 MW, por lo tanto, si no existen incentivos por parte del regulador, es muy difícil que puedan competir con las plantas convencionales donde el costo marginal



es muy bajo, característica de las economías con alta rentabilidad debido, entre otras características, a su gran tamaño.

2.2.7 Gases de efecto invernadero

Según Muerza (2009), el dióxido de carbono no es el único de estos elementos involucrados en el cambio climático. Conocidos por su influencia en el calentamiento global, los gases de efecto invernadero (GEI) no son en realidad un problema. Resultan imprescindibles para mantener la temperatura del planeta, pero la actividad humana ha aumentado su número y ha alterado su equilibrio natural. El dióxido de carbono (CO₂) es el más conocido, pero no es el único: el vapor de agua, el metano, el ozono y otros gases con nombres más difíciles de pronunciar, como el trifluorometano, son también compañeros de grupo. Los científicos reconocen que hacen falta más investigaciones para entender por completo el funcionamiento de estos gases y su efecto real en el cambio climático.

Los GEI constituyen un elemento esencial para la vida: sin ellos, el planeta sería un bloque de hielo. Si en un invernadero la cobertura plástica evita la pérdida del calor y conserva una temperatura estable, en la Tierra estos gases consiguen un efecto similar. Su presencia en la atmósfera permite beneficiarse de parte del calor que envía el sol, de allí su nombre.

Los principales GEI son de origen natural. El problema surge cuando la cantidad de estos gases aumenta porque se altera el equilibrio natural y el clima se comporta de manera distinta. La industrialización, con el uso masivo de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) y todas las actividades humanas derivadas, como el transporte o el uso intensivo de la agricultura y la ganadería, contribuyen desde el siglo XIX a incrementar estos gases.



El aumento de los GEI se asocia también a otros problemas antropogénicos (causados por el ser humano) para el medio ambiente. La deforestación ha limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono (CO_2), uno de los principales GEI. Cuando se habla de gases de efecto invernadero (GEI) se suele destacar al dióxido de carbono (CO_2), por lo que podría pensarse que es el único. Pero hay muchos más. Algunos de ellos con un potencial mayor. Estos son los principales GEI, ordenados de mayor a menor impacto:

Vapor de agua (H_2O): según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés), supone entre el 36 y el 70 por ciento del efecto invernadero. La niebla, la bruma y las nubes son vapor de agua, y es también el principal subproducto de la combustión de los combustibles fósiles. Y, por si fuera poco, el calentamiento global provoca un bucle que se retroalimenta: con unas temperaturas más altas, se produce más vapor de agua, que genera a su vez temperaturas más altas, y a su vez más vapor de agua, etc.

Dióxido de carbono (CO_2): es un subproducto de la respiración celular y de la utilización de combustibles fósiles.

Metano (CH_4): es el principal componente del gas natural y de las flatulencias de las vacas, así como de otras fuentes naturales (como los pantanos o las termitas) y artificiales, como los vertederos. Los científicos reconocen que no entienden del todo el ciclo del metano, por lo que su contribución al problema podría ser incluso mayor.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): estos gases se crean de forma natural a partir de la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, por la combustión vegetal o por la actividad volcánica. El ser humano ha provocado un aumento de estos gases, al



producirlos para diversos productos industriales y como subproducto de los vehículos motorizados.

Ozono (O₃): el debilitamiento de la capa de ozono hizo famoso a este gas. Por ello, resulta chocante afirmar que su aumento es negativo. En realidad, el ozono no está distribuido de forma equitativa por el planeta. El ser humano ha acentuado las diferencias. Por una parte, en la zona inferior de la atmósfera hay demasiado ozono, que actúa como un potente GEI. Por otra, en la parte superior escasea, lo que se traduce en una menor capacidad para impedir la radiación solar adversa.

Trifluorometano (CHF₃): también conocido como fluoroforno, se utiliza en la fabricación de los chips de silicio y como un supresor de fuego. Es el gas más abundante de los hidrofluorocarbonos (HFC). Permanece en la atmósfera durante 260 años y atrapa el calor 11.700 veces más que el CO₂.

Hexafluoroetano (C₂F₆): utilizado en la creación de semiconductores, permanece en la atmósfera hasta 10.000 años. Esta longevidad, junto con su capacidad de retener el calor 9.200 veces más que el CO₂, ha provocado el interés del IPCC por seguirle de cerca.

Hexafluoruro de azufre (SF₆): gas inerte muy empleado en la industria de la electrónica como aislante. El IPCC lo considera el GEI más poderoso del mundo, con una capacidad de atrapar el calor 22.200 veces más que el CO₂.

Triclorofluorometano (CFC-11): este refrigerante provoca varios efectos negativos en el medio ambiente. Además de retener el calor 4.600 veces más que el CO₂, reduce la capa de ozono de forma más rápida que cualquier otro refrigerante, sin olvidar el impacto ambiental del cloro.

La lista podría ampliarse a medida que los científicos estudian más el fenómeno.



Es el caso del fluoruro de sulfurilo (SO_2F_2). Utilizado como fumigante contra termitas, su capacidad como GEI ha sido dada a conocer en marzo por científicos del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). Tiene una vida útil de 40 años y es capaz de atrapar el calor 4.800 veces más que el CO_2 . Aunque en la atmósfera sólo se encuentra en 1,5 partes por billón, esta cantidad aumenta en un 5% al año según un reciente artículo publicado en Journal of Geophysical Research.

Los científicos señalan la necesidad de desarrollar más investigaciones porque desconocen el impacto exacto de los GEI y su posible evolución en los próximos años. El Protocolo de Kyoto no tuvo en cuenta al trifluoruro de nitrógeno (NF_3). Sus emisiones eran tan bajas que los expertos asumieron que no tenía un impacto significativo en el calentamiento global. Sin embargo, científicos del Instituto Scripps de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego revelaban el año pasado que su presencia en la atmósfera es cuatro veces mayor de lo que se suponía.

Este GEI tiene una capacidad de atrapar el calor 17.000 veces superior a la del CO_2 y dura cinco veces más en la atmósfera que éste. El impacto del metano también podría ser mayor del que se cree en la actualidad. Si el cambio climático logra derretir las zonas de permafrost, el metano que guarda en su interior se liberaría. Un reciente estudio del Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo, con sede en Londres, ha destacado las ciudades con mayor emisión de CO_2 equivalente del mundo. La lista está encabezada por Washington DC, con 19,7 toneladas de CO_2 equivalentes por persona. Esta cantidad supone una huella de carbono casi tres veces superior a la de cualquier otra gran ciudad en los países desarrollados.



Las siguientes ciudades acompañan a la capital estadounidense en el "top diez": Glasgow, Reino Unido (8,4 t); Toronto, Canadá (8,2 t); Shanghai, China (8,1 t); Nueva York, EE.UU. (7,1 t); Beijing, China (6,9 t); Londres, Reino Unido (6,2 t); Tokio, Japón (4,8 t); Seúl, Corea del Sur (3,8 t). En el décimo puesto de esta clasificación se sitúa Barcelona, con 3,4 toneladas de CO₂ equivalente por persona. No obstante, el estudio relativiza el impacto de las grandes urbes. Si bien reconoce que sus habitantes consumen grandes cantidades de energía, recuerda otras emisiones importantes, como el metano, originado en las zonas rurales.

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019), los gases efecto invernadero, son compuestos químicos en estado gaseoso como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera

Los gases efecto invernadero (GEI) contribuye al efecto invernadero intensificando sus efectos sobre el clima en la medida que aumentan. El vapor de agua es simplemente H₂O en estado gaseoso.

El dióxido de carbono (CO₂): Es un gas que se produce de forma natural y también como subproducto de la combustión de la biomasa, cambios en el uso de las tierras y procesos industriales mediante el uso de combustibles fósiles.

Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta, y es el gas de referencia a partir del cual se miden otros gases de efecto invernadero según el IPCC. El metano (CH₄) se genera por las eyecciones de los rumiantes; y también en la producción de arroz.

El óxido nitroso (N₂O): es emitido por los fertilizantes agrícolas, el estiércol del



ganado, el tratamiento de las aguas servidas, la combustión y otros procesos industriales. Los gases fluorados (gases fluorados) se generan en los procesos industriales, refrigeración, y el uso de una variedad de productos de consumo contribuyen a las emisiones de gases fluorados, que incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Mientras que para la Organización Mundial Meteorológica (2017), Global (VAG) registra los cambios en los niveles de GEI y actúa como sistema de alerta temprana al detectar las alteraciones de esos impulsores decisivos del cambio climático. El crecimiento demográfico, unas prácticas agrícolas más intensivas, un mayor uso de la tierra y el aumento de la deforestación, la industrialización y el consiguiente uso de energía procedente de fuentes fósiles han contribuido, todos, a una aceleración de la tasa de aumento de la concentración de GEI en la atmósfera desde el inicio de la era industrial, en 1750.

Las emisiones de CO₂ procedentes de actividades humanas volvieron a alcanzar niveles récord en 2016, si bien, de acuerdo con la evaluación más reciente realizada por el Proyecto Carbono Global, el aumento interanual de dichas emisiones se ha ralentizado o incluso se ha estabilizado. Estas emisiones, junto con las emisiones naturales de 2015 y 2016 relacionadas con El Niño, han contribuido al aumento récord de la concentración de CO₂ en la atmósfera, detectado por la red de Vigilancia de la Atmósfera Global “VAG” de la Organización Mundial Meteorológica “OMM” (2017) y han provocado un aumento adicional del forzamiento climático.

El aumento sostenido de la concentración de GEI en la atmósfera durante el



período de observación desde 1970 hasta la actualidad es coherente con el aumento observado de la temperatura media mundial en el mismo período, con un valor récord registrado en 2016, según se comunicó en la Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial,

2.2.7.1 Dióxido de carbono (CO₂)

Expone la Organización Mundial Meteorológica (2017), que el estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2016. El dióxido de carbono es el principal GEI antropógeno de la atmósfera, al contribuir con ~65%(4) al forzamiento radiativo ocasionado por el conjunto de GEI de larga duración. Es responsable de ~82% del aumento de ese forzamiento en los últimos 10 años y de ~83% en los últimos cinco años.

El nivel de 278 ppm de la era preindustrial representaba un equilibrio de flujos entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre. En 2016 el CO₂ atmosférico alcanzó el 145% del nivel preindustrial a causa principalmente de las emisiones de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento (en 2015 el total de emisiones de CO₂ fue $9,9 \pm 0,5$ PgC (5), de la deforestación y de los demás cambios del uso de la tierra (la media fue de $1,0 \pm 0,5$ PgC para el período 2006–2015). Del total de las emisiones procedentes de actividades humanas durante el período 2006-2015, cerca del 44% se acumularon en la atmósfera, el 26% en los océanos y el 30% en la tierra.

La porción de CO₂ emitida por la quema de combustibles fósiles que permanece en la atmósfera (fracción transportada por el aire) varía de un año para otro debido a la elevada variabilidad natural de los sumideros de CO₂ y no sigue una tendencia global confirmada. El promedio mundial de la fracción molar correspondiente a



2016 fue de $403,3 \pm 0,1$ ppm. El aumento récord de la media anual de 2015 a 2016 (3,3 ppm) es mayor que el aumento récord anterior de 2012 a 2013 y un 50% superior a la tasa de aumento medio correspondiente al último decenio ($\sim 2,2$ ppm año⁻¹).

La aceleración de esa tasa de aumento en 2016 y en 2015, respecto de años anteriores, se debe, en parte, al incremento de las emisiones naturales de CO₂ relacionado con el episodio más reciente de El Niño, como se explicó en la edición anterior (duodécima) de este Boletín sobre los GEI.

Dando continuidad, la Fundación Aquae (2019), indica que se denominan gases de efecto invernadero (GEI) a los gases que forman parte de la atmósfera natural y antropogénica (emitidos por la actividad humana), cuya presencia contribuyen al efecto invernadero. Dentro de los gases principales implicados se encuentra el dióxido de carbono (CO₂): principal responsable del efecto invernadero. La concentración en la atmósfera es debido al uso de combustibles fósiles para procesos industriales y medios de transporte. Su emisión procede de todo tipo de procesos de combustión: petróleo, carbón, madera o bien por las erupciones volcánicas.

Para la Fundación para la Salud Geoambiental (2013), la molécula CO₂. El dióxido de carbono (CO₂), es un gas incoloro e inodoro compuesto por un átomo de carbono y dos de oxígeno en enlaces covalentes. Realmente el CO₂ forma parte de la naturaleza y es indispensable para la vida en la Tierra. De no existir el CO₂ las plantas no existirían, ya que éstas lo necesitan para realizar la fotosíntesis. El CO₂ no es realmente un tóxico, en el sentido de daño o envenenamiento por inhalación, ya que realmente es un gas que los seres vivos exhalan en su respiración.



Se encuentra de forma natural en el aire ambiente en concentraciones que varían entre 300 ppm a 550 ppm dependiendo de si medimos en entornos rurales o urbanos.

El CO₂ produce el desplazamiento del oxígeno y en concentraciones altas, de más de 30.000 ppm, puede producir asfixia. En aire interior el CO₂ es un gran indicador de la calidad de aire ya que actúa como chivato de la renovación de aire. Es sabido que, a partir de concentraciones de más de 800 ppm en entornos laborales, se comienzan a producir quejas debidas a olores.

2.2.7.2 Efecto invernadero.

Según el Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (2019), dentro de un invernadero la temperatura es más alta que en el exterior porque entra más energía de la que sale, por la misma estructura del habitáculo, sin necesidad de que empleemos calefacción para calentarlo. En el conjunto de la tierra se produce un efecto natural similar de retención del calor gracias a algunos gases atmosféricos. La temperatura media en la Tierra es de unos 15°C y si la atmósfera no existiera sería de unos -18°C. Se le llama efecto invernadero por similitud, porque en realidad la acción física por la que se produce es totalmente distinta a la que sucede en el invernadero de plantas.

El efecto invernadero hace que la temperatura media de la superficie de la Tierra sea 33°C mayor que la que tendría si no existieran gases con efecto invernadero en la atmósfera. El efecto invernadero se origina porque la energía que llega del sol, al proceder de un cuerpo de muy elevada temperatura, está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera con gran facilidad.

La energía remitida hacia el exterior, desde la tierra, al proceder de un cuerpo mucho más frío, está en forma de ondas de frecuencias más bajas, y es absorbida

por los gases con efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura sea más alta, aunque hay que entender bien que, al final, en condiciones normales, es igual la cantidad de energía que llega a la Tierra que la que esta emite. Si no fuera así, la temperatura de nuestro planeta habría ido aumentando continuamente, cosa que, por fortuna, no ha sucedido. Se podría decir, de una forma muy simplificada, que el efecto invernadero lo que hace es provocar que la energía que llega a la Tierra sea "devuelta" más lentamente, por lo que es "mantenida" más tiempo junto a la superficie y así se mantiene la elevación de temperatura.

Tabla 7. Gases de efecto invernadero

	Acción relativa	Contribución real
CO ₂	1 (referencia)	76%
CFC _s	15 000	5%
CH ₄	25	13%
N ₂ O	230	6%

Fuente: Libro Electrónico: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (2019)

Como se indica en la tabla N° 7, en la columna de acción relativa, un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15 000 veces mayor que un gramo de CO₂, pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la columna de la derecha. Otros gases como el oxígeno y el nitrógeno, aunque se encuentran en proporciones muchos mayores, no son capaces de generar efecto invernadero.

En el último siglo la concentración de anhídrido carbónico y otros gases de efecto



invernadero en la atmósfera ha ido creciendo constantemente debido a la actividad antropogénicas.

A comienzos de siglo por la quema de grandes masas de vegetación para ampliar las tierras de cultivo. En los últimos decenios, por el uso masivo de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural, para obtener energía y por los procesos industriales. La concentración media de dióxido de carbono (CO_2) se ha incrementado desde unas 275 ppm antes de la revolución industrial, a 315 ppm cuando se empezaron a usar las primeras estaciones de medida exactas en 1958, hasta 361 ppm en 1996.

Para el Grupo Tropa UCM (2019), el efecto invernadero es un fenómeno consistente en que la mayor parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre no escapa al espacio exterior del planeta, sino que es absorbida y re-emitida en todas las direcciones por ciertos gases atmosféricos y por las nubes. Consecuentemente, esta radiación infrarroja re-emitida desde la atmósfera alcanza la superficie terrestre, siendo absorbida por ésta, por lo que el resultado del efecto invernadero es calentar la superficie terrestre, así como la región atmosférica más próxima a ésta última, ver figura N° 16.

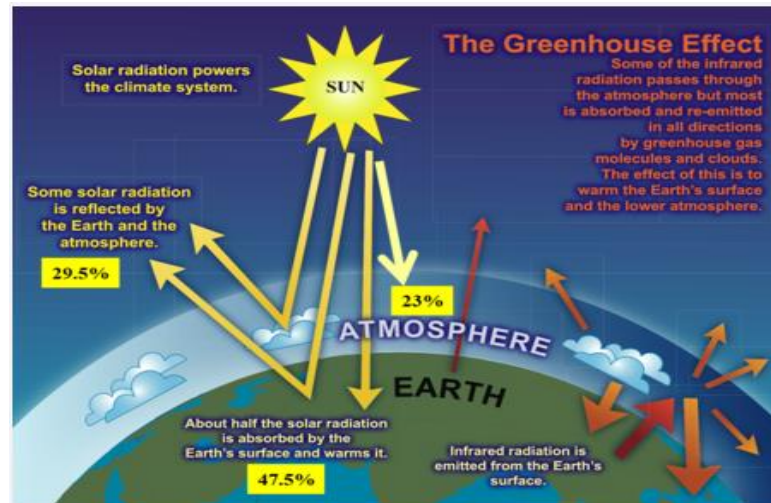


Figura 16. Modelación del efecto invernadero

Cuarto Informe del IPCC (2007). Los porcentajes han sido extraídos del Quinto Informe del IPCC (2013)

Fuente: Grupo Tropa UCM (2019)

Por tanto, la temperatura global media del planeta es el resultado combinado de su calentamiento por absorción de radiación solar, enfriamiento por emisión de radiación infrarroja y del efecto invernadero, de modo que sin la existencia de éste último la temperatura del aire en superficie sería bastante más baja (del orden de unos -18°C en su valor medio global).

Los gases atmosféricos que intervienen en el efecto invernadero o gases de efecto invernadero (GEI) son fundamentalmente el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el ozono (O_3), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4), junto con otros gases exclusivamente antropogénicos (es decir, producidos por las actividades del ser humano) como son ciertos productos formados por moléculas de carbono y halógenos (por ejemplo, los clorofluorcarbonos, CFCs). La figura N^o 16, muestra la absorción selectiva de radiación por parte de gases atmosféricos, de la que se observa que el GEI más importante que contribuye en el efecto invernadero natural (es decir, sin considerar la intervención humana) es el

vapor de agua, seguido del dióxido de carbono.

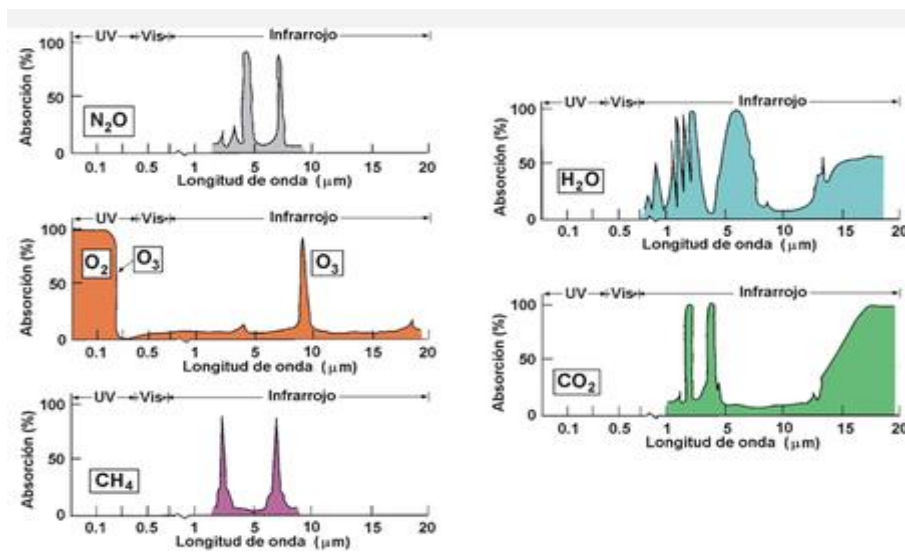


Figura 17. Coeficientes de absorción de gases atmosféricos

Fuente: Grupo Tropa UCM (2019)

La Figura 18, ilustra el resultado total de la absorción radiativa por la atmósfera terrestre y que determina el efecto invernadero natural, observándose que sólo la radiación de longitud de onda de aproximadamente 7-9 micrómetros y 10-12 micrómetros (conocidas como “ventana atmosférica”) escapa al espacio exterior. Como contribución adicional a los GEIs naturales, en general, las nubes absorben en torno a los 11 micrómetros.

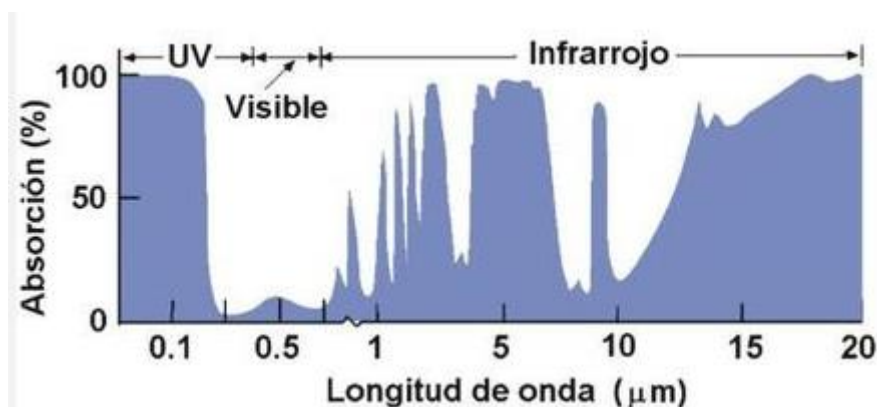


Figura 18. Absorción radiativa de la atmósfera

Fuente: Grupo Tropa UCM (2019)

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, si bien el efecto invernadero natural es



fundamental en el clima del planeta evitando que la temperatura media global sea en torno a -18°C , un aumento de los niveles de los GEIs por parte de las actividades humanas (fundamentalmente de CO_2 y GEIs exclusivamente antropogénicos) causaría un aumento del valor medio global de la temperatura en superficie del aire del planeta.

2.2.7.3 Cambio climático

El Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (2019), refiere que, por lógica, muchos científicos piensan que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento en la temperatura en la Tierra. A partir de 1979 los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al doble en la concentración del CO_2 en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la Tierra de entre $1,5$ y $4,5^{\circ}\text{C}$.

Estudios más recientes sugieren que el calentamiento se produciría más rápidamente sobre tierra firme que sobre los mares. Asimismo, el calentamiento se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero. Al principio los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO_2 se producirá el calentamiento final.

Como consecuencia del retraso provocado por los océanos, los científicos no esperan que la Tierra se caliente todos los $1.5 - 4.5^{\circ}\text{C}$ hasta hace poco previstos, incluso aunque el nivel de CO_2 suba a más del doble y se añadan otros gases con efecto invernadero. En la actualidad el IPCC predice un calentamiento de $1.0 - 3.5^{\circ}\text{C}$ para el año 2100.



Expresan Pardo y Rodríguez (2010) que, la Convención sobre el Cambio Climático de 1992 de las Naciones Unidas, al establecer que, por cambio climático se entiende un cambio de clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables. Sí que, el cambio climático es, sobre todo, de naturaleza antropogénica, es decir, tiene sus causas en las actividades de las sociedades actuales, concretamente en el modo de vida de las sociedades contemporáneas, principalmente las industrializadas.

Indican Pardo y Rodríguez (2010), que se entiende por cambio climático un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Existe un importante consenso científico en torno a que el clima global del planeta se verá alterado significativamente, como resultado del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos.

Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 5,5 °C en los próximos 50 años. Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Es importante precisar que el efecto invernadero pese no es malo. Los gases de efecto invernadero se producen de forma natural y son fundamentales para la vida en la Tierra, pues impiden que parte del calor solar regrese al espacio, por lo que evitan que el mundo sea un lugar

demasiado frío donde no sería posible la vida.

Sin embargo, cuando el volumen de estos gases es considerable y crece sin parar, provocan unas temperaturas artificialmente elevadas y modifican el clima, lo cual es conocido como calentamiento global. El principal responsable del aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera es el proceso de industrialización iniciado hace siglo y medio y, en particular, la combustión de petróleo, carbón y gas para producir energía, la tala de bosques y algunos métodos de aprovechamiento agrícola.

Estas actividades han aumentado enormemente el volumen de “gases de efecto invernadero” de forma muy rápida en la atmósfera, sobre todo de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. La frecuencia con que se menciona el CO₂ en relación con el efecto invernadero, hace que muchos ignoren que el principal gas de invernadero en la atmósfera terrestre es el agua (en estado de vapor).

2.2.8 Radiación solar, onda electromagnética y fotón

De acuerdo a los planteamientos de Martín (2004), la *radiación solar* se trata de un flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre, donde estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que se recibe están entre los rangos de longitud de onda de 0.4[μm] y 0.7[μm], y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que se conoce como luz visible.

Por ende, los rayos solares son un agente de energía natural por excelencia a través de ondas que tiene la cualidad de transmitir los rayos solares a la superficie de la tierra como una luz que contribuye significativamente a diversos procesos que



tienen origen en el planeta como fuente principal de energía.

En lo concernientes a las *ondas electromagnéticas*, para Antonella Cid (2011) es una superposición de campos eléctricos y magnéticos que se propagan por el espacio transportando energía de un lugar a otro; son la forma de propagación de la radiación electromagnética, las cuales viajan en el vacío con una rapidez de propagación $c = 3 \cdot 10^8$ [m/s] y cuyo espectro comprende: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultra-violeta, rayos X, rayos γ . En ese sentido, están vinculadas con un conjunto de mecanismos de transportación de los flujos de energía bajo procesos de ondas desde el espacio y el tiempo, donde el campo eléctrico fluctúa en un lugar específico.

Finalmente para Ernst (S/F), el *fotón* es una onda, que no necesita de un medio material para propagarse, se propaga por el espacio vacío. Así como una onda de sonido es una contracción-expansión del medio en que se propaga, el fotón es una contracción-expansión del espacio (del mismísimo espacio), razón por la cual entendemos que el espacio se curva, se contrae y expande. La rigidez del medio, da la velocidad de la deformación (velocidad de la onda).

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis General

Los impactos de la integración de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de media tensión en la ciudad del Cusco son positivos, los que permiten evaluar en forma cuantitativa y cualitativa los efectos técnicos, económicos, ambientales, normativos y sociales que propiciará posteriormente el uso de estos sistemas por los consumidores de energía eléctrica en media tensión en esta región del Perú.

2.3.2 Hipótesis Específicas

- a) Con la herramienta computarizada avanzada se ha modelado eléctricamente considerando la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada al sistema eléctrico del usuario de media tensión de la ciudad del Cusco.
- b) Los impactos técnicos son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.
- c) Los impactos ambientales son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado al sistema eléctrico de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.
- d) Los impactos económicos, normativos y sociales son positivos por la utilización de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.

2.4 Variables

2.4.1 Identificación de Variables

2.4.1.1 Variable independiente.

Tabla 8. Variable independiente

Alcance	Denominación	Acción
Explicativo	Generación distribuida	- Oferta Eléctrica
	en media tensión	- Demanda Eléctrica

Fuente: propia (2019)



2.4.1.2 Variable Dependiente:

Tabla 9. Variable dependiente

Alcance	Denominación	Acción
Explicativo	Impactos: Técnicos, Ambientales, Económicos, Normativos, Sociales	- Ton. De CO2 - Energía Eléctrica limpia - Costo Kw-h - Costo Económicos - Normativos - Sociales

Fuente: propia (2019)



2.4.2 Operacionalización de las Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Generación distribuida en media tensión	La generación distribuida, también conocida como generación in-situ, generación embebida, generación descentralizada, generación dispersa o energía distribuida, consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía en lugares lo más próximos posibles a las cargas.	La energía limpia obtenida de la generación distribuida con energía renovable se inyecta cerca a la carga que está conectada a la red eléctrica convencional. Se mide en Kwh.	Cambio climático Energía limpia Contaminación ambiental	Ton. de CO2 Kwh Aire limpio
Impactos: Técnicos, Ambientales, Económicos, Normativos, Sociales	Son los cambios debido al vertiginoso desarrollo de la tecnología que repercuten en los procesos y fenómenos sociales, asimismo son efectos de un fenómeno natural catastrófico que puede denominarse técnicamente como una alteración en la línea de base ambiental, también está relacionado con la economía de la sociedad que representan los medios necesarios para satisfacer necesidades de la sociedad.	Estos cambios se pueden determinar y evaluar tomando en cuenta la herramienta computarizada avanzada y las dimensiones consideradas.	Seguridad energética Confiabilidad del sistema Calidad del aire Costo de Instalación Costo de servicio eléctrico Regulación energética Beneficio Aprendizaje Reglamentos Leyes	KWH de energía limpia Costo de energía solar Costos de equipo Oferta eléctrica

Fuente: propia (2019)

2.5 Definición de Términos Básicos

Aire limpio: En un día despejado y con brisa, el aire huele limpio y fresco, el aire limpio es aire que contiene contaminantes (polvo o sustancias químicas) en niveles no dañinos, así que es bueno que la gente respire aire limpio. En un día caluroso y sin viento, el aire puede sentirse pesado y oler mal, acotando, que de vez en cuando el aire puede hacerte sentir opresión en el pecho o hacer toser. Cuando demasiado polvo y sustancias químicas entran en el aire, se vuelve sucio y contaminado, por lo que no es bueno para las personas respirarlo (Air Now, 2019).

Almacenamiento de energía: La variabilidad temporal de las fuentes de energía renovable hace indispensable la utilización de sistemas de almacenamiento que permitan disponer de energía de forma continua. Estos sistemas permiten colaborar en el seguimiento de la demanda por parte de la generación, evitando el arranque de grupos térmicos en emergencias breves, cubriendo las irregularidades de suministro y optimizando la planificación de los sistemas de generación (Hernández, 2015).

Aprendizaje: El aprendizaje es el proceso a través del cual se modifican y adquieren habilidades, destrezas, conocimientos, conductas y valores. Esto como resultado del estudio, la experiencia, la instrucción, el razonamiento y la observación. Este proceso puede ser analizado desde distintas perspectivas, por lo que existen distintas teorías del aprendizaje. (Klinger, 2009)

Beneficio: Es un término genérico que define todo aquello que es bueno o resulta positivo para quién lo da o para quién lo recibe, entiéndase como un beneficio todo aquello representativo del bien, la cuestión enmarca una utilidad la cual trae consecuencias positivas que mejoran la situación en la que se plantean las



vicisitudes o problemas a superar. (Venemedia, 2011).

Biomasa: Se denomina biomasa a toda aquella materia orgánica cuyo origen está en un proceso biológico y a los procesos de reciente transformación de esta materia que se produzcan de forma natural o artificial, excluyendo, por tanto, de este grupo a los combustibles fósiles, cuya formación tuvo lugar hace millones de años. Al estar constituida básicamente por carbono e hidrógeno, la energía química de la materia orgánica, producida en las plantas verdes a través de la fotosíntesis, puede ser transformada en energía eléctrica, térmica o combustible mediante diversos procesos (Hernández, 2015).

Calidad del aire: El índice de calidad del aire es una cifra que proporcionan las autoridades de una zona (normalmente urbana) y que refleja las cantidades de contaminantes presentes en el aire. Cuando la calidad del aire es buena (tiene pocos contaminantes), las personas pueden respirarlo indefinidamente sin que su salud se vea afectada. Cuando es mala pueden darse irritaciones oculares, todo tipo de problemas respiratorios e incluso cardíacos. (Harper, 2006)

Cambio Climático. La tierra hoy en día, a lo largo de millones de años, ha experimentado alteraciones en su clima, sufriendo cambios de temperatura como los periodos glaciares y los calentamientos globales del pasado. Cada vez que se han dado dichos cambios climáticos, se han producido alteraciones al medio ambiente, a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros. Estos son debidos a causas naturales y en los últimos años, debido también, a la acción del hombre. Estos cambios climáticos son una modificación del clima a una escala global o únicamente regional y estas acciones hacen que el medio ambiente varíe en mayor



o menor medida adaptándose al cambio. (Harper, 2006)

Confiabilidad del sistema: Se define como la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas, por ejemplo, condiciones de presión, temperatura, fricción, velocidad, tensión o forma de una onda eléctrica, nivel de vibraciones (Zambrano y Leal, 2011)

Contaminación ambiental. Es la introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía como sonido, calor, luz o radiactividad. (Tyler, 2002)

CO₂. El equivalente de CO₂ o equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq o Carbon Dioxide Equivalent, en inglés), es una medida en toneladas de la huella de carbono, donde esta última, es el nombre dado a la totalidad de la emisión de gases de efecto invernadero. La masa de los gases emitidos por su equivalencia en CO₂ (dióxido de carbono). El CO₂ es el más conocido y es también la referencia del resto de los gases de efecto invernadero, a los que se considera causantes del calentamiento del planeta. (Tyler, 2002)

Costo de energía solar: El costo de un sistema de energía solar para una casa depende casi en su totalidad de los hábitos de consumo. La energía solar fotovoltaica tiene un precio competitivo, tanto para instalaciones pequeñas ubicadas en los techos y azoteas, así como para las más grandes, tales como plantas de energía a gran escala. Además, las plantas de energía solar fotovoltaica son, en comparación con otras tecnologías renovables, más rápidas y fáciles de instalar.



Como resultado, los proyectos de energía solar fotovoltaica pueden presentar menor complejidad para su financiamiento comparadas con otras tecnologías renovables (CEMAER, 2019).

Costos de equipo: Los costos del equipo incluyen todos los costos relacionados con la adquisición y operación del equipo que se utiliza para brindar el servicio. Estos costos podrían incluir la depreciación del equipo, los contratos de mantenimiento, la mano de obra y las piezas de repuesto, entre otros. De ser posible, los costos del equipo deberán ser vinculados con un servicio en particular (Financial Q&A, 2019).

Costo de instalación: Expresión usada en el contexto de la administración, organización de la Empresa, negocios y gestión. Son todos los Gastos que se hacen para acondicionar las instalaciones de acuerdo a las necesidades de operación de una Empresa, así como para darle cierta comodidad y presentación (Eco-Finanzas. 2019).

Costo de servicio eléctrico: El precio de la electricidad (a veces denominado tarifa de electricidad o el precio de la electricidad) varía mucho de un país a otro y puede variar significativamente de localidad a localidad dentro de un país en particular. Hay muchas razones que explican estas diferencias en el precio. El precio de la generación de energía depende en gran medida del tipo y precio de mercado del combustible utilizado, de los subsidios gubernamentales, de la regulación del gobierno y de la industria y de los patrones climáticos locales. (Harper, 2006)

Demanda eléctrica. La gestión de la demanda energética permite que se produzca la misma cantidad de energía de la que se consume. La energía eléctrica no se almacena en los cables y si no se regulase aparecerían desequilibrios. Para



regular la gestión energética se utilizan distintos tipos de centrales: base, que producen mucha energía y muy barata, pero son muy poco flexibles a la hora de adaptarse a la demanda, las de pico producen energía más cara, pero se adaptan rápidamente a la demanda. También se hacen previsiones de demanda y de generación según la meteorología (eólica, solar), además de subastas para regular que proveedores vende la electricidad. (Harper, 2006)

Energía Eólica: En las instalaciones de aprovechamiento de la energía eólica, la fuente primaria de energía es el viento, aire en movimiento originado por la diferencia de presión provocada por el calentamiento desigual de la superficie terrestre por efecto del sol (Hernández, 2015).

Energía limpia: La energía limpia es un sistema de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación o la gestión mediante la cual, se eliminan todos los residuos peligrosos para el planeta. Las energías limpias son, entonces, aquellas que no generan residuos. (Gonzales Longatt, 2014)

Energía Solar Fotovoltaica: La energía fotovoltaica aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica. Se basa en la absorción de la radiación solar por parte de un material semiconductor, que constituye las denominadas celdas fotovoltaicas, provocando un desplazamiento de cargas en su interior y originando la generación de una corriente continua (Hernández, 2015).

Energía Solar Térmica: La energía solar térmica se basa en la conversión de la energía procedente de la radiación solar en calor transferido a un fluido (normalmente agua). En el caso de pequeñas instalaciones, no se produce electricidad de forma directa, aprovechándose la energía en su forma térmica (Hernández, 2015).



Generación distribuida: La que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, miniturbinas y microturbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica. General Electric entiendo como GD a la energía generada cerca de los puntos de consumo, lo cual incluye tecnologías que suministren tanto energía eléctrica como mecánica, la cual proporciona el torque para mover líquidos (tales como petróleo) y objetos (tales como barcos y trenes). Las tecnologías de GD pueden ser estacionarias o móviles (Hernández, 2015).

Interconexión a la red: Muchos equipos de generación distribuida operan en paralelo con la red eléctrica, para lo cual necesitan estar conectados a ella de forma adecuada. El sistema de interconexión, está formado por una serie de equipos (hardware y software) que permite realizar la conexión física del generador distribuido y los equipos de almacenamiento con la red eléctrica (normalmente, la red de distribución local) y con las cargas locales (consumidores). Proporciona acondicionamiento y conversión de la energía (en caso necesario), protección, monitorización, control, medida y despacho de la unidad de GD (Hernández, 2015).

Kwh: Un kilovatio hora (kWh) es una medida de la cantidad de energía que está utilizando. No significa la cantidad de kilovatios (kW) que está utilizando por hora. Es simplemente una unidad de medida que equivale a la cantidad de energía que usaría si mantuviera funcionando un aparato de 1,000 vatios durante una hora. Entonces, si enciende una bombilla de 100 vatios, tomará 10 horas en acumular 1 kWh de energía o un aparato de 2.000 vatios usaría 1 kWh en solo media hora. Mientras que un equipo de 50 vatios deberá permanecer encendido durante 20 horas para usar 1 kWh. (Eléctrica Aplicada, 2019).



Leyes: La ley es una norma jurídica dictada por el legislador, es decir: un precepto establecido por la autoridad competente, en que se manda o prohíbe algo en consonancia con la justicia cuyo incumplimiento conlleva a una sanción. (Enciclopedia Jurídica, 2015)

Minihidráulica: El fundamento básico de este tipo de generación consiste en el aprovechamiento de la energía potencial del agua, almacenada en un embalse o procedente de un río, para producir energía eléctrica. La energía potencial del agua se transforma en energía cinética en su camino descendiente por las tuberías forzadas; a continuación, se transforma la energía cinética en energía de presión, energía mecánica y, finalmente, en energía eléctrica (Hernández, 2015).

Motor alternativo: Los motores alternativos de combustión interna son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un embolo o pistón que se desplaza en el interior de un cilindro haciendo girar un cigüeñal y obteniendo un movimiento de rotación. Se emplea principalmente en plantas de cogeneración en sectores tan diversos como el agroalimentario, construcción, pasta y papel o textil (Hernández, 2015).

Oferta eléctrica: El precio de la energía se determina diariamente y para cada hora en el mercado spot gestionado por OMIE, es decir, cada día y hora tiene un precio diferente. La forma de establecer este precio es de casación marginal. Esto funciona de forma que se casa la curva de demanda, formada por las comercializadoras para satisfacer las necesidades de consumo de sus clientes con la curva de oferta, formada por los productores que están dispuestos a generar diferentes cantidades de energía según el precio. El punto de casación determina el precio para una hora determinada. (Valero, 2017).



Regulación energética: La regulación energética es un mecanismo indispensable para propender por la seguridad del suministro energético, la sostenibilidad del sistema y la protección ambiental (Pereira, 2016).

Reglamento: Un reglamento es un documento que especifica una norma jurídica para regular todas las actividades de los miembros de una comunidad. Establecen bases para la convivencia y prevenir los conflictos que se puedan generar entre los individuos. (Enciclopedia Jurídica, 2015)

Seguridad energética: La seguridad energética se enmarca dentro del desarrollo sostenible, que ha obligado a los Estados a incluir en su política exterior el tema de los recursos energéticos. Los hidrocarburos son la base de la civilización, su uso desmesurado ha provocado efectos negativos en los ecosistemas; el impacto humano ha aumentado en forma exponencial, surgiendo una complejidad y caos que colisiona con la naturaleza. (Harper, 2006).

Turbina a gas: La turbina de gas es una máquina térmica que desarrolla trabajo al expandir un gas. El aire comprimido se mezcla con combustible y se quema bajo condiciones de presión constante. Básicamente, se compone de un compresor, la cámara de combustión y la turbina de gas propiamente dicha. Se pueden utilizar en varias configuraciones: ciclo simple (que es una turbina produciendo sólo electricidad), cogeneración (en la que se añade a la turbina de ciclo simple un recuperador de calor que permite obtener vapor o agua caliente del calor de los gases de escape) y ciclo combinado, turbina de gas-turbina de vapor (añadiendo una turbina de vapor que aprovecha el calor recuperado para obtener más energía eléctrica (Hernández, 2015).

Usuario de Media Tensión: Se entiende por usuario de media tensión a aquel



cliente que por razones específicas y caracterización, requieren que el servicio se suministre en niveles de tensión de 10.5kV, pudiéndose comercializar el mismo en función de la energía (kWH) y demanda eléctrica (kVA) propia del comportamiento de la carga

Usuario de Baja Tensión: el cliente de baja tensión, es aquel que impide un suministro de energía para usos domésticos o en su defecto, para actividades que requieren de pequeños bloques de potencia que trabajen a un nivel de tensión hasta de 1.000V, con una comercialización dirigida hacia el consumo de energía (kWH)



CAPÍTULO III: MÉTODO

3.1 Alcance del Estudio

El trabajo de investigación, fue de enfoque cuantitativo y alcance explicativo, ya que contempló información respecto a las causas de relación entre las variables de estudio al momento de ser desarrolladas, con lo que se pudo predecir el comportamiento futuro a partir del valor de la otra relacionada. Expresan Hernández, Fernández y Baptista (2010), que cuando se habla sobre el alcance de una investigación, no se debe pensar en una tipología, ya que más que una clasificación, lo único que indica dicho alcance, es el resultado que se espera obtener del estudio.

Agregan, que el alcance de una investigación, establece el compromiso de un investigador porque indica los resultados que generará con el proyecto. Lo importante entonces, no es definir el alcance y seguir el método adecuado para este, sino ser lo suficientemente flexible como para poder adaptarse a lo que se presente y obtener al final un resultado que puede ser de utilidad para el mundo y la comunidad científica.

Según estos autores, de una investigación se pueden obtener cuatro tipos de resultados, estos son el estudio exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, siendo este último el que mejor se adaptó al estudio que se desarrolló, pues las causas de los eventos, sucesos o fenómenos estudiados, explicaron las condiciones en las que se manifestaban.



Refiere Arias (2012) que la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Por ende, la investigación fue de tipo explicativa toda vez que tuvo un proceso orientado, no sólo a describir o hacer un acercamiento sobre el fenómeno bajo estudio, sino que buscó establecer las causas que se encontraban en el inmersas, es decir, se basó primordialmente en plantear el por qué y para qué de dicho fenómeno, a fin de ampliar el ¿cómo?; de esta manera, fue más allá de describir, explicando de este modo por qué sucede.

3.2 Diseño de Investigación

La investigación fue de tipo aplicada y nivel explicativo, de corte transversal no experimental. En cuanto a las variables investigadas fueron medidas sin modificar las características, siendo puestas a prueba de hipótesis. Señala Lozada (2014) que la investigación aplicada, busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

Por tanto, se confirma que se trata de una investigación aplicada, dado que se describió de forma clara el objeto de estudio, se incluyen pasos para dar seguimiento al mismo, asumiendo un enfoque basado en el modelo cuantitativo, de esta manera, permitió el desarrollo del marco teórico, al tiempo que llevó a seleccionar el diseño apropiado para la recolección de la información y su respectiva presentación de resultados.

Además es de corte transversal que para Bernal (2006), permite a los investigadores examinar las diferencias de desarrollo en la conducta, es estudiando



diferentes puntos a la vez. Este tipo de experimento, se convierte en variable independiente en el diseño de la investigación, la mayor ventaja de esta aproximación, naturalmente, es que requiere mucho menos tiempo que cualquier otro diseño.

Fue transversal, ya que se propuso una descripción de las variables de estudio, de la misma forma en que se manifestaron en el lugar donde sucedía la problemática, proponiendo de esta manera el análisis, considerando la interrelación e incidencia, dejando claro que midió dichas variables una sola vez durante el tiempo que duró la misma, observando los hechos en la realidad.

Mientras que fue no experimental, según lo planteado por Gómez (2006) para quién este tipo de diseño de investigación, es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Lo que se hace es observar fenómenos tal y como se dan en el contexto natural, para después analizarlos. En este estudio, no fue posible asignar aleatoriamente a los participantes o tratamientos, de hecho, no hubo condiciones o estímulos a los cuales se expongan los sujetos del estudio.

De allí, que el trabajo tuvo un carácter no experimental, ya que tanto el contexto de análisis de la generación distribuida como de los impactos por la integración de la misma, las propiedades y categorías, fueron estudiadas en el medio natural, quedando claramente definidas la no participación del investigador.

3.3. Población

La población estuvo compuesta por (229) usuarios de la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. de distribución eléctrica de la Ciudad del Cusco, quienes reciben el servicio de energía de media tensión (trifásico) clasificados como pequeñas industrias, tales como municipalidades, hospitales, clínicas, radio



emisoras, empresas telefónicas, cervecerías, hoteles, hospedajes, consorcios, universidades, ente otros. Para el caso, la población es definida por Rojas (2002), como el conjunto de elementos (personas, instituciones, documentos u objetos) que poseen la o las características que resultan básicas para el análisis del problema que se estudia.

En opinión de Pineda (citado en López, 2004, p. 108), "el universo o población puede estar constituido por personas, animales, registros médicos, los nacimientos, muestras de laboratorio, accidentes viales, entre otros"; pudiendo agregar al campo de la investigación de este país, artículos de prensa, editoriales, películas, videos, series de televisión, programas radiales y por supuesto personas.

3.4. Muestra

Se llegó a determinar que la muestra fue de (29) usuarios, seleccionados a criterio en virtud del muestreo intencional asumido por el investigador como sujeto cognoscente, que además aplicó el parámetro descrito por Arias (2012) quien sostiene que "en investigaciones (...) se recomienda seleccionar entre 10 y 20% de la población accesible", por lo tanto el número de individuo elegidos para estudio, están enmarcados en este criterio.

Para el caso de esta investigación, el muestreo es de tipo intencional, que según Naghi (2005), todos los elementos muestrales de la población serán seleccionados bajo estricto juicio personal del investigador, así que éste último, tiene previo conocimiento de los elementos poblaciones. Aunque este muestreo es subjetivo, requiere que el investigador conozca los elementos muestrales, lo que permite que el muestreo sea representativo.



3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas

Tomando en cuenta, que la técnica en una investigación se asume como la forma en cómo se recolectarán los datos, para este caso en estudio, se utilizaron los registros de datos, para determinar el flujo de potencia en un modelo de red de distribución de M.T. de la ciudad del Cusco y se realizó una encuesta con apoyo de un cuestionario tipo Likert, contentivo de (39) preguntas estructuradas con cinco alternativas de respuestas cerradas: si, generalmente, posiblemente, en ciertos casos, no. Se precisa señalar, que, durante la aplicación de las técnicas mencionadas, se agregó la observación directa como técnica fundamental para la recogida de la información.

Para el caso de los registros de datos, sostiene Couto (2017), que los registros de casi cualquier fenómeno o actividad humana, pueden ser tratados como datos posibles de investigación, incluyendo documentación de gobiernos, entes públicos o privados, grabaciones de audio, videos, entre muchos otros. Aprecia igualmente Fernández (2004) que después de revisar y depurar la información obtenida mediante el trabajo de campo de una encuesta o de un panel, o bien mediante fuentes secundarias, es necesario registrarla en el formato adecuado para su análisis estadístico posterior.

En cuanto a la encuesta, es para Díaz de Rada (2001), una búsqueda sistemática de información, en la que el investigador pregunta a los investigados sobre los datos que desea obtener y posteriormente, para ello cita a Mayntz en su página 133 para indicar que la encuesta “reúne estos datos individuales para obtener durante la evaluación datos agregados”.



Finalmente se tiene la observación, que para Sabino (2006, p. 111), es una técnica antiquísima, cuyos primeros aportes sería imposible rastrear. A través de sus sentidos, el hombre capta la realidad que lo rodea, que luego organiza intelectualmente y agrega: la observación puede definirse, como el uso sistemático de nuestros sentidos en la búsqueda de los datos para resolver un problema.

3.5.2. Instrumentos

Asumiendo los instrumentos como herramientas de recolección de datos, se acota que para esta investigación fueron seleccionados dos. Así pues, para la técnica de registro de datos, se utilizó el software DigSilent para el corrido de flujo de carga en redes de distribución de media tensión, con lo que se obtuvieron los impactos técnicos.

Mientras que el instrumento fue un cuestionario tipo Likert con preguntas estructuradas, el cual recogió los datos que correspondían a los cambios económicos y sociales de la población en estudio. Al respecto, el cuestionario, señalan Andrade et all (2014) que, está constituido por una serie de preguntas dirigidas a obtener información precisa entorno a un tópico específico. Igualmente, con apoyo de la técnica de la observación directa, se realizó un tráfico de documentos para determinar los impactos normativos.

3.6 Validez y Confiabilidad del Instrumentos

3.6.1 Validez

Los instrumentos de recolección de datos fueron sometidos a pruebas de calidad y juicio de expertos, en tal sentido, se validaron aplicando el método de agregados individuales, para ello, se seleccionaron tres expertos o jueces para juzgar el contenido de los mismos. Señala Ruíz y Morillo (2004) que la validez se refiere a



que la escala o instrumento mida lo que dice medir, es decir, que el resultado obtenido corresponda al fenómeno real y no a otro; un instrumento para medir. Igualmente, para Ortiz (2003), la validez en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento pretende medir. Este concepto puede tener diferentes tipos de evidencia, la relacionada con el contenido, relacionada con el criterio y relacionada con el constructo.

3.6.2 Confiabilidad

Mientras que en cuanto a la confiabilidad del instrumento, indica Bernal (2006), se refiere a la consistencia de las puntuaciones obtenidas por las mismas personas, cuando se las examina en distintas ocasiones con los mismos cuestionarios; cita el autor a McDaniel y Gates dado que la definen como la capacidad del mismo instrumento para producir resultados congruentes cuando se aplica por segunda vez, en condiciones tan parecidas como sea posible; es decir, el instrumento arroja medidas congruente de una medición a la siguiente. De igual modo, Landeau (2007) refiere que la confiabilidad es el grado con el cual el instrumento prueba su consistencia, por los resultados que produce al aplicarlo repetidamente al objeto de estudio.

En este sentido, al instrumento construido para recoger las distintas percepciones de la población de estudio e identificada como los usuarios de media tensión asociados a las carga de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en cuanto a la evaluación de los impactos de una posible interconexión de una generación distribuida en forma de carga base, a lo que se sometió a la respectiva prueba de confiabilidad Alfa de Cronbach con la modelación de cinco (5) individuos, obteniéndose que con la valoración de dicha prueba, el coeficiente

resultante fue de 0.946, determinándose como un instrumento confiable. El resultado obtenido en el SPSS es el siguiente:

Tabla 10. Fiabilidad Alfa de Cronbach

Resumen de procesamiento de casos			
		N	%
Casos	Válido	5	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	5	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,946	39

Fuente: propia (2019)

3.7 Plan de Análisis de Datos

Para llevar a cabo el plan de análisis de datos, fueron seleccionados los softwares Power Factory DigSilent, la hoja electrónica EXCEL y el paquete estadístico IBM SPSS STATISTIC versión 23, una vez que la información fue recolectada por medio de los instrumentos construidos y validados éstos por los expertos. En cuanto a la estadística aplicada, esta fue no paramétrica, debido a que las variables fueron categóricas nominales. Expone Ruiz y Morillo (2004) que al respecto del plan de análisis de datos, es aquel que lleva el objetivo central de efectuar una evaluación, procedimiento y presentación de la información obtenida para buscar la respuesta a las preguntas de investigación.

A lo cual agrega que, los pasos en el análisis de datos en un estudio, son el plan de análisis a priori, procesamiento y limpieza de la información, análisis

exploratorio y análisis confirmatorio. En igual orden de ideas, para Malhotra (2004), esta sección lleva el objetivo de describir el plan del análisis de los datos o información y se justifica la estrategia de análisis de la información, así como las técnicas aplicadas, donde, estas técnicas de análisis, deben explicarse con un lenguaje simple y sin tecnicismos.

Los datos fueron evaluados utilizando técnicas de estadística descriptiva y para la comparación de medias se usó la prueba t student. En la tabla N° 11 se muestra las pruebas estadísticas para contrastar las hipótesis de investigación.

Tabla 11. Criterios para la comprobación de Hipótesis

Hipótesis de investigación	Hipótesis estadísticas	Nivel de confianza	Prueba estadística	Criterios de decisión
Hipótesis Específica 1: Con la herramienta computarizada avanzada se ha modelado eléctricamente considerando la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada al sistema eléctrico del usuario de media tensión de la ciudad del Cusco.	No requiere		Modelo eléctrico (Software DigSilent)	
Hipótesis Específica 2: Los impactos técnicos son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.	Ho: Los impactos técnicos no son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco. H1: Los impactos técnicos son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.	95%	Prueba t-student para una muestra	Si p-valor < 0.025 se acepta H1 Si p-valor > 0.025 se acepta Ho
Hipótesis Específica 3: Los impactos ambientales son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado al sistema eléctrico de los usuarios de media	Ho: Los impactos ambientales no son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado al sistema eléctrico de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco. H1: Los impactos ambientales son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado al sistema eléctrico de los	95%	Prueba t-student para una muestra	Si p-valor < 0.025 se acepta H1 Si p-valor > 0.025 se acepta Ho

tensión de la ciudad del Cusco.	usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.			
<p>Hipótesis Específica 4: Los impactos económicos, normativos y sociales son positivos por la utilización de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.</p>	<p>Ho: Los impactos económicos, normativos y sociales no son positivos por la utilización de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.</p> <p>H1: Los impactos económicos, normativos y sociales son positivos por la utilización de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.</p>	95%	Prueba t-student para una muestra	<p>Si p-valor<0.025 se acepta H1</p> <p>Si p-valor>0.025 se acepta Ho</p>
<p>Hipótesis General: Los impactos de la integración de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de media tensión en la ciudad del Cusco son positivos, los que permiten evaluar en forma cuantitativa y cualitativa los efectos técnicos, económicos, ambientales, normativos y sociales que propiciará posteriormente el uso de estos sistemas por los consumidores de energía eléctrica en esta región del Perú.</p>	<p>Ho: Los impactos de la integración de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de media tensión en la ciudad del Cusco no son positivos, los que permiten evaluar en forma cuantitativa y cualitativa los efectos técnicos, económicos, ambientales, normativos y sociales que propiciará posteriormente el uso de estos sistemas por los consumidores de energía eléctrica en media tensión en esta región del Perú.</p> <p>H1: Los impactos de la integración de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de media tensión en la ciudad del Cusco son positivos, los que permiten evaluar en forma cuantitativa y cualitativa los efectos técnicos, económicos, ambientales, normativos y sociales que propiciará posteriormente el uso de estos sistemas por los consumidores de energía eléctrica en media tensión en esta región del Perú.</p>	95%	Prueba t-student para una muestra	<p>Si p-valor<0.025 se acepta H1</p> <p>Si p-valor>0.025 se acepta Ho</p>

Fuente: propia (2019)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados respecto a los objetivos específicos

4.1.1 Modelamiento eléctrico de la generación distribuida en M. T.

En el presente inciso se efectuó el levantamiento del modelo eléctrico requerido para satisfacer la demanda actual y proyectada correspondiente al distribuidor N2XSY, el cual es el responsable de la prestación del servicio eléctrico correspondiente a la bahía de transformación de una de las Subestaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; en este sentido, se expone el estudio de la demanda, la interconexión propuesta y las condiciones eléctricas derivadas de la simulación de asistir la red convencional con una generación distribuida del tipo panel solar, para distintos escenarios de alimentación, a los fines de atisbar el comportamiento de los parámetros eléctricos, así como del alcance sustantivo social y ambiental, con una forma de alimentación en sitio para el caso de observación.

La propuesta de emplazar un grupo de generación distribuida se enfocó básicamente en una conexión de la serie electrógena a la barra o bahía de transformación, donde se encuentra acoplado el transformador trifásico de 315 kVA de potencia, para la alimentación de una parte de la carga de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, puntualmente la subestación del pabellón de Ingeniería Eléctrica SE0032, por cuestiones de estabilidad del sistema y posibles contribuciones de bloque de potencia al sistema interconectado; de tal manera, que

se consideró tres (3) escenarios: el primero de demanda actual, correspondiente a la alimentación de 63,50kW; un segundo con una demanda proyectada a 5 años, o en corto plazo para el suministro de 75kW y un aporte de 1,47kW al sistema, para finalizar con un escenario de demanda a 14 años de mediano plazo con 90kW y un aporte de 0,25kW al sistema, todo lo cual tiene su sustento en el análisis y proyección de la demanda en corto y mediano plazo, para obtener la disposición de las siguientes figuras:

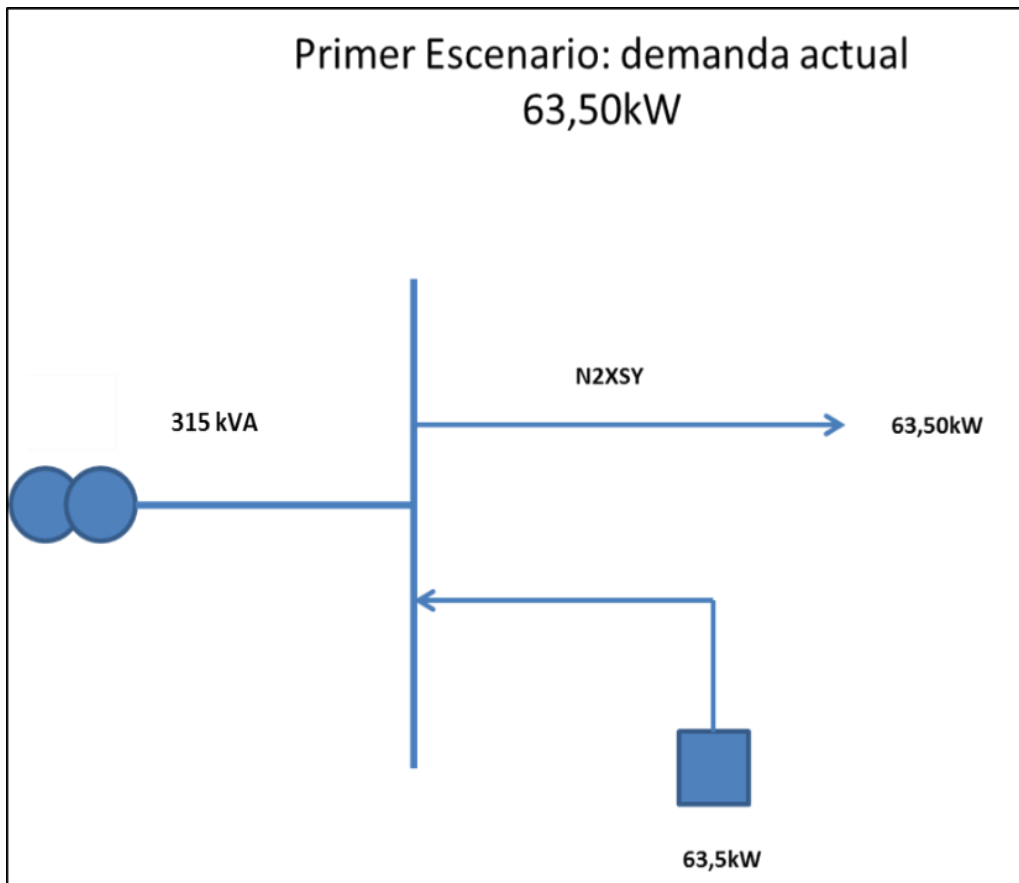


Figura 19. Modelo Eléctrico del primer escenario

Fuente: propia (2019)

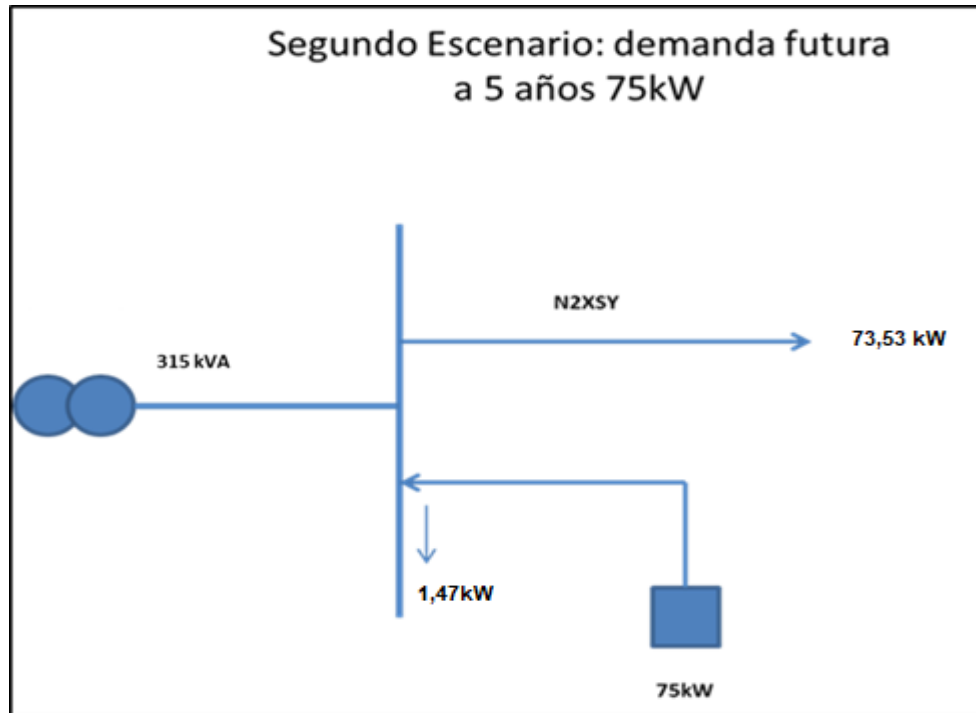


Figura 20. Modelo Eléctrico para el segundo escenario

Fuente: propia (2019)

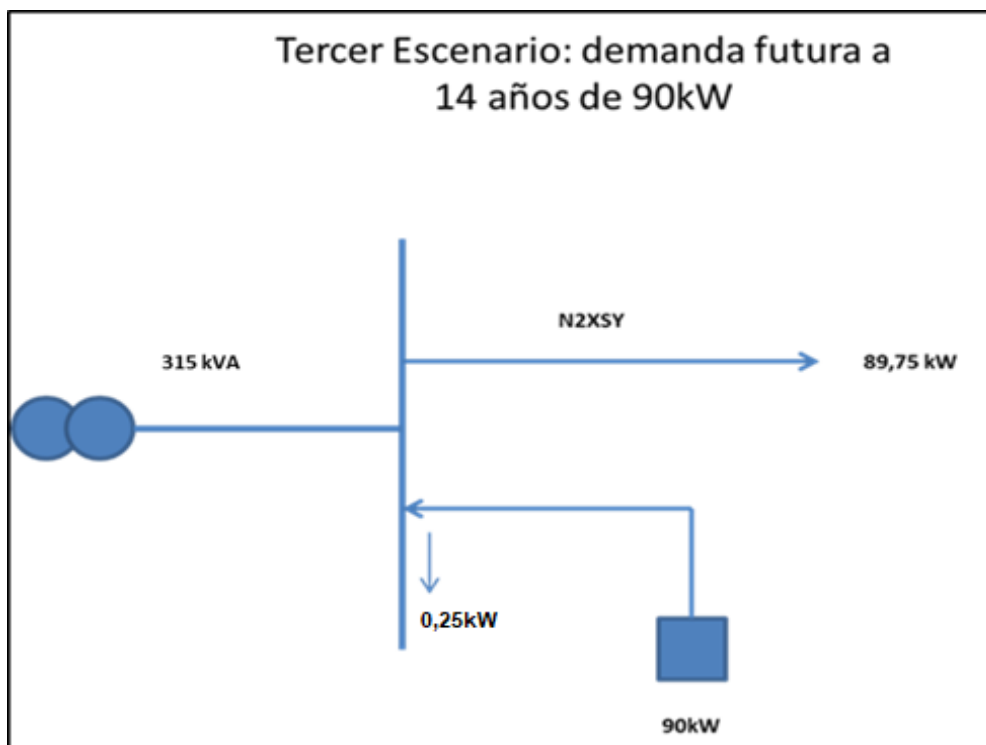


Figura 21. Modelo Eléctrico para el tercer escenario

Fuente: propia (2019)

Es importante señalar que para la determinación de la energía requerida se consideró lo siguiente:

$$\text{Energía Requerida} = 1.73 * V_n * \text{Ah/día} * \text{FP}$$

1.73= factor equivalente de sistema trifásico (también aplica colocar raíz de 3)

V_n : tensión nominal de línea 10.5kV o 10500V

Ah/día: lo que se establece en cada uno de los escenarios

FP: factor de potencia de la carga. Como se consideró como una carga lineal, el

FP se asume como 0.9 adimensional

Escenario 1: 107.08 Ah/día

Escenario 2: 126.408 Ah/día

Escenario 3: 151.8 Ah/día

Al sustituir en la fórmula de arriba se obtiene el valor final

$$\text{E1: ER: } 1.73 * 10500 * 107.08 * 0.9 = 1.750.597 \text{WH}$$

$$\text{E2: ER: } 1.73 * 10500 * 126.408 * 0.9 = 2.066.581 \text{WH}$$

$$\text{E3: ER: } 1.73 * 10500 * 151.8 * 0.9 = 2.481.702 \text{WH}$$

4.1.1.1 Determinación de la demanda eléctrica

En el aspecto de la demanda eléctrica, se emprendió la revisión respectiva de los controles históricos de demanda en el alimentador N2XSY, en virtud de poder establecer un patrón de consumo que permitiera la elaboración de una proyección para un horizonte de corto y mediano plazo, tomándose como año base el número 5, que correspondió a los registros de 2018, resaltándose la demanda máxima obtenida, para conformar el sustento de la predicción. En la tabla a continuación se dispone de la demanda histórica del distribuidor hasta el 2018 (identificado como año 5) expresado en amperios de corriente (A)

Tabla 12. Histórico de demanda

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AÑO 1	3,32	3,35	3,36	3,38	3,38	3,35	3,36	3,39	3,37	3,36	3,37	3,35
AÑO 2	3,45	3,47	3,48	3,46	3,47	3,46	3,48	3,5	3,5	3,48	3,49	3,47
AÑO 3	3,59	3,61	3,6	3,61	3,59	3,6	3,62	3,61	3,62	3,58	3,59	3,6
AÑO 4	3,75	3,74	3,75	3,73	3,74	3,74	3,72	3,75	3,76	3,76	3,75	3,73
AÑO 5	3,82	3,84	3,84	3,85	3,85	3,87	3,88	3,88	3,86	3,85	3,84	3,84

Fuente: propia (2019)

En efecto, los valores que presentan la tabla anterior, se pueden visualizar conforme la representación de la siguiente figura que revelan el comportamiento generalizado de la demanda eléctrica histórica agrupada en el circuito N2XSY.

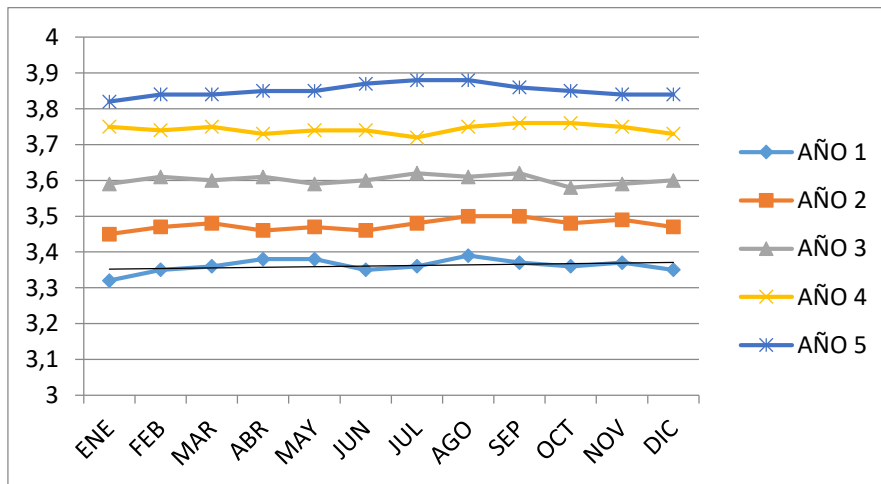


Figura 22. Representación del histórico de demanda

Fuente: propia (2019)

El comportamiento de los datos que se encuentran contenidos en la tabla 12 y figura 22, advierten una tendencia prácticamente lineal, debido a que se puede caracterizar la carga de la alimentación de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco del pabellón de Ingeniería Eléctrica, como resistiva, la cual se ve influenciada por las adecuaciones que sufre la infraestructura de la misma ante el

incremento de la población estudiantil, como las modificaciones en los puntos de toma corrientes y alumbrado de interiores y exteriores; en consecuencia, se tomaron los valores de máxima demanda anual en amperios de corriente, para entablar la predicción por medio de la ecuación matemática que se obtiene de un estudio de tendencia.

Tabla 13. Demanda Máxima Anual

Demanda Máxima Anual	
AÑO 1	3,39
AÑO 2	3,5
AÑO 3	3,62
AÑO 4	3,76
AÑO 5	3,88

Fuente: propia (2019)

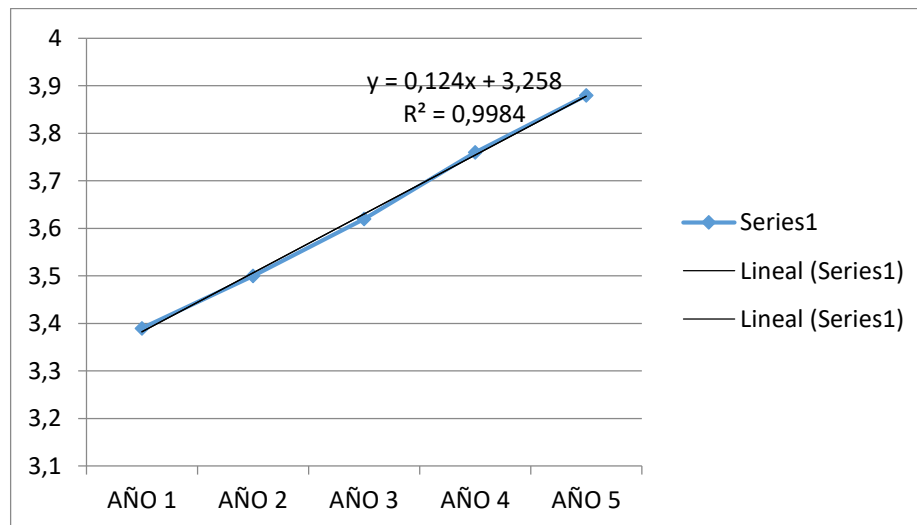


Figura 23. Tendencia de la demanda máxima anual

Fuente: propia (2019)

En la figura 23 se vislumbra la diagramación del comportamiento de la demanda máxima anual, la misma presupone una disposición lineal, resultando la ecuación $Y=0.124X+3.258$, donde Y será la demanda máxima anual y X, constituye los años

que permitió establecer la predicción en un lapso de 14 años, de tal forma que se generaron los valores de la tabla a continuación.

Tabla 14. Proyección de la demanda

Proyección	AMP	KW
Año 6	4,002	65,426697
Año 7	4,126	67,453911
Año 8	4,25	69,481125
Año 9	4,374	71,508339
Año 10	4,498	73,535553
Año 11	4,622	75,562767
Año 12	4,746	77,589981
Año 13	4,87	79,617195
Año 14	4,994	81,644409
Año 15	5,118	83,671623
Año 16	5,242	85,698837
Año 17	5,366	87,726051
Año 18	5,49	89,753265
Año 19	5,614	91,780479
Año 20	5,738	93,807693

Fuente: propia (2019)

4.1.1.2 Determinación del recurso energético

Una vez determinado el comportamiento de la proyección de la demanda eléctrica para la carga constituida por el alimentador N2XSY, la cual y de conformidad con la información contenida en la tabla anterior, para el año 20 es de 93,80kW, para establecer un tipo de generación distribuida que se base en la utilización y aprovechamiento de los recursos renovables, es imprescindible evaluar los potenciales de la región, a fin de distinguir las fortalezas en el ámbito de las energías limpias.

Para ello es especial enfocarse en el señalamiento de las bondades arraigadas en la localización geográfica del Perú, dado a que el país se encuentra como uno de los principales en recibir los índices de radiación solar más elevados del mundo, registrando los puntos de mayor algidez sobre los departamentos:

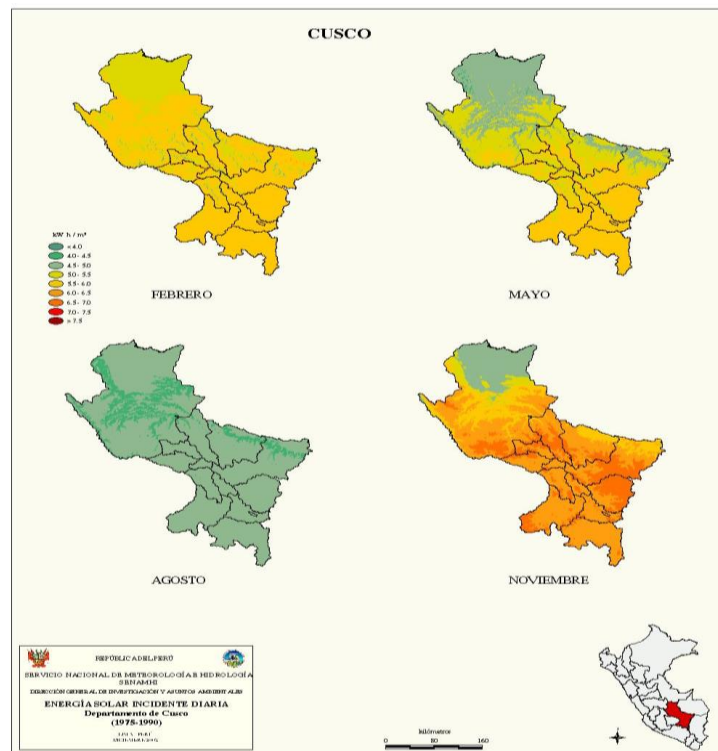


Figura 24. Distribución de la Irradiancia en el departamento del Cusco

Fuente: (DELTAVOLT, 2019)

Puno, Cusco, Arequipa y Ayacucho para el transcurso de 2019 (Cisneros, 2019), que finalmente alcanza la superficie de la tierra en una variante energética conocida como la irradiancia, o su expresión de W/m^2 . En este sentido, se puede apreciar en la figura anterior, la distribución de la irradiancia sobre el departamento del Cusco durante los meses de: febrero, mayo, agosto y noviembre, donde la coloración presentada hace referencia que el verde, indica el valor más bajo del parámetro, el amarillo moderado y para los registros más altos se puede distinguir la coloración anaranjado y rojo respectivamente, para obtener lo que se encuentra en la figura 24.

Entonces, la localidad del Cusco se perfila como las primeras en la nación respecto a la manifestación de la Irradiancia, por lo cual se resalta esta característica como un elemento primordial para la generación con fuentes renovables, permitiendo la posibilidad de incluir en el esquema de distribución eléctrica, una



interconexión puntal con módulos fotovoltaicos, los cuales tienen por particularidad la simplicidad en el diseño y en virtud de que no contienen partes móviles en su composición, le atribuyen ciertas ventajas en su operación aunado a los criterios de confiabilidad sustantivos. (González Longatt, 2014)

4.1.1.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para delimitar la dimensión de los módulos fotovoltaicos, se efectuó el acercamiento para tres escenarios posibles: uno para la provisión de la demanda actual; el segundo para una proyección de corto plazo y una para mediano plazo, de conformidad con los datos expresos en el inciso anterior; así mismo, se disgregó el marco en un conjunto de pasos, correspondiente a la caracterización de los amperios horas, la energía requerida y la producida, para finalmente encausarse en la cantidad de paneles requeridos para el suministro de cada uno de los casos prescritos.

Primer Escenario: suministro a la demanda actual 63,50kW

Paso 1: Determinación de los amperios-horas/día con un factor de seguridad asumido a criterio del 15% del dimensionamiento, a razón de considerar los elementos aunados en el deterioro progresivo a los cuales se puede ver sujeto el panel solar

$$A = 3,88 \text{ amp}$$

$$\frac{Ah}{\text{día}} = 93,12$$

$$\frac{Ah}{\text{día}} = 93,12 \times 1,15 = 107,08$$

Paso 2: Cálculo de las horas equivalentes de potencia HEP, en donde se toma en cuenta el índice máximo de Irradiancia en el año, cuyo dato tiene su fuente en DELTAVOLT (2019)



$$HEP = \frac{\text{índice de radiación solar}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HEP = \frac{7.000 \frac{W}{m^2}}{1.000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HEP = 7$$

Paso 3: Determinación de la Energía Producida, en atención de la potencia nominal del panel a escoger

$$\text{Energía Producida} = P_{nom} \times HEP$$

$$\text{Energía Producida} = 250w \times 7h$$

$$\text{Energía Producida} = 1750 WH$$

Paso 4: Cálculo de la Energía Requerida

$$\text{Energía Requerida} = 1.750.597,38 WH$$

Paso 5: Determinación del número de paneles incluyendo el rendimiento proyectado del panel a 90%

$$N = \frac{\text{Energía Requerida}}{\text{Energía Producida}}$$

$$N = \frac{1.750.597,38}{1.750}$$

$$N = 1.000,41$$

$$N = \frac{1.000,34}{0.9}$$

$$N = 1112$$

Segundo Escenario: proyección de demanda a 5 años 75kW

Paso 1: amperios horas

$$\frac{Ah}{\text{día}} = 109,92$$



$$\frac{Ah}{\text{día}} = 109,92 \times 1,15 = 126,408$$

Paso 2: Energía Requerida

$$\text{Energía Requerida} = 2.066.581,19 \text{ WH}$$

Paso 3: Cantidad de paneles

$$N = \frac{2.066.581,19 \text{ WH}}{1.750 \text{ WH}}$$

$$N = 1.180,90$$

$$N = \frac{1.180,19}{0,90} = 1.312$$

Tercer Escenario: demanda a mediano plazo de 90kW y contribución al sistema interconectado

Paso 1: amperios horas

$$\frac{Ah}{\text{día}} = 132$$

$$\frac{Ah}{\text{día}} = 132 \times 1,15 = 151,8$$

Paso 2: Energía Requerida

$$\text{Energía Requerida} = 2.481.702,3 \text{ WH}$$

Paso 3: Número de paneles

$$N = \frac{2.481.702,3 \text{ WH}}{1.750 \text{ WH}} = 1.418,11$$

$$N = \frac{1.418,11}{0,9} = 1.576$$

Tabla 15. Resumen de los paneles requeridos por escenario

Escenario	Cantidad de Paneles	Tamaño del Inversor (amperios)
E.1	1.112	6.04
E.2	1.312	7.14
E.3	1.576	8.57

Fuente: propia (2019)

4.1.2 Determinación de los efectos técnicos de la interconexión

Considerando que la matriz energética del Perú muestra que a pesar de que la fuente principal de generación de electricidad está basada por centrales hidroeléctricas con 66% de producción, centrales termoeléctricas con 28% de producción y centrales renovables con 7% de producción, con lo que hacen la producción acumulada, en ciertas consideraciones técnicas, el país es una de las naciones que adquirió un compromiso de valor internacional como el acuerdo resuelto en París, donde la responsabilidad consistía en disminuir un 30% las emisiones de origen contaminante (López, 2019), en virtud de restaurar los efectos adversos del cambio climático.

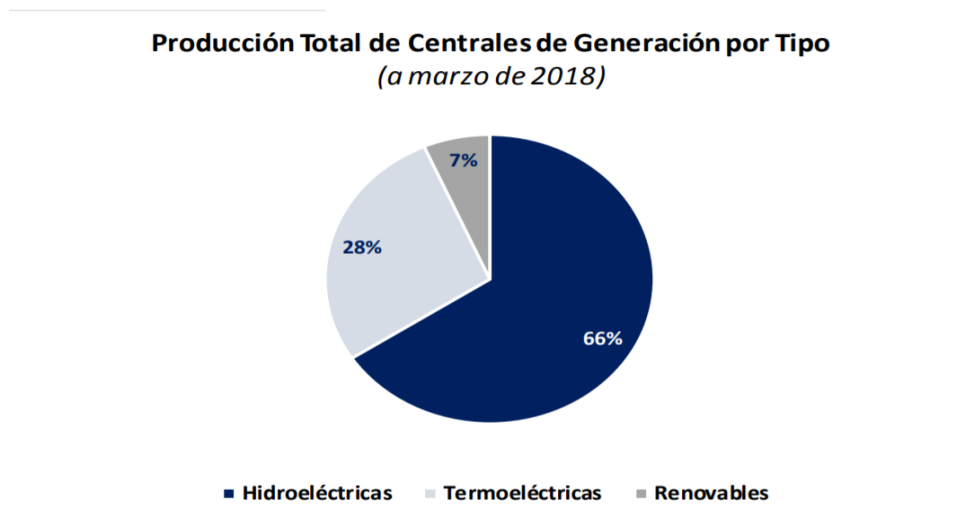


Figura 25. Matriz energética del Perú

Fuente: COES/Elaboración: Equilibrium



La generación de renovables comprende generación fotovoltaica, eólica, biomasa. La diversificación basada en fuentes de energía renovable debe promoverse a los fines de contribuir a una mayor seguridad energética, y de reducir el impacto medioambiental de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CACME, 2016) (Ley 27191, 2016)

Asimismo, la demanda de energía eléctrica en los últimos 10 años ha crecido considerablemente, por esta razón se debería utilizar con más eficiencia los recursos renovables e incrementar el uso de las energías limpias, mejorando el rendimiento de las redes convencionales con la integración de la generación distribuida solar. La generación solar fotovoltaica por su competitividad de su costo de instalación es una fuente renovable con amplia perspectiva de aplicación a la generación distribuida solar en redes de MT. (Fernández, 2015)

4.1.2.1 Simulación con DIGISILENT Power Factory

Después de haber descrito la situación, es necesario obtener los impactos técnicos de la utilización de la generación distribuida solar en cargas de media tensión de la ciudad del Cusco, para ello se modeló un distribuidor de 10,5kV de la ciudad universitaria de Perayoc para luego simular escenarios con diferentes grados de penetración fotovoltaica distribuida del transformador que se encuentra ubicado en el pabellón de Ingeniería Eléctrica de la Universidad San Antonio Abad del Cusco. En este sentido, se efectuó el modelado de la red eléctrica de alimentación, mediante la información geográfica obtenida de la plataforma GIS (*Geographic Information System*), para obtener la representación de la figura a continuación:



Figura 26. Vista aérea de la red de media tensión UNSAAC
Fuente: GIS (2019)

Se ha modelado en el software Power Factory DigSILENT, el sistema de distribución de MT en 10,5 Kv. de la ciudad universitaria de la UNSAAC identificando la subestación de distribución que alimenta las cargas de los pabellones de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería de Minas, Ingeniería Metalúrgica, Ingeniería Geológica y Medicina Humana tal como se observa en la figura 27.

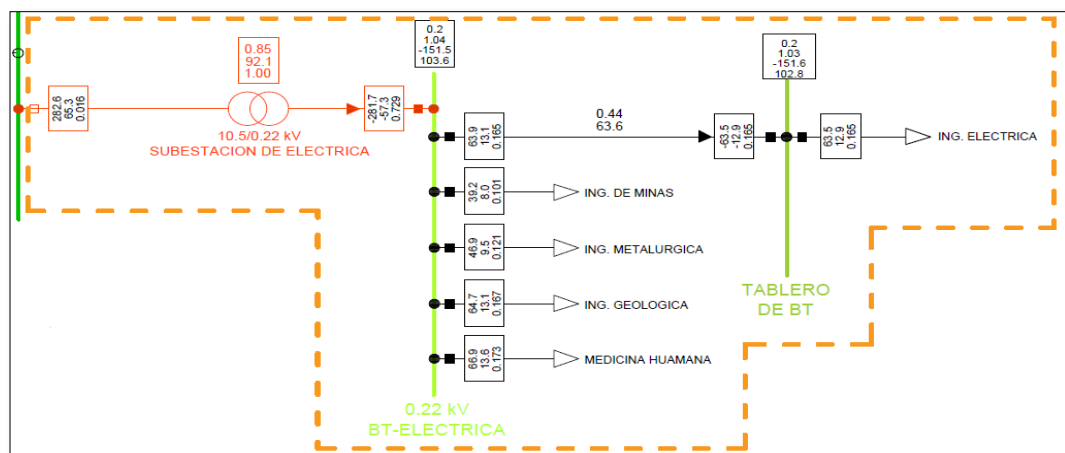


Figura 27. Modelado de la red eléctrica en Digisilent

Fuente: Propia (2019)

El objeto de simular las condiciones eléctricas de la red actual, es obtener los parámetros eléctricos principales como la tensión, la cargabilidad del transformador, cargabilidad de las líneas de alimentación y las pérdidas de potencia en el transformador etc., para lo que pudo resultar en los registros siguientes:

Tabla 16. Flujo de potencia de las condiciones actuales de la red eléctrica

FLUJO DE POTENCIA EN LA RED DE MT DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO										
RED DE MEDIA TENSION UNSAAC - OPERACIÓN NORMAL										
VOLTAGE	GENERACION	MOTOR	CARGA	COMPENSACION	RED EXTERNA	CAMBIO A	POTENCIA INTERCAMBIO	PERDIDAS TOTALES	PERDIDAS EN CARGAS	PERDIDAS EN OTROS
[kv]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]		[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]
10.5	0.00	0.00	0.00	0.00	854.79	0.22 kv		0.57	0.57	0.00
	0.00	0.00	0.00	-199.81	134.62			-19.94	0.24	-20.18
							854.22	0.00	0.00	0.00
							354.36	14.67	14.67	0.00
0.22	0.00	0.00	853.78	0.00	0.00	10.5 KV		0.44	0.44	0.00
	0.00	0.00	339.51	0.00	0.00			0.19	0.19	0.00
							-854.22	0.00	0.00	0.00
							-339.69	14.67	14.67	0.00
TOTAL	0.00	0.00	853.78	0.00	854.79		0.00	1.01	1.01	0.00
	0.00	0.00	339.51	-199.81	134.62		0.00	-5.08	15.10	-20.18

Fuente: Propia (2019)

En la figura 28 se muestra el modelo de la red propuesta, es decir con la interconexión del generador solar a la barra de salida la subestación mencionada, al cual se denomina generación distribuida en sistemas de distribución.

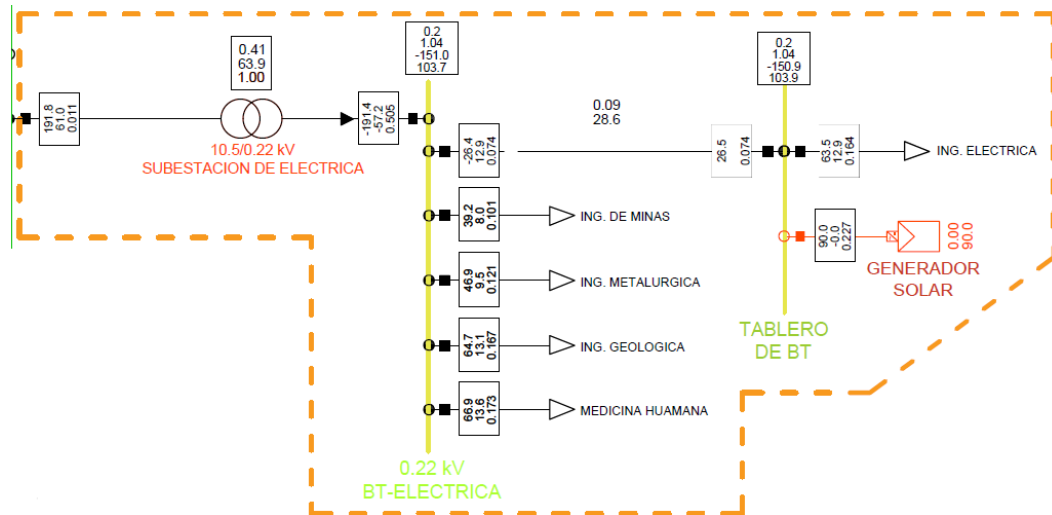


Figura 28. Modelado de la red propuesta

Fuente: Propia (2019)

En efecto, se dispone el modelo propuesto de la interconexión de la generación distribuida solar, considerando seis (6) escenarios de penetración, en las cuales se observan los registros de demanda histórica, futura a corto y mediano plazo, cuyo detalle se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Escenarios de penetración fotovoltaica propuesto

ESCENARIOS	GENERACION SOLAR (KW.)
Escenario 1	15
Escenario 2	30
Escenario 3	45
Escenario 4	60
Escenario 5	75
Escenario 6	90

Fuente: Propia (2019)

En este sentido se realizaron las simulaciones correspondientes considerando los escenarios de inyección de energía solar mencionado, para lo que resultó los datos

manifiestos en tabla 18, que refleja las condiciones del sistema eléctrico ante la penetración de 90 kW respectivos al suministro de una demanda a mediano plazo.

Tabla 18. Flujo de potencia resultante con la interconexión de la GD

FLUJO DE POTENCIA EN LA RED DE MT DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO CON GENERACION FOTOVOLTAICA 90 KW RED DE MEDIA TENSION UNSAAC - OPERACIÓN NORMAL										
VOLTAGE	GENERACION	MOTOR	CARGA	COMPENSACION	RED EXTERNA	CAMBIO A	POTENCIA INTERCAMBIO	PERDIDAS TOTALES	PERDIDAS EN CARGAS	PERDIDAS EN OTROS
[kv]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]		[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]	[kw/kvar]
10.5	90.00	0.00	0.00	0.00	765.52	0.22 kv		0.45	0.45	0.00
	0.00	0.00	0.00	-199.82	134.54		-19.99	0.19	-20.18	
							855.07	0.85	0.85	0.00
							354.36	14.66	14.66	0.00
0.22	0.00	0.00	853.78	0.00	0.00	10.5 KV		0.45	0.44	0.00
	0.00	0.00	339.51	0.00	0.00			0.19	0.19	0.00
							-854.22	0.85	0.85	0.00
							-339.69	14.66	14.67	0.00
TOT AL	90.00	0.00	853.78	0.00	765.52		0.00	1.74	1.74	0.00
	0.00	0.00	339.51	-199.82	134.54		0.00	-5.14	15.05	-20.18

Fuente: Propia (2019)

Después de haber simulado el modelo del sistema eléctrico de MT de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, específicamente en la carga del transformador del pabellón de Ingeniería Eléctrica, y del análisis del Flujo de potencia en los 06 escenarios propuestos, se ha determinado los resultados tal como se muestra en la tabla 19, en donde se observa que los parámetros eléctricos tales como: la tensión, la cargabilidad del transformador, cargabilidad de las líneas de alimentación y las pérdidas de potencia en el transformador varían para los diferentes escenarios.

Tabla 19. Parámetros resultantes de la simulación eléctrica

ELEMENTOS	UNIDADES	CARACTERISTICAS	operación normal	1er escenario	2do escenario	3er escenario	4to escenario	5to escenario	6to escenario
			[kw]	[kw]	[kw]	[kw]	[kw]	[kw]	
			0.00	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00	90.00
TRANSFORMADOR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	[kw]	Perdidas totales	0.85	0.76	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41
	%	Cargabilidad	92.10	87.40	82.60	77.90	73.20	68.50	63.90
	[kw]	Perdidas en el Cobre	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BARRA DE BT DEL PABELLON DE ELÉCTRICA	[kv]	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	p.u	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
	deg.	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line, Angulo	-151.50	-151.40	-151.40	-151.30	-151.20	-151.10	-151.00
	%	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line, Magnitud	103.60	103.60	103.60	103.60	103.60	103.70	103.70
BARRA DE BT DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	[kv]	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	p.u	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04
	deg.	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line, Angulo	-151.60	-151.50	-151.40	-151.20	-151.10	-151.00	-150.90
	%	Secuencia Positiva de Voltage Line -Line, Magnitud	102.80	103.00	103.20	103.40	103.50	103.70	103.90
CONDUCTOR N2XSy 3x70rm	[kw]	Perdidas totales	0.44	0.27	0.14	0.05	0.02	0.03	0.09
	%	Cargabilidad	63.60	49.20	35.10	22.00	13.00	16.80	28.60
CARGA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	[kw]	Potencia Activa Total	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
	[kvar]	Potencia Reactiva Total	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90
	kA	Corriente de Secuencia Positiva, Magnitud	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
GENERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO	[kw]	Potencia Activa Total	0.00	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00	90.00
	[kvar]	Potencia Reactiva Total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	kA	Corriente de Secuencia Positiva, Magnitud	0.00	0.038	0.076	0.114	0.152	0.190	0.23

Fuente: Propia (2019)

Con la implementación de la Generación Distribuida Solar en la carga de media tensión del modelo propuesto se obtiene los resultados referidos en la tabla anterior, en donde se obtiene los impactos técnicos siguientes:

- Optimización de la cargabilidad del transformador
- Mitigar las perdidas en el transformador
- Optimizar la cargabilidad de las redes de MT
- Mitigar las pérdidas de las redes de MT

En consecuencia, los impactos descritos anteriormente se logran visualizar en las figuras que se presentan a continuación, correspondiendo al planteamiento de

los escenarios de penetración energética, valorando de una manera tangible, la optimización de la Cargabilidad y de las pérdidas técnicas estimadas

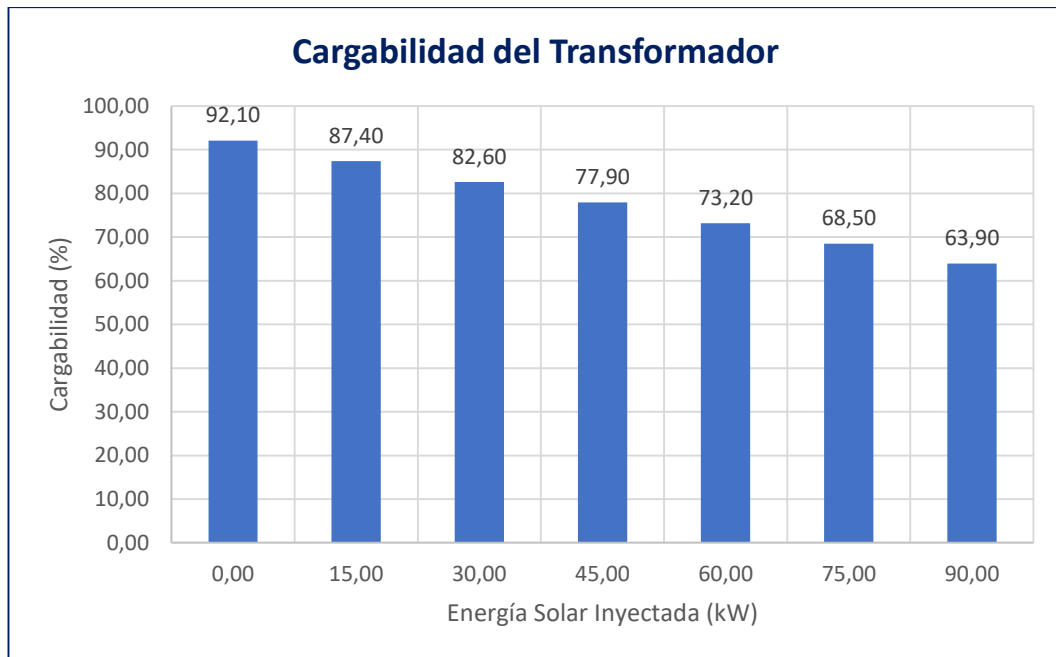


Figura 29. Cargabilidad del transformador simulada

Fuente: Propia (2019)

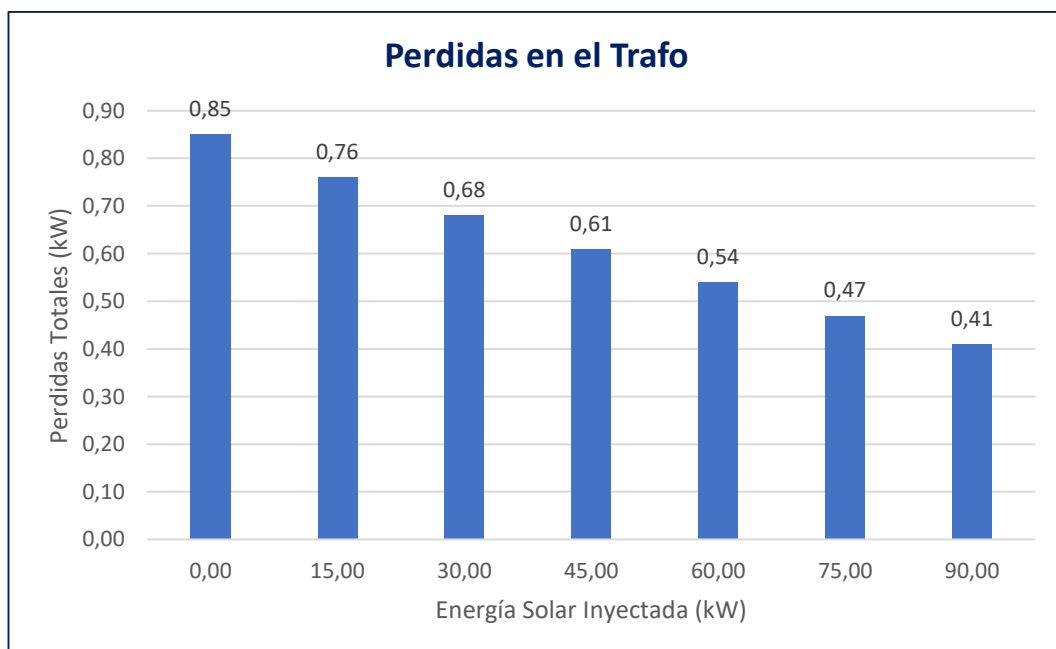


Figura 30. Pérdidas estimadas en la simulación

Fuente: Propia (2019)

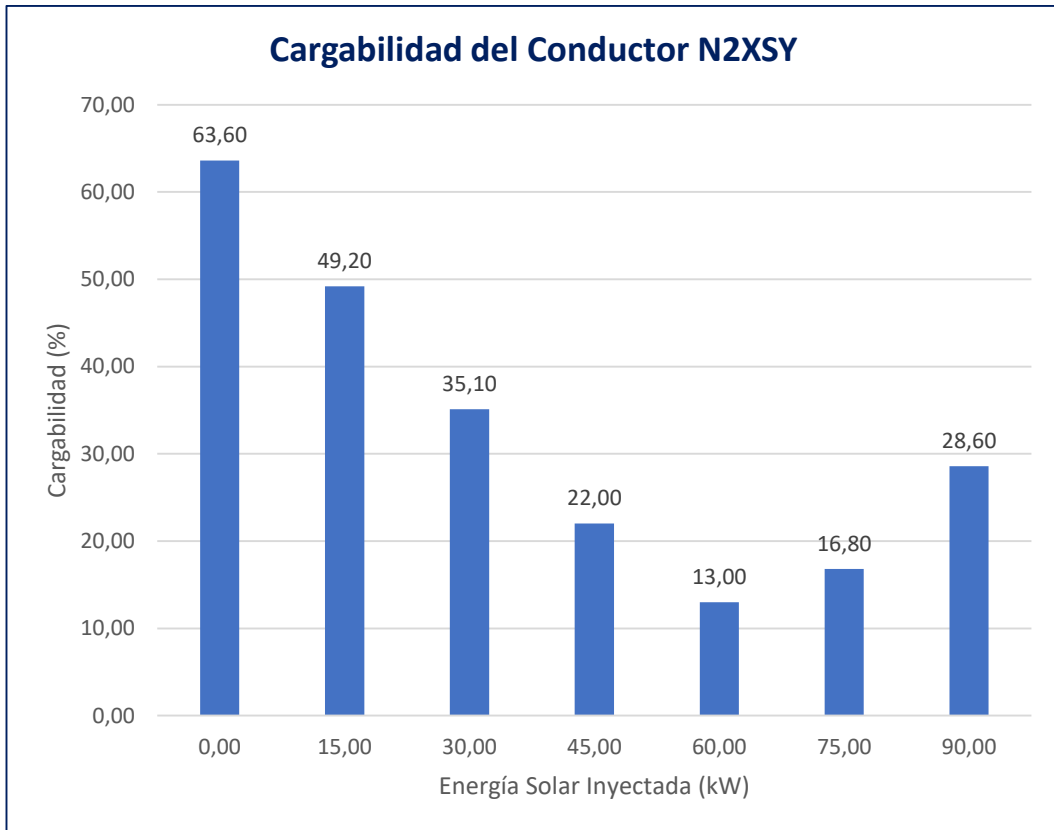


Figura 31. Cargabilidad del distribuidor simulada

Fuente: Propia (2019)

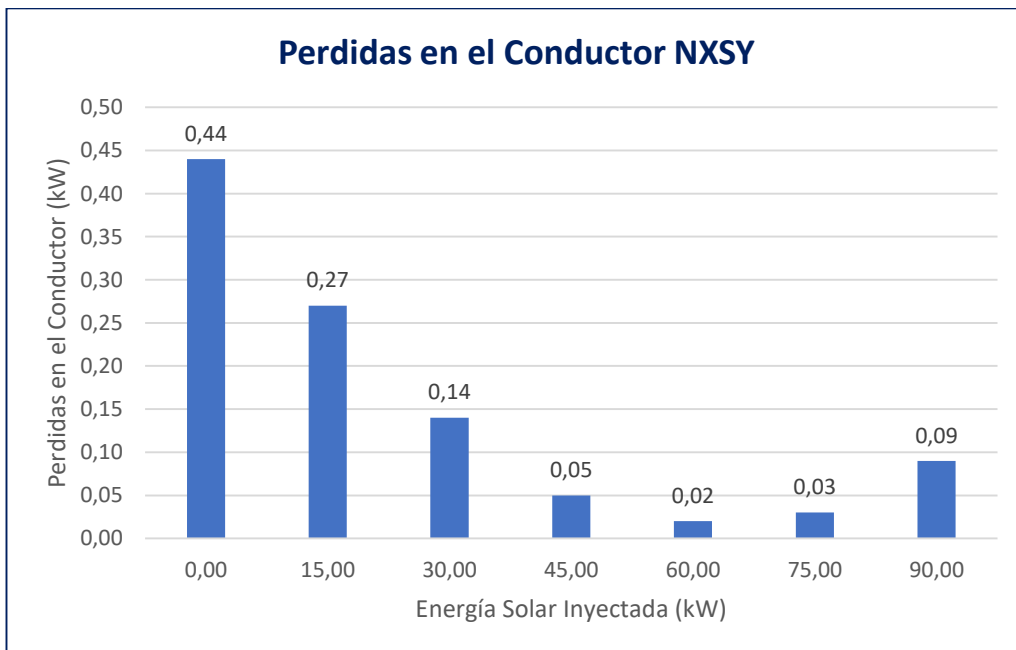


Figura 32. Pérdidas estimadas en el conductor por simulación

Fuente: Propia (2019)

Tabla 20. Valores de los Impactos Técnicos Positivos, niveles de confianza y t de student

Impactos Técnicos Positivos
Media = 34,17
Desviación estándar = 4,11
Error estándar = 0,76
IC 95% Límite inferior = 32,61
IC 95% Límite superior = 35,73
Prueba Paramétrica “t de student para una muestra”
Hipótesis Nula: Media < Valor de prueba
Hipótesis Alt: Media > Valor de prueba
t = 2,849
$\alpha = 0,025$
Valor- p = 0,0040665

La tabla 20, muestra los resultados de la prueba t- student en la prueba de hipótesis específico 2 de determinar los impactos técnicos positivos para una muestra y con valor de prueba menor a la media. Se obtiene lo siguiente:

Con esta prueba y con un intervalo de confianza del 95% se obtiene que el valor medio es de 34,17, vale decir que los impactos técnicos positivos de la generación distribuida solar en usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco fluctúa en el 95 % de los casos entre [32,61; 35,73].

Se obtiene un valor de $t = 2,849$ y un valor- $p = 0,0040665 < 0,025$, en consecuencia se rechaza la hipótesis nula, es decir los impactos técnicos son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.

4.1.3 Análisis energético para la determinación de los efectos ambientales

En virtud de que en los acápite anteriores se esbozó la proyección de la demanda eléctrica del usuario en media tensión MT, así como de los efectos de la interconexión de la generación distribuida solar a la barra de alimentación principal, en cuanto a los parámetros de Cargabilidad y pérdidas técnicas, el hilo de la investigación exhortó la inclusión de un instrumento tipo encuesta, para ser aplicada sobre un espacio muestral que permitiera recabar los datos necesarios para estudiar el comportamiento de ciertas variables asociadas a la misma, como fueron: generación, impacto técnico, impacto ambiental, económicos, normativos y sociales, en la esquematización de cada una de las dimensiones asociadas.

Es por las razones expuestas, que la penetración de un tipo de generación fotovoltaica conlleva unas repercusiones específicas en el ámbito ambiental, en tanto de que se trata de una producción de energía limpia y renovable, por cuanto, al acoplar el sistema solar, implica inmediatamente una reducción de emisiones contaminantes al ambiente; la afirmación tiene su asidero en las percepciones de los encuestados, las cuales se presentan a continuación:

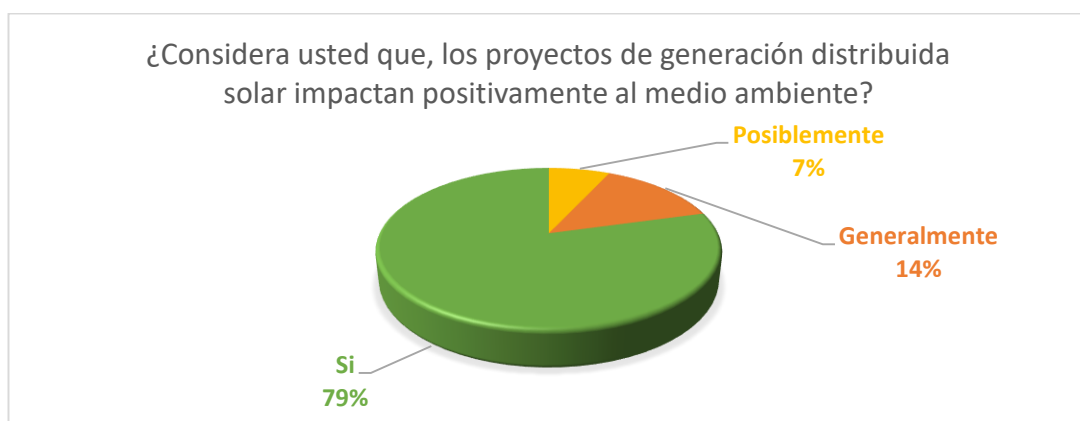


Figura 33. Proyectos de generación distribuida solar

Fuente: Propia (2019)

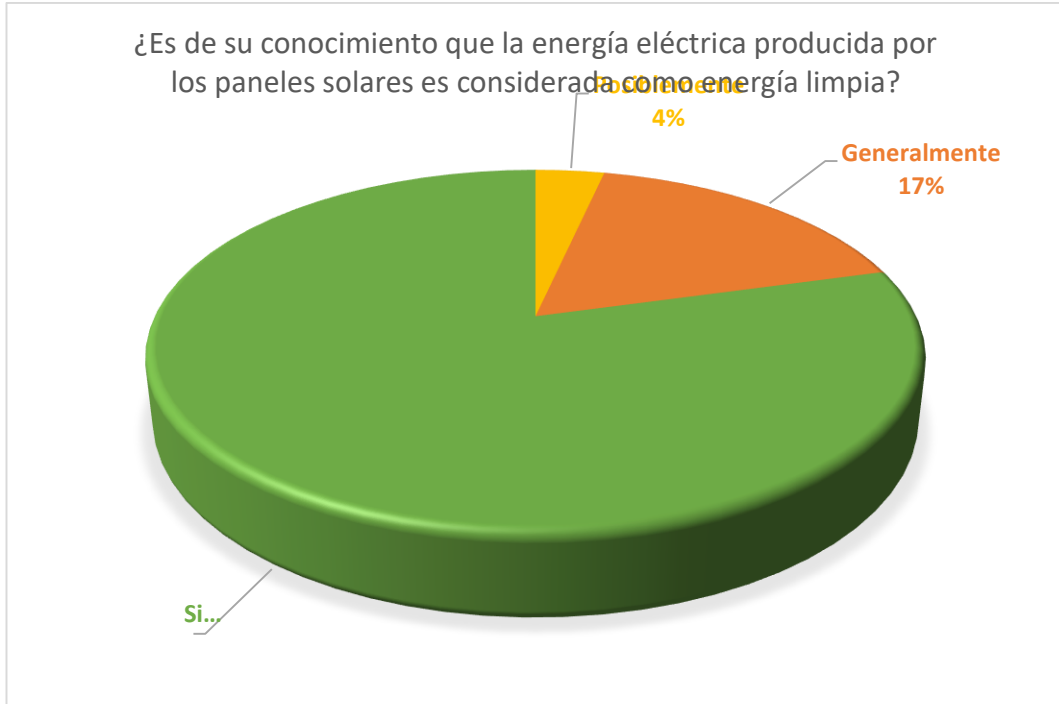


Figura 34. Energía eléctrica producida por los paneles solares

Fuente: Propia (2019)

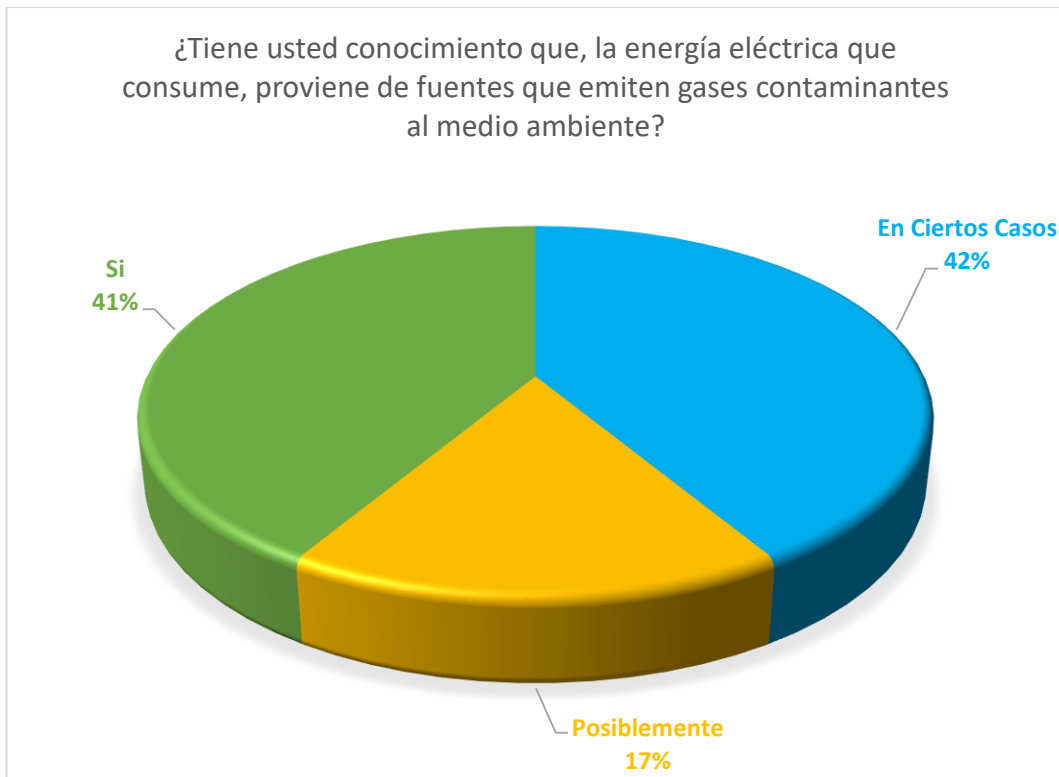


Figura 35. Energía eléctrica que consume

Fuente: Propia (2019)

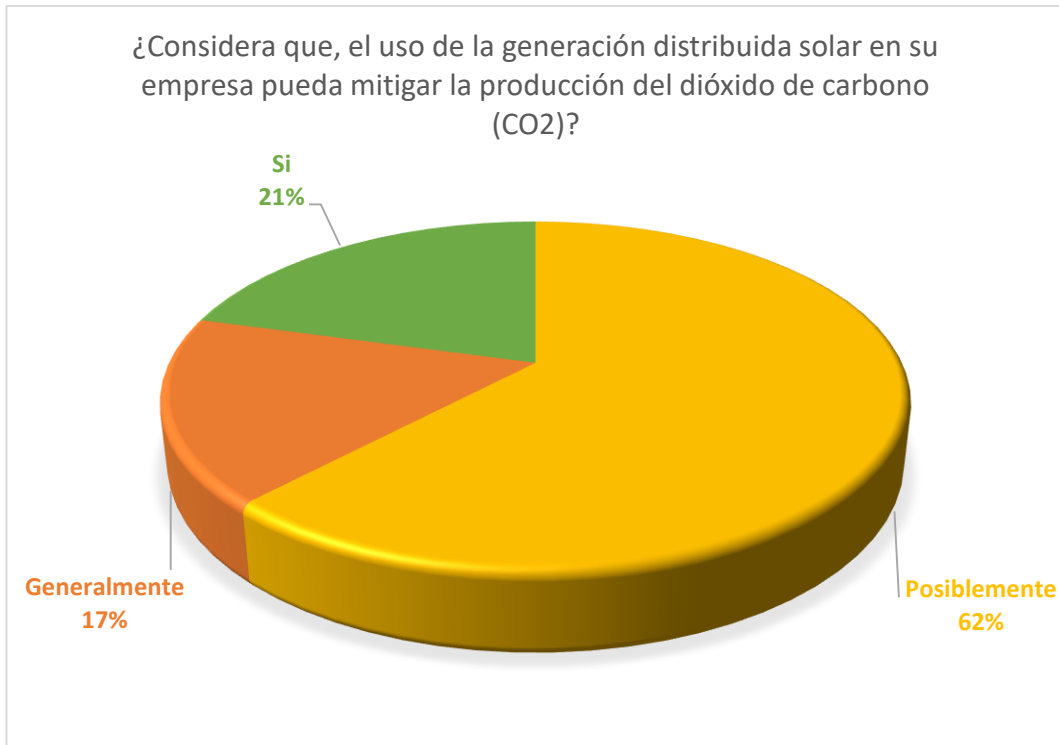


Figura 36. Uso de generación distribuida solar

Fuente: Propia (2019)

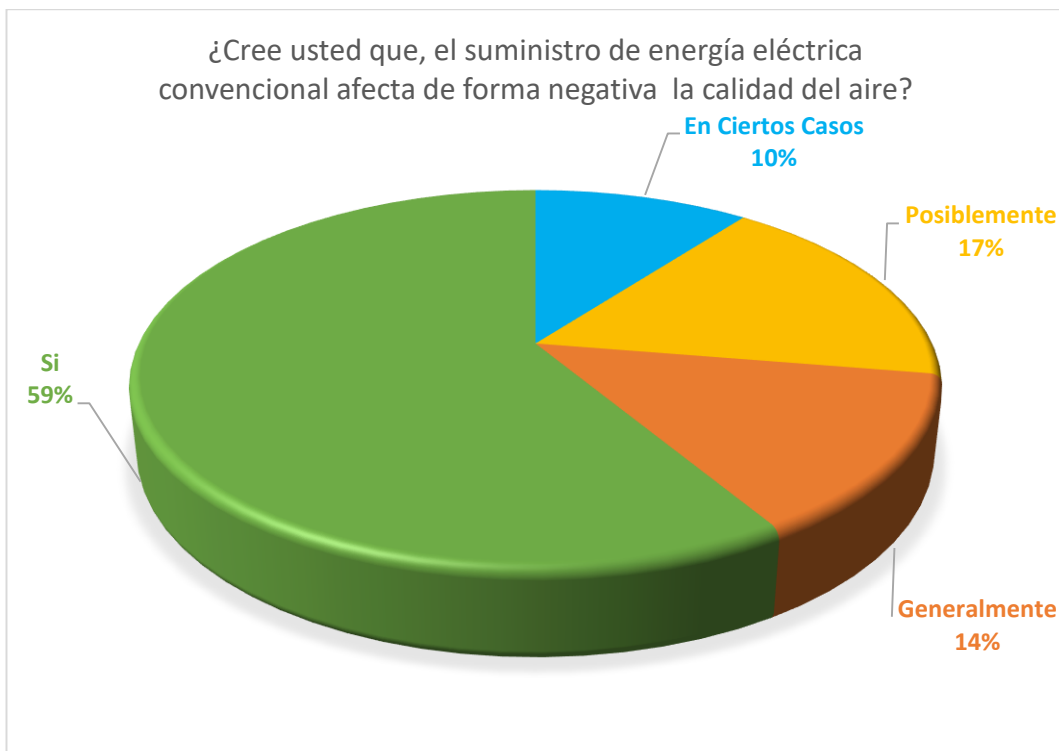


Figura 37. Suministro de energía eléctrica convencional

Fuente: Propia (2019)

Las opiniones representadas en las figuras anteriores revelan los beneficios arraigados en la implementación de la generación distribuida, en virtud de que el tipo de tecnología referida en el trabajo obedece a una solar, que es definida y considerada como energía limpia, cuya inclusión en el sistema eléctrico implicará la mitigación de los gases efecto invernadero, dado a que la producción convencional de potencia, requiere de la utilización de combustibles fósiles, altamente nocivos para el entorno y para el hombre.

En tanto con el modelamiento del sistema híbrido de G.D. solar y la Red eléctrica es inminente determinar la huella de carbono correspondiente, para ello se consideró un dato importante que tiene cada País, es el Factor de Emisión de CO₂, para el caso del Perú es igual a 0.547 Kg/Kwh, este dato lo determina el FONAM Fondo Nacional del Ambiente, considerando la energía requerida de 1,750.59 Kwh obtenido para el primer escenario de 63.5 Kw de demanda, se obtiene la prevención de CO₂, esto alcanzaría a 0.957 Ton de CO₂ dejados de emitir al ambiente. Si consideramos en un caso hipotético que los 229 clientes consumidores de energía eléctrica de media tensión tendrían un consumo promedio igual al calculado, se tendría 219.15 Ton de CO₂ que se dejarían de emitir al ambiente anualmente.

Tabla 21. Valores de los Impactos Ambientales Positivos, niveles de confianza y t de student

Impactos Ambientales Positivos
Media = 11,90
Desviación estándar = 2,51
Error estándar = 0,466
IC 95% Límite inferior = 10,94
IC 95% Límite superior = 12,85
Prueba Paramétrica “t de student para una muestra”

Hipótesis Nula: $Media < \text{Valor de prueba}$

Hipótesis Alt: $Media > \text{Valor de prueba}$

$t = 4,066$

$\alpha = 0,025$

Valor- $p = 0,000176$

La tabla 21, muestra los resultados de la prueba t- student en la prueba de hipótesis específico 3 de determinar los impactos ambientales positivos para una muestra y con valor de prueba menor a la media. Se obtiene lo siguiente:

Con esta prueba y con un intervalo de confianza del 95% se obtiene que el valor medio es de 11,90, vale decir que los impactos ambientales positivos de la integración de la generación distribuida solar en usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco fluctúa en el 95 % de los casos entre [10,94; 12,85].

Se obtiene un valor de $t = 4,066$ y un valor- $p = 0,000176 < 0,025$, en consecuencia se rechaza la hipótesis nula, es decir los impactos ambientales son positivos por la inserción de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectado al sistema eléctrico de los usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.

4.1.4 Análisis Económico, Normativo y Social de la incorporación de la generación distribuida en las cargas de Media Tensión

4.1.4.1 Análisis Económico

En virtud de los tipos de equipamiento que se comercializan actualmente en el mercado internacional, se logró extraer los modelos comerciales de mayor implementación en el ramo de la generación eléctrica, a fin de ser emplazadas como módulos de producción fotovoltaicas, caracterizándose además que la potencia

nominal de trabajo es de 250W tal y como se consideró en el inciso de los cálculos para la determinación de las horas teóricas de potencia; en consecuencia se tiene la información próxima con el detalle de los equipos que pueden seleccionarse a razón de criterios técnicos y financieros.

Tabla 22. Módulos Fotovoltaicos comerciales

PAÍS	CHINA	MILWAUK EE	CALIFORNIA	USA	CHINA
MARCA	BLD-SOLAR	HELIOS SOLAR WORK	ETS SOLAR	ASTROENERG Y	BLD SOLAR
POTENCIA W	250	250	250	250	250
PRECIO U\$	582	583	452	461	673
GARANTÍA	25	25	25	25	25
EFICIENCIA	17,6		15,37	15,2	18,4
DIMENSION ES MM	1650X992X50	1680X990X4 0	1640X992X40	1652X994X40	2000X1000X40
PESO KG	20,8	22,59	18,82	19,5	24
MODELO	bld250 60p	6T 250	ET P660250WB	CHSM6610P	BLD255-60M
# CELDAS	60 CELDAS EN SERIE	60 CELDAS	60 CELDAS EN SERIE	60 CELDAS 6X10	72 CELDAS
TIPO	SILICONA POLICRISTALI NO	MONO CRISTALIN O	POLICRISTALI NO	POLICRISTALI NO	SILICONA POLICRISTALI NO

Fuente: (BLD-SOLAR, 2018)

De igual manera es importante añadir que el tipo de interconexión planteada será en operación paralela con el servicio de la red convencional, por cuanto en la previsión de la generación distribuida no se contempla el dimensionamiento de un banco de baterías, en complemento, el otro equipo que es necesario incluir dentro del esquema, se corresponde con el inversor de corriente dado a que la forma de la onda de corriente producida en este tipo de generación es del tipo directa, por lo que amerita la conversión en alterna previamente de ser acoplado con la barra de alimentación principal y que el fabricante de los módulos solares, contempla una



ampliación del 2.5% del costo total con la adquisición del equipo inversor de corriente (BLD-SOLAR, 2018)

Para las consideraciones económicas de la propuesta de generación distribuida con tecnología solar, fue requerido previamente realizar un estudio del consumo anual del usuario representado en la Universidad San Antonio Abad, que de acuerdo a las características de la demanda eléctrica del mismo, se le ubica en el grupo tarifario MT4 con medición simple de energía activa y contratación o medición de una potencia correspondiente al pliego de la empresa Electro Sur Este del Cusco, cuyo criterio para asignación del valor del consumo es el siguiente:

- Cargo por energía activa ctm S./ 21,84 (Electro Sur Este, 2019)
- Cargo por potencia activa de redes de distribución presentes en punta S./ kW-mes 17,08 (Electro Sur Este, 2019)
- Cargo por energía reactiva que exceda el 30% de la energía activa S./ kW-mes 4,38 (Electro Sur Este, 2019)
- Cargo fijo mensual S./ mes 6,75 (Electro Sur Este, 2019)

En consecuencia, con la base de una demanda actual y proyectada a 5 años, conforme lo exige el período normal de análisis económico, se presenta la tabla 20 a continuación con los valores de demanda en kW, consumo kWh, costo de la tarifa en el año y su valor equivalente en divisas, en aras de obtener un desembolso total por pago energético en el lapso en cuestión. De igual manera, en la tabla 21 se tienen los costos por adquisición de la tecnología solar para alimentar la demanda de mediano plazo respecto de 75kW, según el dimensionamiento hallado en el punto anterior y del mantenimiento anual para 3 años, en virtud de que los módulos solares presentan una garantía de 2 años de funcionamiento.

Tabla 23. Estimación de consumo y costo de la energía

Período	kW	Consumo	Tarifa S./	Tarifa USD \$
Año 0	63,5	548.640	119.846,81	35.775,17
Año 1	65,42	565.229	123.469,80	36.856,66
Año 2	67,45	728.460	159.119,49	47.498,36
Año 3	69,48	600.307	131.130,92	39.143,56
Año 4	71,5	617.760	134.942,61	40.281,38
Año 5	73,53	635.299	138.773,18	41.424,83
			Total	240.979,94

Fuente: propia (2019)

Tabla 24. Costos de adquisición de la tecnología solar

	USD \$
Inversión	126.826,66
MTTO anual	700,00
Total a 5 años	159.726,66

Fuente: propia (2019)

A los fines de determinar la oportunidad económica subyacente en la inversión, se analizará de acuerdo al indicador de costo beneficio, en tanto que el motivo del gasto es por la adquisición de un servicio que no procurará una ganancia tangible o entendida como flujo de retorno, antes bien, el beneficio esta direccionado mayormente en una mejora de la infraestructura eléctrica del usuario, que se traducirá en la optimización de la calidad del servicio como tal; de allí que el indicador financiero se exprese como sigue:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \left(\frac{240.979,94}{159.726,66} \right)$$

La expresión anterior se puede explicar a la luz de que el costo se revela por medio de los USD\$ 159.726,66 respectivos a la cuantificación requerida para adquirir la tecnología solar, contra el beneficio estipulado en los USD \$ 240.979,94 referentes al ahorro que experimentará el usuario por 5 años de pago energético, una vez obtenga el emplazamiento de la generación distribuida solar; por lo tanto,



la inversión desde la perspectiva del indicador costo-beneficio, es rentable a nivel financiero.

4.1.4.2 Análisis político y normativo

En la observación de los resultados de las encuestas en relación al manejo de las variables normativas, se encontró la existencia de un desconocimiento importante sobre el marco normativo, legal y regulatorio de los aspectos concernientes a la calidad del servicio, así como de la generación distribuida, por lo cual, elementos concernientes al diseño como la normalización de la contribución del excedente energético, así como de los incentivos por la instalación de energías alternas, se expresaron en el sondeo como desconocidos para el espacio muestral, representando con ello, un obstáculo potencial para la extensión de la incorporación de las energías renovables como formas de alimentación en sitio, que estipula los estamentos para los esquemas de generación alterna, donde las perspectivas asociadas a los cuestionamientos, se reflejan en el conjunto de figuras que se disponen en los apartados posteriores. De igual manera, las estipulaciones normativas nacionales, se rigen básicamente por los siguientes documentos:

- Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, establece las normas que regulan las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica
- Ley N° 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica.
- Decreto Supremo N° 012-2011-EM correspondiente a la adjudicación de contratos para las energías renovables

- Decreto Legislativo N° 1221 que mejora la regulación de la distribución de la electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú.
- Decreto Legislativo 1002 para la promoción e investigación de las energías renovables

En la normativa nacional define sobre la Generación Distribuida y contempla que los usuarios de electricidad pueden disponer del equipamiento de generación eléctrica renovable y pueden conectar e inyectar el excedente a la red de distribución, sin embargo no existe la reglamentación específica para su aplicación. En lo presentado anteriormente solo se atisba consideraciones generalizadas para el uso de la generación por energías renovables, pero no se identifica parámetros técnicos definidos y que estén orientados hacia la explotación y mantenimiento de las redes alternativas, por cuanto se dilucida que el sector eléctrico nacional no contempla una formalización para la incorporación de la generación renovable en los sistemas de distribución nacional.

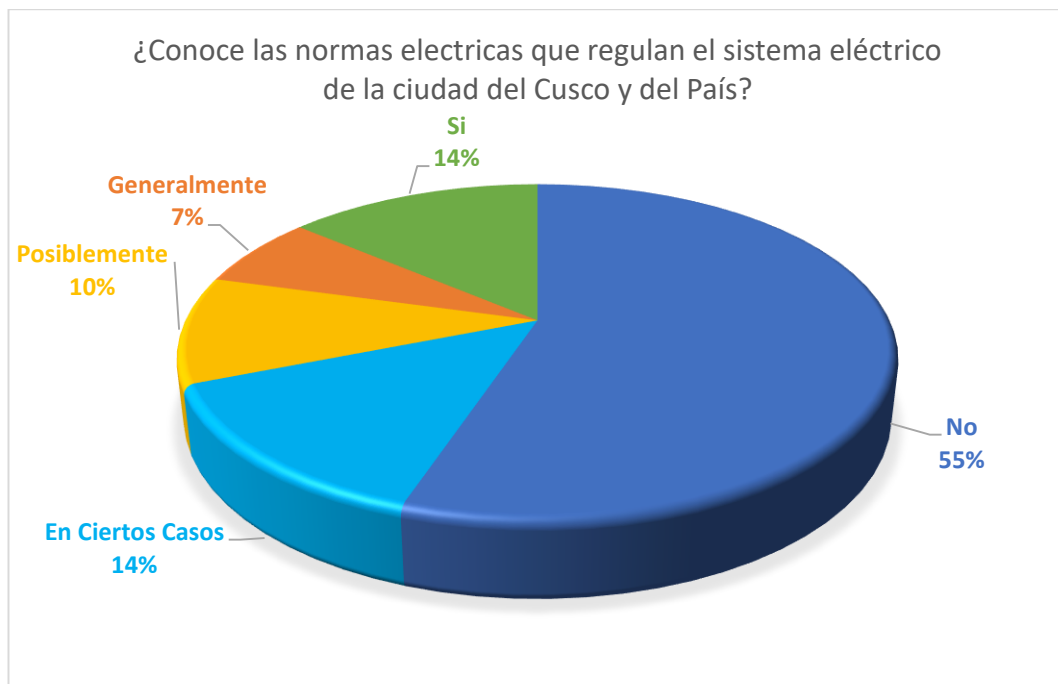


Figura 38. Normas que regulan el sistema eléctrico

Fuente: Propia (2019)

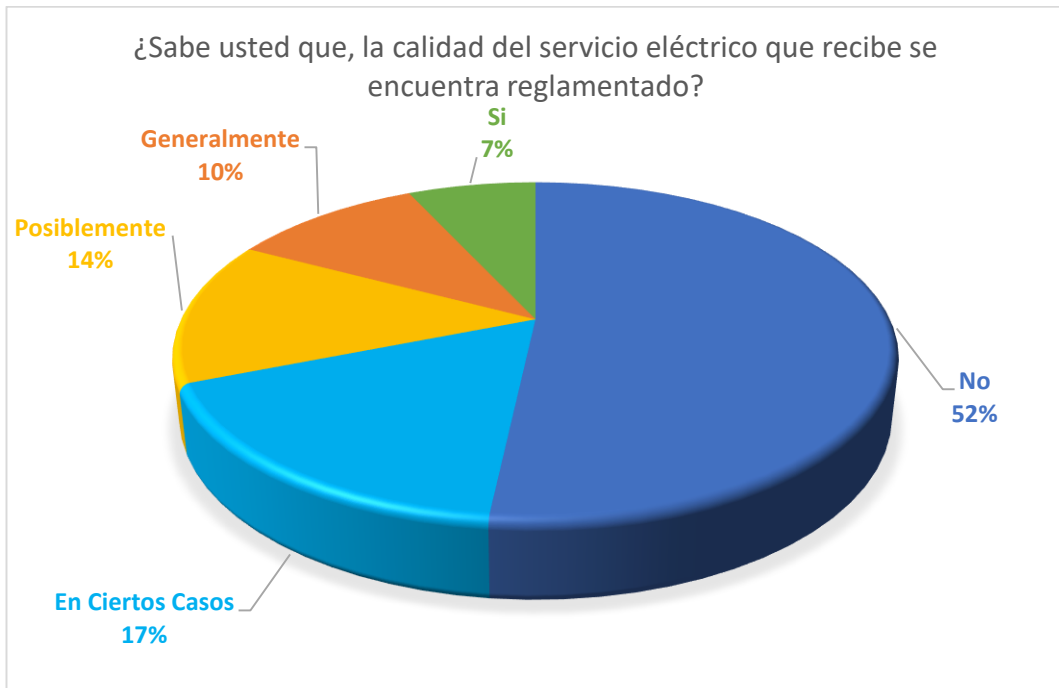


Figura 39. Calidad del servicio eléctrico

Fuente: Propia (2019)

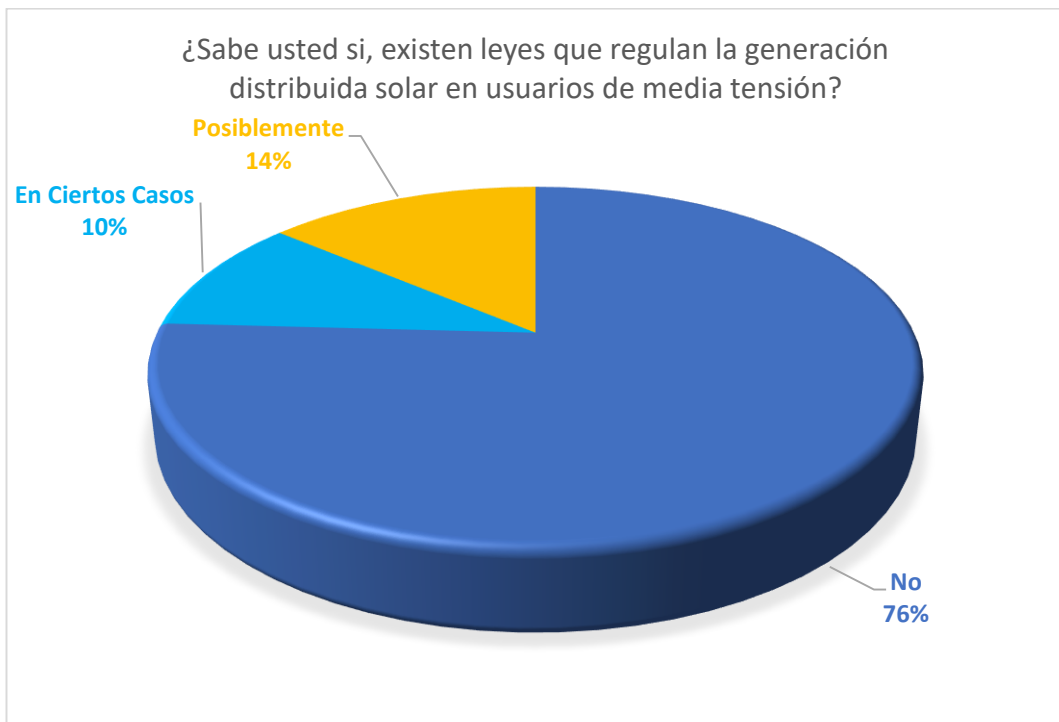


Figura 40. Leyes que regulan la generación distribuida solar

Fuente: Propia (2019)

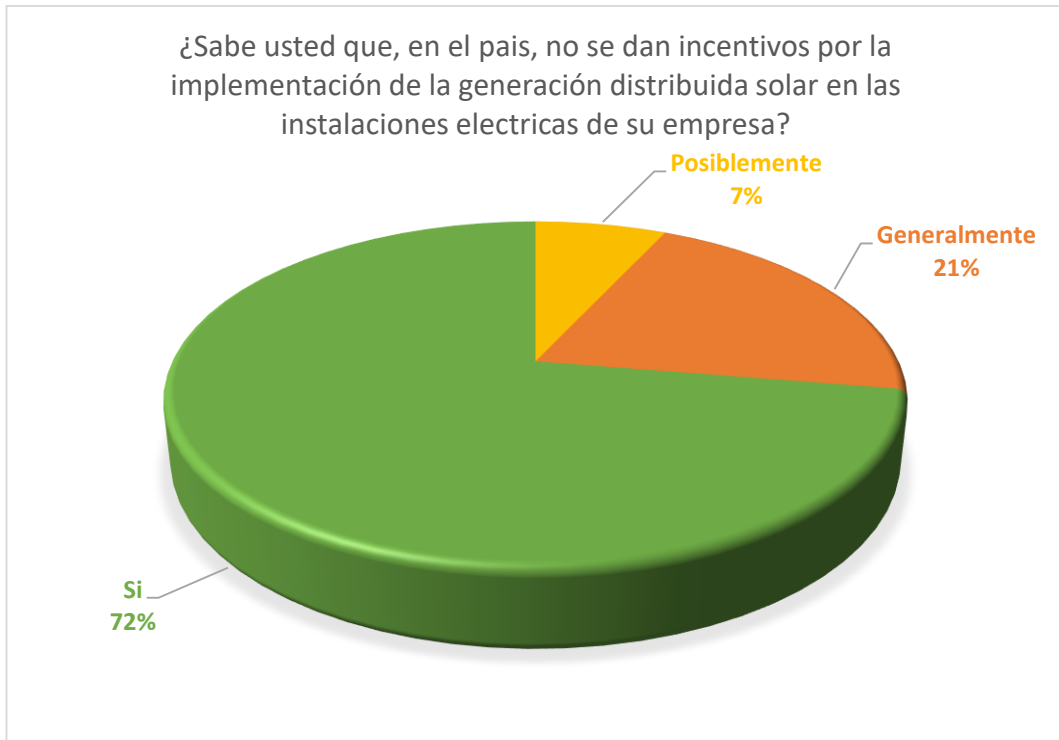


Figura 41. Incentivos por la implementación de la generación distribuida

Fuente: Propia (2019)

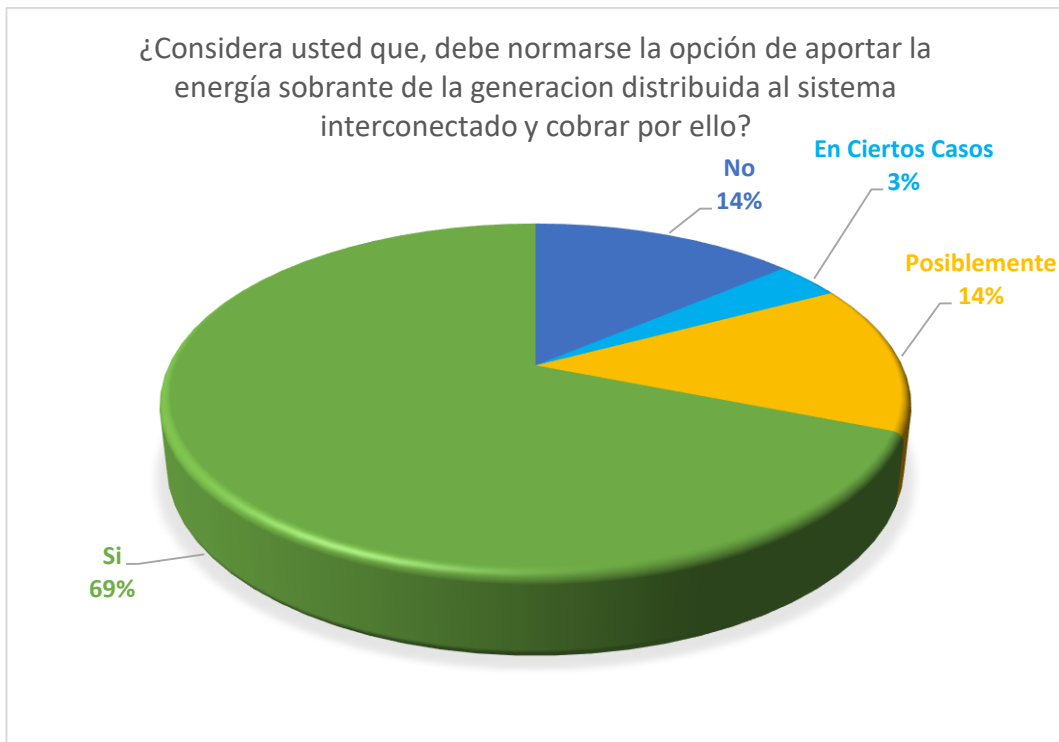


Figura 42. Normarse la opción de energía sobrante GD

Fuente: Propia (2019)

4.1.4.3 Análisis de datos para la determinación de los problemas

sociales

Como problemas sociales derivados de la explotación normalizada y convencional del sistema eléctrico interconectado, corresponde a la percepción de la calidad del servicio con interrupciones, con deficiencias puntuales en relación a los estándares existentes que conllevan a la determinación de que el suministro regular no se atiene a los parámetros de confiabilidad pertinentes, lo que puede evidenciarse en las figuras a continuación, cuya información es complementada por la concepción de que la inclusión de la generación distribuida solar, es una medida paliativa y de reversión a las condiciones del servicio eléctrico actual, favoreciendo una mayor continuidad y confiabilidad en el suministro de energía.

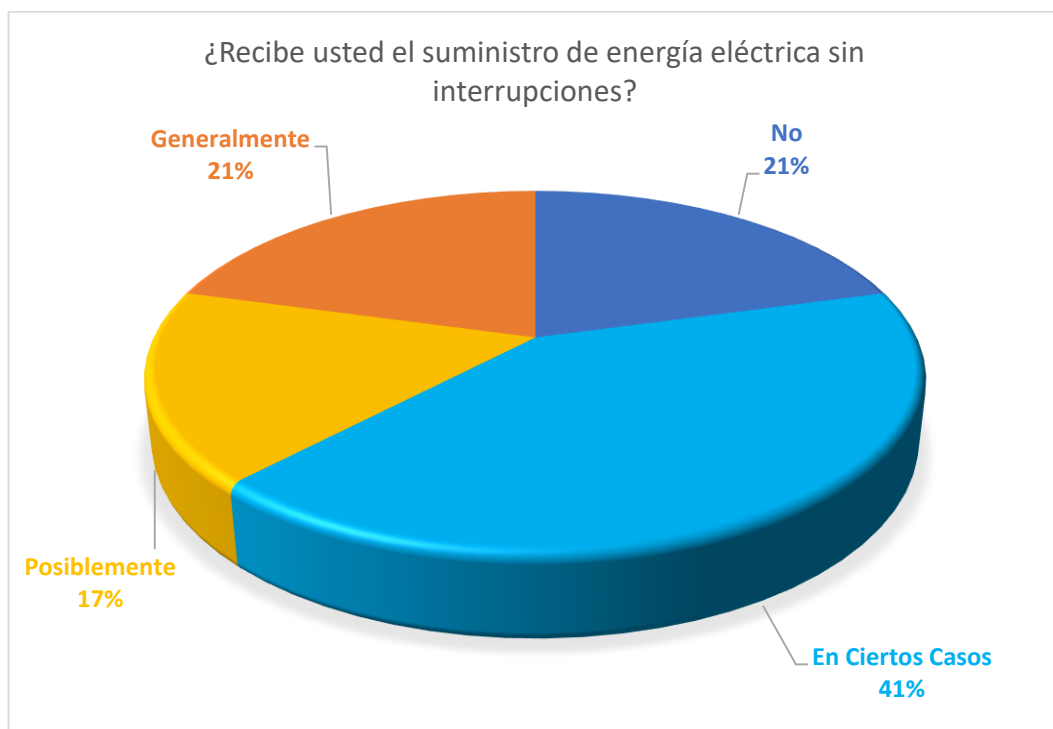


Figura 43. Suministro de energía eléctrica sin interrupciones

Fuente: Propia (2019)

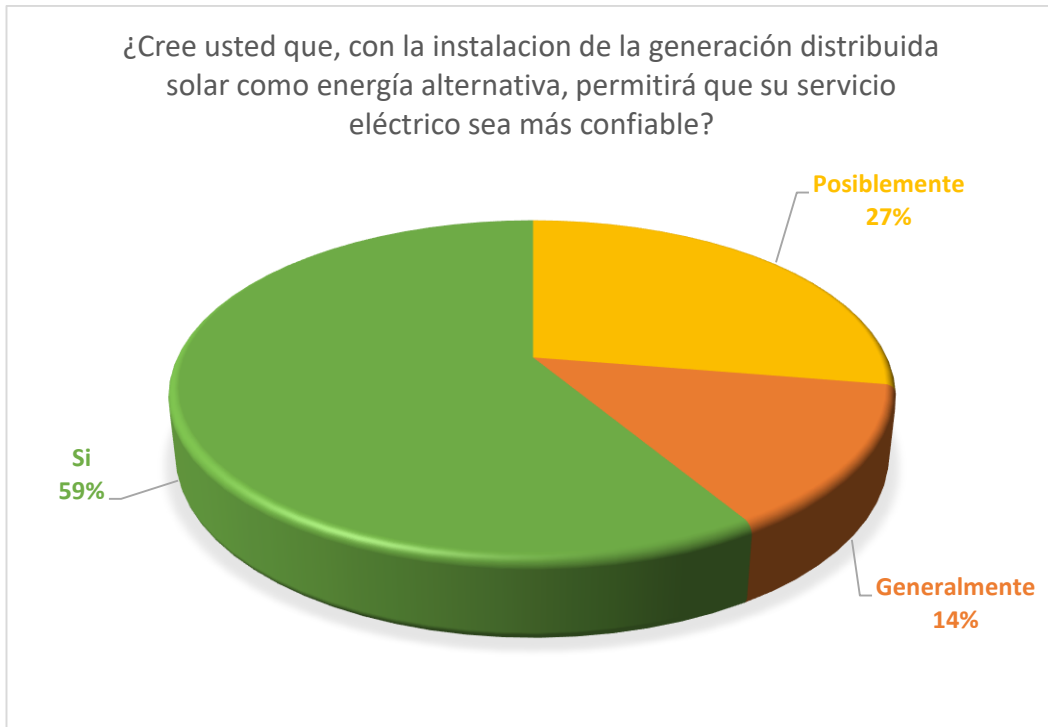


Figura 44. Generación distribuida solar como energía alternativa

Fuente: Propia (2019)

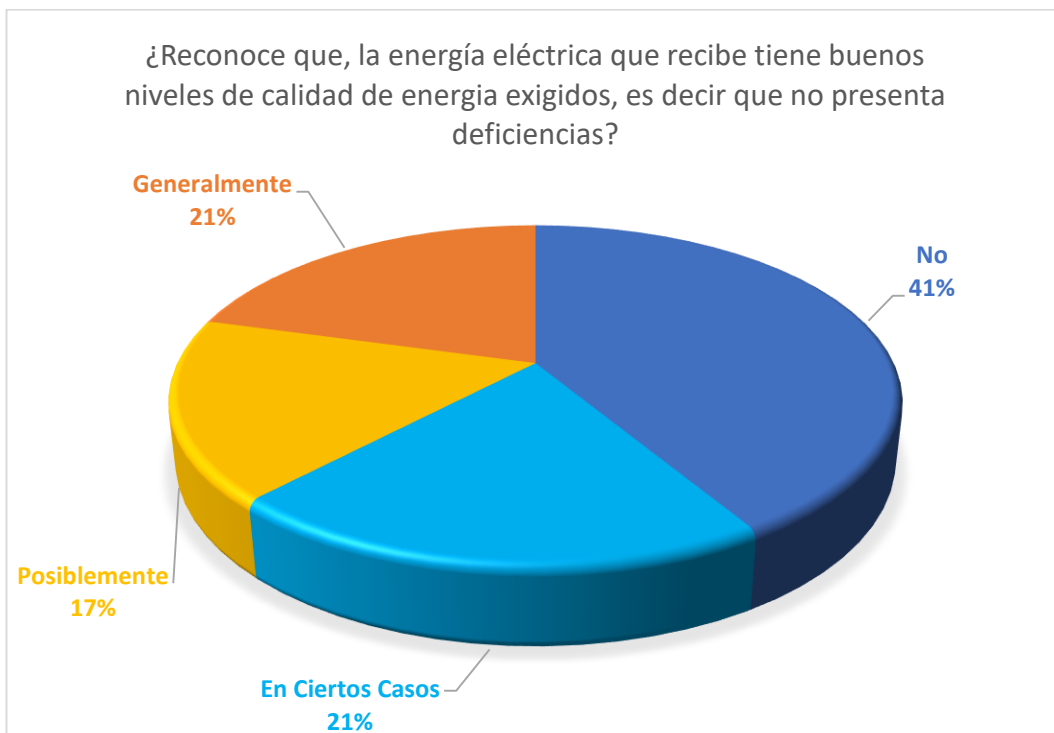


Figura 45. Energía eléctrica que presenta deficiencia

Fuente: Propia (2019)

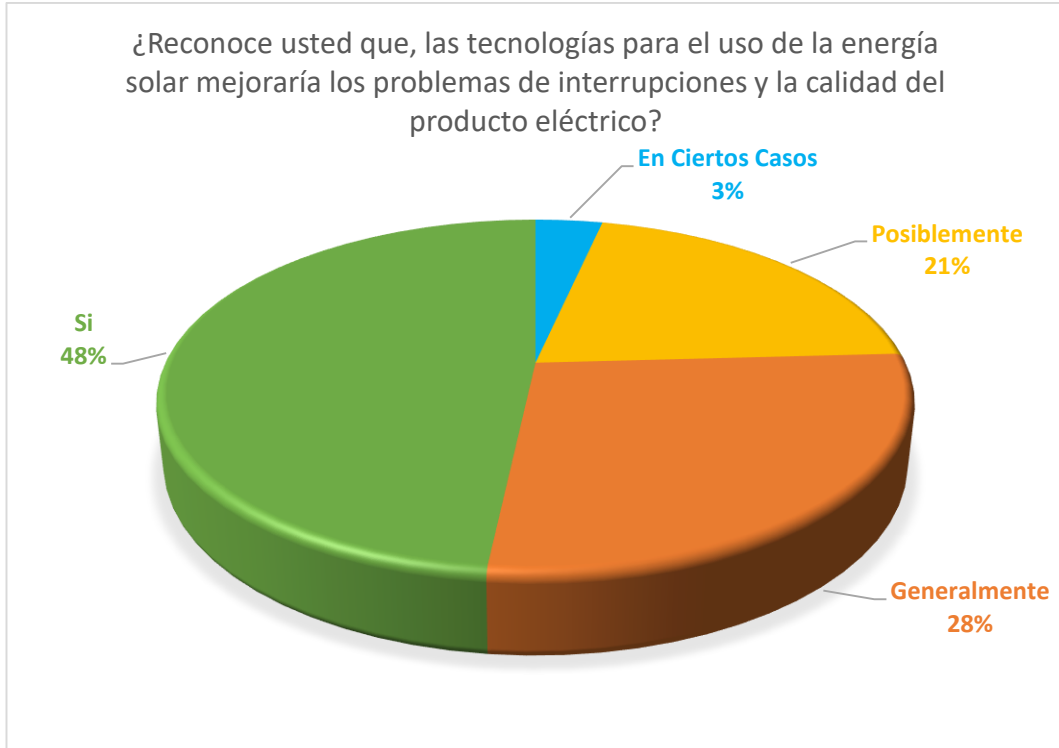


Figura 46. Tecnología para el uso de la energía solar

Fuente: Propia (2019)

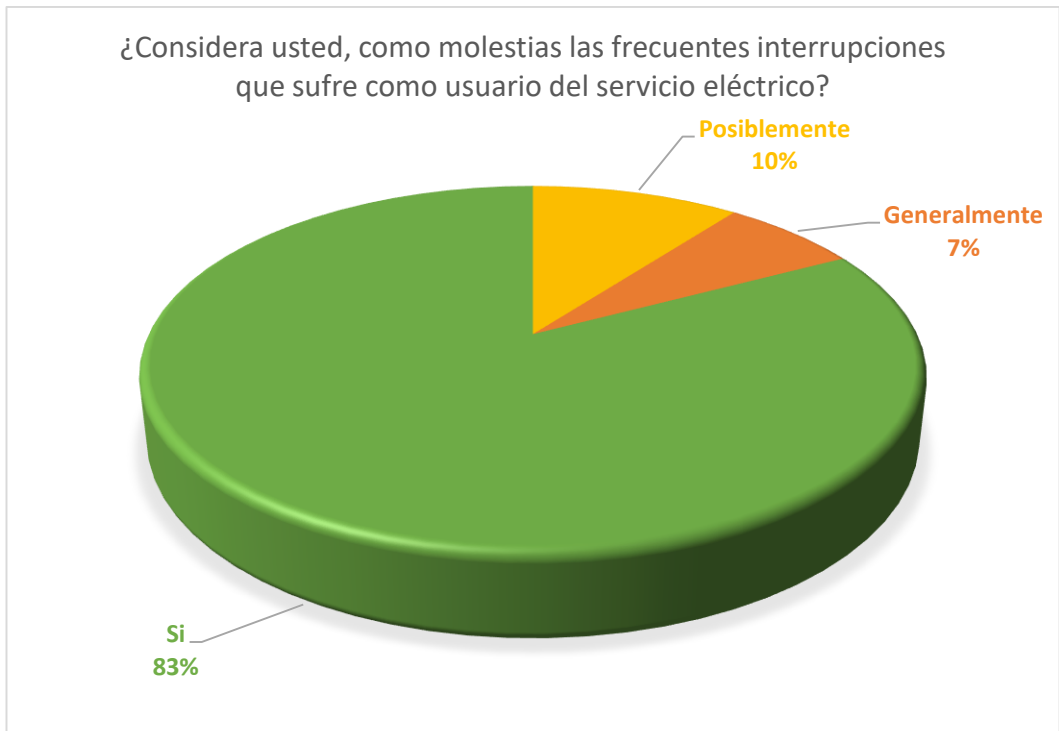


Figura 47. Molestías frecuentes por interrupciones servicio eléctrico

Fuente: Propia (2019)

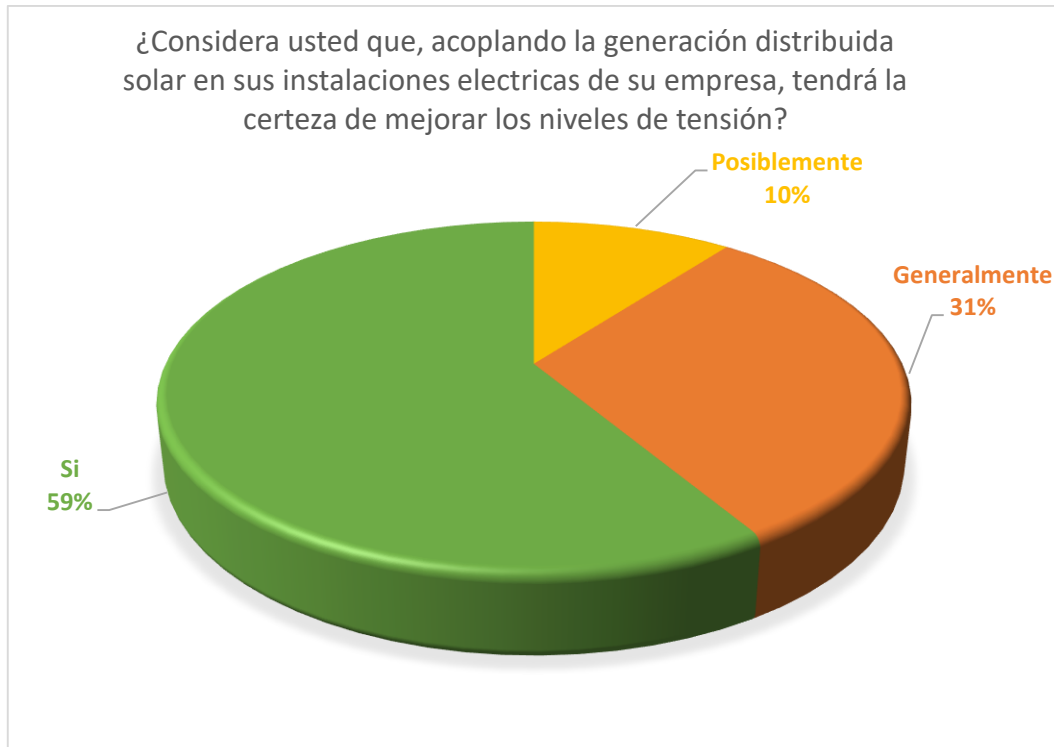


Figura 48. Acoplamiento de la generación distribuida solar

Fuente: Propia (2019)

Tabla 25. Valores de los Impactos Económicos, Normativos y Sociales Positivos, niveles de confianza y t de student

Impactos Económicos, Normativos y Sociales Positivos
Media = 58,97
Desviación estándar = 7,88
Error estándar = 1,46
IC 95% Límite inferior = 55,97
IC 95% Límite superior = 61,96
Prueba Paramétrica “t de student para una muestra”
Hipótesis Nula: $Media < Valor\ de\ prueba$
Hipótesis Alt: $Media > Valor\ de\ prueba$
$t = 2,708$
$\alpha = 0,025$
Valor- $p = 0,005702$

Fuente: propia (2019)



La tabla 25, muestra los resultados de la prueba t- student en la prueba de hipótesis específica 4 de determinar los impactos económicos, normativos y sociales positivos para una muestra y con valor de prueba menor a la media. Se obtiene lo siguiente:

Con esta prueba y con un intervalo de confianza del 95% se obtiene que el valor medio es de 58,97, vale decir que los impactos económicos, normativos y sociales de la integración de la generación distribuida solar en usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco fluctúa en el 95 % de los casos entre [55,97; 61,96].

Se obtiene un valor de $t = 2,708$ y un valor- $p = 0,005702 < 0,025$, en consecuencia se rechaza la hipótesis nula, es decir los impactos económicos, normativos y sociales son positivos por la utilización de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica interconectada a las instalaciones de usuarios de media tensión de la ciudad del Cusco.

4.2 Resultados respecto al objetivo general

La propuesta de generación distribuida se esgrimió a razón del suministro eléctrico en la carga representada en una de las subestaciones eléctricas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, puntualmente la SE0032 del pabellón de Ingeniería Eléctrica, con la base de un emplazamiento de módulos fotovoltaicos en provecho de las potencialidades naturales de la región del Cusco, en virtud de que la zona corresponde a uno de los registros más elevados en los índices de irradiancia en todo el continente, partiendo de una proyección de la demanda eléctrica para corto, mediano y largo plazo y utilizando el programa computarizado avanzado se modeló la generación distribuida solar interconectado



a la red convencional de media tensión para tres escenarios iniciales con sus respectivos dimensionados.

Con el modelo de incorporación de la tecnología solar de generación distribuida obtenido con el software Power Factory DigSilent se simuló en 6 escenarios a distintas potencias del generador solar (15kW, 30kW, 45kW, 60kW, 75kW y 90kW), advirtiéndose la optimización proporcional que se atisba en los parámetros de cargabilidad y pérdidas técnicas tanto en el transformador de potencia como en el conductor de distribución, de tal forma que para la condición de máxima demanda a largo plazo, se tiene:

- Se aprecia una mejora del 30% en la cargabilidad del transformador de potencia y un 45% de reducción de pérdidas
- En el conductor se disminuyen las pérdidas en un 79% y la cargabilidad a un 50%

Entre los efectos ambientales se cuentan la afectación en la calidad del aire y emisiones contaminantes provenientes de la generación de energía convencional, que se complementa con las percepciones recibidas de que el servicio no es lo suficientemente confiable y las fallas que ocurren en el mismo, son de importante repercusión social, además la huella de carbono obtenido para la carga modelo es 0.957 Ton de CO₂.

En lo que respecta a lo económico se evidencia un indicador financiero favorable que alcanza a un promedio del 48% de ahorro mensual al consumidor de energía de media tensión.

En el marco normativo para la regulación de este tipo de generación, no expresa suficiente sustento técnico como para delimitar acciones como excedentes de energía e incentivos por la inclusión de las mismas a un consumo en sitio.

En lo social la población manifiesta en un promedio del 72% de los encuestados manifiesta lo beneficioso que será para el medio ambiente la utilización de la Generación Distribuida solar interconectada a sus instalaciones eléctricas.

Con lo considerado se puede mostrar claramente los impactos positivos técnicos, ambientales, económicos, normativos y sociales positivos, entre los que destacan significativamente los impactos técnicos, ambientales, económicos y sociales, por cuanto, en lo normativo no se tiene reglamentado la generación distribuida en el Perú, y como impactos negativos se reconoce al área de utilización para la instalación de estos sistemas solares.

Tabla 26. Valores de los Impactos Positivos, niveles de confianza y t de student

Impactos Positivos
Media = 130,28
Desviación estándar = 12,55
Error estándar = 2,33
IC 95% Límite inferior = 125,50
IC 95% Límite superior = 135,05
Prueba Paramétrica “t de student para una muestra”
Hipótesis Nula: $Media < Valor\ de\ prueba$
Hipótesis Alt: $Media > Valor\ de\ prueba$
$t = 2,694$
$\alpha = 0,025$
Valor- $p = 0,0059025$

Fuente: propia (2019)



Por consiguiente en la tabla 26, se muestra los resultados de la prueba t- student en la prueba de hipótesis general de determinar los impactos en general son positivos de la inserción de la Generación Distribuida solar en las cargas de los usuarios de media tensión, para una muestra y con valor de prueba menor a la media. Se obtiene lo siguiente:

Con esta prueba y con un intervalo de confianza del 95% se obtiene que el valor medio es de 130,28, vale decir que los impactos en general son positivos de la integración de la generación distribuida solar en usuarios de media tensión fluctúa en el 95 % de los casos entre [125,50; 135,05].

Se obtiene un valor de $t = 2,694$ y un valor- $p = 0,0059025 < 0,025$, en consecuencia se rechaza la hipótesis nula, es decir los impactos de la integración de la generación distribuida con energía solar fotovoltaica en usuarios de media tensión en la ciudad del Cusco son positivos, los que permiten evaluar en forma cuantitativa y cualitativa los efectos técnicos, económicos, ambientales, normativos y sociales que propiciará posteriormente el uso de estos sistemas por los consumidores de energía eléctrica en media tensión en esta región del Perú.



CAPITULO V: DISCUSION

5.1 Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

En este punto en específico, se detalla el análisis asociado a las respuestas obtenidas mediante la aplicación del instrumento tipo encuesta a ciertas unidades muestrales, quienes suministraron información relacionadas con los impactos derivados de la interconexión de energías renovables, en forma de generación distribuida, bien sea como alimentación en sitio y/o en trabajo paralelo con la red de energía convencional, por lo tanto, el perspectiva del sondeo se orientó a la demarcación de que la implementación de un generador tipo solar, contribuye a las acciones de preservación del entorno, en virtud de que no conlleva procesos de combustión y por ende de emisiones nocivas.

En complemento, el suministro convencional es distinguido como deficiente y poco confiable, a razón de la ocurrencia de interrupciones que son molestas para el usuario, donde se señala como alternativa de mejora, la energía proveniente de la generación distribuida, a pesar que es considerada como costosa y que dicha característica corresponde a uno de los principales obstáculos para la adquisición de dichas tecnologías, no así, sigue representando una opción más atractiva para el usuario de cara al suministro convencional.

El aspecto normativo en torno a la implementación y explotación de la generación alternativa, comprende un punto focal dentro del contexto tecnológico,

debido a que existe en los consultados un desconocimiento significativo sobre el marco regulatorio en el país en cuanto a las mismas y la aseveración puede constatar en la revisión de los decretos legislativos efectuados en el apartado anterior, donde la discriminación es muy generalizada y más que todo prevista hacia el ámbito de las contrataciones y adjudicaciones constructivas; sin embargo, los beneficios de la inclusión de una tecnología limpia y de provecho para el potencial regional, son innegables y en los anexos se dispone la totalidad del contenido de las respuestas al instrumento de consulta.

5.1.2 Impactos Técnicos de la interconexión de la generación distribuida en cargas de M.T.

La relevancia técnica se patentó desde las consideraciones que la generación distribuida solar corresponde una alternativa de suministro eléctrico limpio paliativo frente a la crisis provocada por el efecto invernadero, de la mano con los resultados obtenidos de las simulaciones con los diferentes escenarios de penetración fotovoltaicas, que al final demostraron que la Cargabilidad y las pérdidas técnicas logran contraerse hasta en un 50% de promedio, con respecto al uso del transformador de potencia, beneficios que son por lo demás sabido, ya que al reducir las dimensiones de ambos parámetros, se prolonga la vida útil de los equipos y elementos, así como de un mayor aprovechamiento de la potencia circulante.

5.1.3 Impactos Económicos en usuarios de M.T. de la ciudad del Cusco

El pliego tarifario actual está constituido por el costo nominal del kilovatio-hora y en los casos pertinentes, el cobro por potencia activa y reactiva, junto al cargo mensual de la asignación de tarifa, lo cual genera una cierta cuantificación al cabo



del mes. Una de las desventajas que se le atribuye a las energías alternativas, son los costos asociados a la adquisición, emplazamiento y mantenimiento de las mismas, no así, que en la relación presentada de costo beneficio, es mucho más atractivo a nivel financiero, instalar módulos de generación en sitio, en vista de que procurará un ahorro del 48% en el desembolso mensual por concepto de energía para un lapso de análisis económico, por lo tanto, las formas de energías renovables comprenden una opción bastante favorable y debiera ser considerado para diseños de ampliación de carga.

5.1.4 Impactos Ambientales por la integración de la tecnología seleccionada

La incorporación de la generación distribuida, en su variante de energías renovables tiene una connotación ambiental, en tanto que no conlleva en su funcionamiento combustibles de procedencia fósil, por lo cual, su inclusión en los esquemas eléctricos, conforman niveles de acuerdos internacionales de compromisos en pro de las contribuciones al cambio climático.

Para el caso de estudio, en donde se consideró el acoplamiento de módulos fotovoltaicos para la producción en sitio, con la generador modelo propuesto se obtuvo 0.957 Ton de CO₂ de huella de carbono en este sistema, es inminente que se reducirá la cantidad de emisiones contaminantes en proporción de la cantidad de potencia suprimida del sistema interconectado, en complemento con la cualidad modular de la tecnología y ausencia de partes móviles, facilita el mantenimiento de las unidades lo que le permite otorgar un grado de confiabilidad superior al de la red convencional, lo que es concebido por los individuos consultados, que



prevalecieron por la inclinación de emplear la generación distribuida solar como suministro alternativo del consumo generado frente al servicio eléctrico normal.

5.1.5 Impactos sociales en la población en estudio

El alcance social de la implementación de la tecnología solar como alimentación en sitio, viene a ser un espacio complementario a todas las argumentaciones descritas en previos, en donde los ítems de la encuesta para delimitar tales aspectos, se direccionaron a la determinación de incentivos por uso, beneficios de instalación, políticas de mantenimiento y protocolos de mantenimiento, para lo que se obtuvo de la dinamización de las respuestas, que alrededor del 72% de los consultados desconocen la existencia de incentivos por la inclusión de la energía alternativa en las formaciones eléctricas.

Un porcentaje similar se comunicó para considerar como beneficioso las instalaciones de energías renovables. Lo contrario se encontró para el renglón de la existencia de capacitaciones y procedimiento de mantenimiento, rayando por el 58% de las opiniones; en efecto, las fuentes renovables no cuentan con un sustento difusivo y de importancia social, ameritando plantearse como desafíos para el progreso del uso del tipo de generación explicada, un trabajo más profundizado en capacitaciones y demás formas de socialización de la energía por parte del estado.

5.1.6 Impactos Normativos por el uso de esta tecnología.

Al advertirse que las normativas vigentes, no hacen referencia a aspectos tecnológicos específicos como si se tratara de redes de distribución normalizadas, el hecho de que proliferare el uso de la generación distribuida renovable, inferirá una transformación en las reglamentaciones actuales, para con ello estandarizar las acciones operativas y de mantenimiento sobre el sistema formulado; es



imprescindible ahondar en las regulaciones de potencia permisibles, dimensionamiento de espacios, excedentes de consumo, personal capacitado entre otros, para optimizar la explotación del recurso alternativo a considerar.

5.2 Limitaciones

La principal limitante implicada en la interconexión de un tipo de generación distribuida como el imputado en el esquema solar previsto, al margen de las acepciones económicas, se encuentra el factor dimensión asociado con un emplazamiento fotovoltaico, lo que halla su fundamento en la determinación de la cantidad de paneles requeridos para la alimentación de los diferentes escenarios de demanda, obteniéndose para el menos desfavorable 1.112 módulos, que según el tamaño del modelo comercial aplicable para altos consumo, se necesitaría de casi dos hectáreas para cubrir con toda la instalación eléctrica. De no contarse con tal extensión de superficie, no podría materializarse la interconexión eléctrica.

5.3 Comparación crítica con la literatura existente

La Política Nacional del Ambiente establece dentro de sus objetivos fomentar el uso de los recursos renovables para la generación eléctrica, sin embargo existe un desaprovechamiento de los recursos energéticos renovables por parte de los usuarios, debido a la falta de políticas de promoción e implementación, especialmente para la generación de electricidad para el autoconsumo; y así, de esta manera el cliente podría abastecer su demanda eléctrica parcial o totalmente. Y por último se debe tomar medidas urgentes ante el cambio climático y el cumplimiento de metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La investigación se desarrolló en la ciudad del Cusco considerando los clientes consumidores de energía eléctrica de media tensión, se tomó en cuenta a un cliente



de media tensión como modelo para realizar el respectivo modelamiento eléctrico de la interconexión de la generación distribuida solar a la red convencional con el software de simulación se determinó los efectos técnicos que alcanzaron una contracción promedio del 50% en lo que respecta a la mejora de la cargabilidad y la mitigación de las pérdidas técnicas de los transformadores y alimentadores de la subestación en estudio, en los efectos ambientales es muy positivo debido a que en promedio por cada usuario de media tensión se dejaría de emitir 0.947 Ton. De CO₂ a la atmosfera anualmente, en lo económico tiene un impacto positivo en vista de que logrará un ahorro del 48% en el desembolso mensual por concepto de energía eléctrica por el lapso del tiempo del análisis económico, en lo normativo existe un desconocimiento significativo de las leyes, reglamentos que gobiernan la electricidad principalmente las normas de la generación distribuida en redes de distribución, en lo que respecta a los impactos sociales alrededor del 72% de los consultados desconocen la existencia de incentivos por la inclusión de la energía alternativa en las formaciones eléctricas.

En comparación con investigaciones internacionales consideramos a Gasco, M. (2013) donde estudia la Integración de energías renovables en redes eléctricas inteligentes, el cual, tuvo carácter analítico de las diferentes tecnologías para la utilización de la generación distribuida, en la conclusión indica que la generación distribuida es cada día más importante y está sustituyendo a la generación mediante los sistemas de grandes centrales eléctricas centralizadas. El nuevo paradigma de red distribuida requiere desarrollar las redes de distribución eléctrica inteligentes. El análisis que se realiza en este trabajo doctoral, muestra una perspectiva general de los sistemas distribuidos de generación eléctrica y las tecnologías de regulación



de un sistema eléctrico, seguidamente presenta un modelo de red de distribución el cual contempla la generación distribuida conectada a la red convencional, se hace también un análisis de las pérdidas eléctricas y que los datos eléctricos de un sistema de generación distribuida dependen del tipo de tecnología que se utilizará.

En comparación con investigaciones a nivel nacional tomamos a Tinoco y Huamani (2013), en la investigación de la Micro generación distribuida con sistemas fotovoltaicos en viviendas urbanas para mitigar impactos ambientales ha trabajado un estudio piloto de 500 SFV de 1 a 2 Kw para cada domicilio, para una zona de viviendas de la ciudad de Lima y como conclusión se menciona que con el presente estudio se ha logrado determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación del mismo en diferentes partes del país, considerando los criterios de: potencial solar en cada departamento del Perú, los precios obtenidos en las últimas subastas de energía producida con fuente solar, los bonos de carbono y la proyección de la disminución progresiva de los costos de tecnología de los sistemas fotovoltaicos. Además se ha logrado la disminución de 974.8 Toneladas de emisiones de CO₂ al ambiente, al producirse el desplazamiento de energía eléctrica generada con centrales térmicas de Diésel o Gas Natural. Esto es equivalente a sembrar 387400 árboles o 1000 Hectáreas de bosque (considerando 20 kg CO₂/árbol).

5.4 Implicancias del estudio

Las implicancias que origina este trabajo de investigación serán resultados a corto plazo, como son la aprobación del reglamento de la Generación Distribuida y su exposición de motivos en donde consideren la propuesta de 2 tipos de Generación Distribuida, la primera como una Mediana Generación Distribuida



(MGD) con capacidad $> 200 \text{ KW}$ y $\leq 10 \text{ MW.}$, y la segunda con la Micro generación Distribuida (MCD) con capacidad máxima de 200 KW , esta última considerada como autoconsumo con inyección de excedentes a la red eléctrica, este será la implicancia para que los clientes consumidores de energía eléctrica de hasta 200 KW puedan producir energía eléctrica limpia y tendrán un ahorro energético y económico, consecuentemente se empezara con la mitigación de los GEI al ambiente.



CONCLUSIONES

1. El emplazamiento de generación distribuida solar, como suministro eléctrico interconectado a la carga estudiada, representa una serie de impactos positivos, entre los que destacan significativamente el espacio técnico, ambiental, social, normativo y económico, por cuanto, los impactos negativos se reconocen y orientan al dimensionado que impele la instalación de la tecnología solar, para la provisión de la potencia solicitada
2. Con el modelamiento eléctrico de la Generación Distribuida solar y la red eléctrica que sirvió para hacer un análisis de demanda eléctrica, en donde se definió tres (3) escenarios de trabajo reconocidos como: demanda actual (63.5kW), corto plazo (75kW) y mediano plazo (90kW), se determinó que los módulos de paneles solares dimensionados en proporción del modelo comercial de 250Wp, corresponde a los requerimientos de potencia, proveyendo beneficios de distinta índole, según fueron los resultados de la simulación eléctrica.
3. En cuanto a los impactos técnicos de la inserción de un sistema de generación distribuida con tecnología de paneles solares, mediante las observaciones realizadas a los resultados de las corridas de flujo de potencia, se obtuvo una mejora sustantiva del 50% en promedio sobre los parámetros de cargabilidad y pérdidas técnicas, evaluadas tanto el transformador, como en el conductor distribuidor, también se mejora el aprovechamiento de la potencia circulante.



4. Los impactos ambientales están sujetos al equivalente de emisiones contaminantes que se inhiben en la atmosfera, provenientes de un consumo energético de una fuente primaria fósil de generación, en virtud del acoplamiento de un tipo de generación distribuida solar para la carga en estudio, la huella de carbono de esta tecnología híbrida es 0.957 Ton. de CO₂, los cuales son proporcionales al tamaño de la demanda actual y proyectada
5. El impacto económico redundando en el ahorro potencial del pago por servicio eléctrico a razón del pliego tarifario de la empresa suministradora, el cual, como se expuso en el acápite anterior, representa alrededor de un 48% respecto a la inversión que requiere el emplazamiento de la generación distribuida solar para el suministro de la carga estudiada. En relación a lo normativo, la revisión del marco existente apunta que la normalización nacional se direccionan a los procesos de procura requeridos para la adquisición de las tecnologías alternativas, por cuanto, cualquier especificación que trate sobre la explotación y mantenimiento de las mismas, deberá ser añadida y analizada sobre el contexto normativo actual. En el ámbito social, la muestra consultada profesó en un 72% de concurrencia, que considera beneficioso la instalación de la generación distribuida solar, sin embargo, se identificó un desconocimiento objetivo acerca de los incentivos arraigados en la implementación de la misma (lo que tiene su asidero en el contenido del marco normativo), así como de una capacitación organizada para la operación de las unidades alternativas.



RECOMENDACIONES

1. Con fundamento en lo esgrimido en esta investigación, se debe elevar la reglamentación definitiva de la Generación Distribuida en redes de distribución por parte del Ministerio de Energía y Minas, con la finalidad de resolver las variantes derivadas con el régimen comercial, técnico, de operación, mantenimiento y áreas de uso, aunado a las experiencias vinculadas con la capacitación, que un horizonte previene errores de maniobra y logística.
2. Si bien se advirtió en previos las bondades positivas de incluir una generación alternativa solar como forma de alimentación en sitio al esquema eléctrico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, es necesario sortear el aspecto concerniente al espacio físico para la instalación de los módulos; en tal sentido, debe incluirse a las autoridades del recinto universitario en aras de resolver el punto mencionado
3. La utilización de esta tecnología híbrida representa una opción con la que cuenta la nación para contribuir al cumplimiento de los acuerdos internacionales de conservación, por lo que es imprescindible la procura de adquisición debida y fomentar su uso inmediato.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade, G, et all. (2014). Técnicas de recolección y registro de datos. Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos". Áreas de Ciencias Políticas y Jurídicas. Cátedra Técnicas de Investigación Doc. y Log. Jurídica. San Juan de los Morros.
- Arias F. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. 7ma edición. Caracas, Venezuela. Editorial Episteme.
- Aristizabal, A. y Dyner, I. (2014). Generación distribuida de energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica en la red de Baja Tensión de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Conference paper. Colombia.
- Barmejo, R. (2005). La gran transición hacia la sostenibilidad: Principios y estrategias de economía sostenible. Edit. Los Libros de la Catarata. España.
- BLD-SOLAR. (2018). Catálogo de módulos fotovoltaicos. Beijing: BLD Enterprice.
- Bernal, C. (2006). Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Pearson Educación. México.
- Cáceres, M., Busso, A., Vera, L., Friman, A., Leiva, G. y Luque, L. (2013). Sistemas Fotovoltaicos conectados a red: estabilidad en los parámetros de la red y sus efectos en la capacidad de generación. Revista Brasileira de Energía Solar Volumen IV Nº 1. Julio de 2013, p.p. 47-54. Brasil.
- CACME. (2016). Propuesta para la regulación federal del mercado argentino de generación renovable distribuida. .



- Carvajal, S. (2012). Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico, Artículo Científico. Magister en Ingeniería Eléctrica. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Colombia.
- Carvajal, S. y Marín, J. (2012). Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico. Revista Tecnura. Vol. 17, N° 35, pp. 81 – 83. Manizales. Colombia.
- Carreto, A. (2018). Sistemas de distribución de C/A. Edit. Universidad del Valle de México. México.
- Castillo, I. y Davidovich, J. (2016). Análisis legal de la generación distribuida de energía eléctrica en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Derecho. Tesis para optar por el grado de licenciatura en Derecho. San José. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica.
- Chusin, L. y Escobar, S. (2015). Análisis de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica con penetración de generación distribuida Escuela Politécnica Nacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Proyecto previo a a obtención del título de Ingeniero Eléctrico. Quito. Ecuador.
- Código Nacional de Electricidad Suministro (2011). Ministerio de Energía y Minas del Perú. Perú.
- Consultoría de Construcciones Bioclimáticas, Eficiencia Energética y Energías Renovables (2012). Generación de energía centralizada vs generación energía distribuida. Editado Gramas. México.
- Cornejo, I. (2017). Generación distribuida en redes secundarias en Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Escuela de posgrado.



Unidad de posgrado de la Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios.
Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias, mención Ingeniería
Energética. Arequipa. Perú.

Couto, F. (2017). Gestión de datos de investigación. Editorial UOC. España.

Díaz de Rada, V. (2001). Diseño y elaboración de cuestionarios para la
investigación comercial. ESIC Editorial, 2001. Madrid. España.

ELECTRO SUR ESTE. (2019). *Tarifas a Octubre*.

Espina, J. (2003). Caracterización de la Carga en Sistemas Eléctricos de
Distribución. Trabajo de ascenso para optar a la Categoría de Profesor
Agregado. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Escuela de
Eléctrica. Departamento de Potencia. Maracaibo. Venezuela.

Fernández, Á. (2004). Investigación y técnicas de mercado. 2ª edición. ESIC
Editorial. Madrid. España.

Fernández, P. (2015). *Impacto de la Generación Distribuida con Energía Solar
Fotovoltaica en la Tensión Eléctrica – Simulación de un caso*.

Gasco, M. (2013). Integración de energías renovables en redes eléctricas
inteligentes. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante. España.

González Longatt, F. (2014). *Energía Solar*. Oslo: Research.net.

Gómez, M. (2006). Introducción a la metodología de la investigación científica.
Editorial Brujas, Argentina.

Harper, G. (2006). El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja
tensión. Editorial Limusa. México.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). Metodología de le
investigación (5ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.



- Hernández, J. (2015). La generación distribuida y el futuro de los sistemas de distribución. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis para obtener el título de Ingeniero Electrónico. Ciudad Universitaria.
- Información Tecnológica (2002). Generación Distribuida Renovable. Revista. Vol. 13, No. 1. p. 155. Chile.
- Juárez, J. (1995). Sistemas de distribución de energía eléctrica. Edit. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Jurídica, E. (2015). *Enciclopedia Jurídica*. Madrid: España.
- Klinger, G. (2009). *Psicología Educativa*. Méjico: McGraw Hill.
- Landeau, R. (2007). Elaboración de trabajos de investigación: a propósito de la falla tectónica de la Revolución Bolivariana. Editorial Alfa, Venezuela.
- LEY 27191. (2016). *Estatutos de Energía Renovables*.
- López, P. (2004). Población y muestreo. Revista Punto Cero Punto Cero v.09 n.08. versión On-line. Cochabamba.
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada. CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica, ISSN-e 1390-9592, Vol. 3, Nº. 1, 2014, p.p. 47-50
- Martín, R. (2004). Radiación solar. México.
- Malhotra, N. (2004). Investigación de mercados: un enfoque aplicado Pearson Educación. Marketing redsearch. México.
- Mendiara P. (2013). Estudio de la influencia de la generación distribuida en la red eléctrica. Editado por la Universidad de Zaragoza. Escuela de Ingeniería y Arquitectura. España.



- Ministerio de Hacienda de Argentina (2019). Generación Distribuida de Energías Renovables. ¿Qué es la Generación Distribuida? Gobierno de Argentina. Ley 27.424. Argentina.
- Naghi, M. (2005). Metodología de la investigación. 2ª Edic. Editorial Limusa.
- Organización Mundial Meteorológica (2017). Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2016. Boletín de la Organización Mundial Meteorológica sobre los gases de efecto invernadero. Boletín N° 13 de fecha 30 de octubre de 2017
- Ortiz, F. (2003). Diccionario de metodología de la investigación científica. Editorial Limusa. Science. México.
- Pardo, M. y Rodríguez, M. (2010). Cambio climático y lucha contra la pobreza. Siglo XXI de España Editores. Madrid. España.
- Pérez, M. (2017). Alumbrado público. Edita el Instituto Tecnológico Universitario “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto. Estado Lara.
- Puentes, W. y Rodríguez, I. (2013). Redes de transmisión y distribución eléctrica. Subestaciones eléctricas. Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Wilman Camargo. Colombia.
- Ramírez, S. (2004). Redes de Distribución de Energía. Universidad Nacional de Colombia. 3ª edición. Manizales. Colombia.
- Ramírez, C., y Avilio, J. (2014). Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO2 en el poblado rural La Gramita de Casma. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Sección de Posgrado y Segunda



- Especialización. Lima. Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2005). Difundido por el Instituto de la Construcción y Gerencia. Perú.
- Rojas, R. (2002). Investigación social: teoría y praxis. Edit. Plaza y Valdés. México.
- Ruiz, A y Morillo, L. (2004). Epidemiología Clínica: Investigación clínica aplicada. Bogotá-Colombia: Editorial Médica Panamericana.
- Sabino, Carlos (2006). El proceso de la investigación. Caracas, Venezuela. Editorial Panapo.
- Strashorra, J. (2015). Subestaciones eléctricas. Ediciones Paraninfo, S.A. España.
- System, G. I. (2019). *Localización del Cusco*.
- Tinoco, H. y Huamania, N. (2013). Micro generación distribuida con sistemas fotovoltaicos en viviendas urbanas para mitigar impactos ambientales. Para optar al grado académico de Maestro en Ciencias con Mención en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima. Perú.
- Tyler, L. (2002). *Living the environment*. Boston.
- Valencia, J. (2008). Generación distribuida: Democratización de la energía eléctrica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C. Criterio Libre N° 8. Bogotá. Colombia. Junio 2008. pp. 105-112.
- Vásquez, P. (2013). Parametrización, control, determinación y reducción de pérdidas de energía en base a la optimización en el montaje de estaciones de transformación en la provincia de Morona Santiago. Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Maestría en sistemas eléctricos de potencia. Tesis previa a obtención del título de Magíster en sistemas eléctricos de potencia. Cuenca. Ecuador.



Zambrano, S. Leal, S (2011). *Gestión de Mantenimiento*. Táchira: FeUNET Venezuela.

Zarco, J. (2019). La generación distribuida: un modelo de generación eléctrica para todos. Edit. pv magazine. Hidalgo. México.

LINKOGRAFIA:

Antonella, M. (2011). *Ondas electromagnéticas*. Obtenido de Física II: http://ciencias.ubiobio.cl/fisica/wiki/uploads/AntonellaCid/F2_17.pdf

Air Now (2019). Aire Limpio y Sucio. Recuperado de: https://airnow.gov/index.cfm?action=aqikids_spanish.air. Consultado en fecha mayo de 2019.

Cisneros, S. (2019). *Perú 21*. Obtenido de Radiación UV alcanza niveles extremos y es vital protegerse: <https://peru21.pe/peru/radiacion-uv-alcanza-niveles-extremos-vital-protegerse-infografia-458458-noticia/>

CEMAER (2019). Cuánto Cuesta la Energía Solar. Recuperado de: <https://www.cemaer.org/cuanto-cuesta-la-energia-solar/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Cancillería de Comercio, Industria y Energía (2006). Alumbrado público. Tecnologías eficientes. Dirección General de Energías. Recuperado de: http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalenergia/pla_eficiencia_energetica/enllumenat_2.es.html. Consultado en fecha mayo de 2019.

Eco-Finanzas (2019). Gastos de instalación. Recuperado de: https://www.eco-finanzas.com/diccionario/G/GASTOS_DE_INSTALACION.htm. Consultado en fecha mayo de 2019).

Dexen Energy (2019). ¿Cómo funcionan los paneles solares interconectados a la



red? Recuperado de: <https://www.dexen.mx/paneles-solares/funcionan-los-paneles-solares-interconectados-la-red/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

DELTAVOLT. (2019). *Atlas solar por departamento*. Obtenido de <https://deltavolt.pe/phocadownload/Cusco.jpg>

De los Santos, E. (2018). Importancia del alumbrado público y urbano. Recuperado de: <http://parquesalegres.org/biblioteca/blog/importancia-alumbrado-publico-y-urbano/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Ernst, O. (s/f). *Los fotones*. Obtenido de Síntesis de la teoría del tiempo-espacio: <https://sites.google.com/site/teoriatiempospacio/los-fotones>

Eléctrica aplicada (2019). Qué significa y cuál es la diferencia entre kW y kWh explicados. Recuperado de: <https://www.electricaplicada.com/significa-diferencia-kw-kwh-explicados/>. Consultado en fecha mayo de 2019).

Financiamiento Q&A (2019). ¿Cuál es la definición de los costos del equipo en una empresa de servicio? Recuperado de: <https://www.obalearn.com/es/q-and-a/cual-es-la-definicion-de-los-costos-del-equipo-en-una-empresa-de-servicio/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Fundación Aquae (2019). Los gases de efecto invernadero. Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/sostenibilidad/los-gases-de-efecto-invernadero/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Fundación para la Salud Geoambiental (2013). Dióxido de carbono CO₂. Recuperado de: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Grupo Tropa UCM (2019). Efecto invernadero. Taller Virtual de Meteorología y Clima. Recuperado de: <http://meteolab.fis.ucm.es/clima/efecto-invernadero>.



Consultado en fecha mayo de 2019.

Inarquia (2014). Web de Eficiencia Energética, Energías Renovables y Arquitectura Sostenible. ¿Cómo funciona el sistema eléctrico? ¿Generación centralizada vs. Distribuida? Recuperado de: <https://inarquia.es/como-funciona-el-sistema-electrico-generacion-centralizada-vs-distribuida>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (2019). Cambio climático y efecto invernadero. Tema 10: Contaminación de la atmósfera. Cambio climático y efecto invernadero. Recuperado de: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10CAtm1/350CaCli.htm>. Consultado en fecha mayo de 2019.

López, M. (2019). *Energías Limpias: ¿Por qué es necesario desarrollarlas en el Perú?* Obtenido de <https://larepublica.pe/sociedad/1136822-energias-limpias-por-que-es-necesario-desarrollarlas-en-el-peru/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019). Gases Efecto Invernadero. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=462:plantilla-cambio-climatico-18>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Muerza, A. (2009). Qué son los gases de efecto invernadero 2009. Recuperado de: <https://ecodes.org/noticias/que-son-los-gases-de-efecto-invernadero#.XOUTjVT4-1s>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Nadezhda E. (2019). Sistemas Solares Fotovoltaicos Interconectados a la Red VS Sistemas Aislados. Recuperado de: <https://globalsolare.com/2018/05/02/sistemas-solares-fotovoltaicos->



interconectados-a-la-red-vs-sistemas-aislados/. Consultado en fecha mayo de 2019.

Navas, G. (2015). Las redes de distribución. Recuperado de: <https://www.slideshare.net/GabrielNavas/las-redes-de-distribucion>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Norma EC.010 (2011). Redes de distribución de energía eléctrica. Subtítulo II.4. Obras de suministro de energía y comunicaciones. Recuperado de: <http://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20II%20Habilitaciones%20Urbanas/27%20EC.%20010%20REDES%20DE%20DISTRIBUCION%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA.pdf>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Pereira, M. (2016). La regulación energética en el sistema jurídico colombiano: el papel de las autoridades ambientales y energéticas en el contexto de las energías renovables. Recuperado de: <http://www.unilibreaq.edu.co/ojsinvestigacion/index.php/advocatus/article/view/665>. Consultado en fecha mayo de 2019).

Pontificia Universidad Católica del Perú (2017). El desarrollo de la energía solar en el Perú. Recuperado de: <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Rivero, F. (2011). Sistema de Distribución Eléctrica. Sistema de Distribución Primario, Secundario y Caidas de Tensiones. Recuperado: https://issuu.com/artureh/docs/revista_sistema_de_distribucion_francisco_rivero. Consultado en fecha mayo de 2019.

Ruíz, R. (2011). Predeterminación del tamaño de la muestra para estimar un



parámetro poblacional: Media o proporción. Blog de Ricardo Ruíz de Adana Pérez. Recuperado de:

<https://ricardoruizdeadana.blogspot.com/2011/02/unidad-v-predeterminacion-del-tamano-de.html>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Sánchez, M. (2014). Generación distribuida. Recuperado de: <http://generaciondistribuida.com/?cat=3>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Solarbox. Energías Renovables (2019). Fotovoltaica conectada a red. Recuperado de: <https://solarbox.es/energia-solar/fotovoltaica-conexion-a-red>. Consultado en fecha abril de 2019.

Tinoco, M. (2019). Procedimiento para el desarrollo de proyectos eléctricos. Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/2924423/>. Consultado en fecha mayo de 2019.

Venemedia (2011). Definición de beneficio. Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/beneficio/>. Consultado en fecha mayo de 2019).

Valero, L. (2017). El precio de la energía eléctrica. Recuperado de: <http://oppidumenergia.com/precio-la-energia-electrica/>. Consultado en fecha mayo de 2019).



ANEXOS



ANEXO 01: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA
IMPACTOS POR LA INTEGRACION DE LA GENERACION DISTRIBUIDA CON ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN REDES DE

Table with 6 columns: PROBLEMA, OBJETIVO, HIPOTESIS, VARIABLES, TIPO DE INVESTIGACION, and TÉCNICAS E INSTRUMENTOS. It details the research methodology and objectives for studying the impacts of distributed solar energy generation on power grids in Cusco.