

UNIVERSIDAD ESAN



“Estudio exploratorio para la implementación de micro generadores de energía eléctrica conectados a la red (Net Metering) con fines de autoconsumo y venta de excedentes.”

Tesis presentada en satisfacción parcial de los requerimientos para obtener el grado de Magister en Administración por:

Cuadros Bernal, Cesar Ricardo	Dirección	Avanzada	de
	Proyectos.		
Coyuri Quispe, Marco Antonio	Mención en Formulación y		
	Evaluación de proyectos.		
Gutierrez Ramos, Abel Cesar	Dirección	Avanzada	de
	Proyectos		
Meza Tiga, Roberto Ricardo	Dirección	Avanzada	de
	Proyectos		

Programa Magister a Tiempo Parcial

Arequipa, 08 de octubre de 2016

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Motivación	6
1.3. Preguntas de Investigación	6
1.3.1 <i>Pregunta general</i>	6
1.3.2 <i>Preguntas específicas</i>	7
1.4. Objetivos de Investigación.....	7
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	7
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	7
1.5. Justificación del Tema de Investigación	7
1.5.1 <i>Justificación práctica</i>	7
1.5.2 <i>Justificación doctrinaria</i>	8
1.5.3 <i>Justificación metodológica</i>	8
1.5.4 <i>Justificación socio económica</i>	8
1.5.5 <i>Justificación política administrativa</i>	8
1.5.6 <i>Justificación cultural</i>	8
1.5.7 <i>Justificación de necesidad esencial</i>	9
1.6. Alcance y delimitación de la tesis.....	10
1.6.1 <i>Alcance de la tesis</i>	10
1.6.2 <i>Delimitación de la investigación</i>	10
1.6.3 <i>Limitaciones en la ejecución de la investigación</i>	10
1.7. Organización de la tesis	11
1.7.1 <i>Organización conceptual</i>	11
1.7.2 <i>Organización estructural</i>	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2.1. Perspectiva teórica de la investigación.	13
2.2. Diseño de investigación.	13
2.3. Metodología de aplicación.	15
CAPÍTULO III. MARCOS DE REFERENCIA.....	19
3.1. Marco Contextual.....	20
3.1.1 <i>El sistema Energético en el Mundo</i>	20
3.1.2 <i>La matriz energética y la política energética peruana</i>	21
3.1.3 <i>El potencial de la energía Solar en el Perú</i>	24
3.1.4 <i>El desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el Perú</i>	29
3.2. Marco Conceptual.....	31

3.2.1	<i>La tecnología de los sistemas fotovoltaicos</i>	31
3.2.2	<i>Los sistemas conectados a la red - Net Metering o Balance Neto</i>	36
3.2.3	<i>Beneficios del Net Metering</i>	39
	CAPÍTULO IV. ANALISIS DEL SECTOR ELÉCTRICO PERUANO COMO CONTEXTO PARA EL DESARROLLO DE LA MICRO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	41
4.1.	Marco Normativo	41
4.1.1	<i>Marco normativo del Sector Eléctrico</i>	41
4.1.2	<i>Marco Normativo de Energías Renovables</i>	42
4.2.	Operatividad del Sistema Eléctrico	44
4.2.1	<i>Funcionamiento del Sistema Eléctrico</i>	44
4.2.2	<i>Organización del Sistema Eléctrico</i>	45
4.3.	Oferta y demanda de energía eléctrica	46
4.3.1	<i>Oferta de potencia y energía eléctrica</i>	46
4.3.2	<i>Clientes, demanda de potencia y energía eléctrica</i>	50
4.4.	Consumo y diagramas de carga	54
4.4.1	<i>Consumo de energía eléctrica</i>	54
4.4.2	<i>Diagramas de carga</i>	55
4.5.	Costos y tarifas de electricidad	57
4.5.1	<i>Costos para fijación tarifaria</i>	57
4.5.2	<i>Costos marginales de generación</i>	57
4.5.3	<i>Fijación de Tarifas Eléctricas</i>	59
4.5.4	<i>Evolución de la Tarifa Residencial</i>	61
4.5.5	<i>Ingresos y costos contables de generación</i>	63
4.5.6	<i>Evolución de precios de la Tecnología Fotovoltaica conectada a la red y tarifas eléctricas</i>	64
4.6.	El Sistema Eléctrico como contexto natural del sistema de micro generación fotovoltaico	69
4.7.	Perspectivas del Sector Eléctrico en el Perú	70
4.7.1	<i>Perspectivas del Consumo de energía</i>	70
4.7.2	<i>Oferta de energía</i>	71
4.7.3	<i>Transporte y distribución</i>	72
4.7.4	<i>Energías renovables</i>	72
4.7.5	<i>Inversiones</i>	72
	CAPÍTULO V. ANALISIS DE LA TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y EL MECANISMO DEL NET METERING	73
5.1.	La Evolución de la Eficiencia de los Sistemas Fotovoltaicos	74

5.1.1 Aspectos que afectan el rendimiento del panel fotovoltaico.....	78
5.2. La Duración y degradación de los sistemas Fotovoltaicos.....	78
5.3. Relación área requerida por KWp.....	79
5.4. Evolución de los precios de la tecnología solar fotovoltaica.....	80
5.5. La Tecnología de los Acumuladores de Energía Tipo Baterías.....	87
5.6. Experiencias de la tecnología fotovoltaica conectada a la Red en Arequipa.....	89
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE NET METERING EN OTROS PAISES.....	93
6.1. Referencias del Continente Europeo.....	94
6.1.1 Experiencia en Alemania.....	97
6.1.2 Experiencia en España.....	98
6.2. Referencias del Continente Americano.....	99
6.2.1 Experiencia en Estados Unidos – California.....	103
6.2.2 Experiencia en Chile.....	106
6.2.3 Experiencia en Uruguay.....	108
6.3. Comparación de experiencias y su aporte al Modelo Peruano.....	111
CAPÍTULO VII. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE BALANCE NETO (NET METERING)	113
7.1. Propuesta técnica de micro generadores de energía eléctrica conectados a la red.....	113
7.1.1 Descripción técnica de los componentes de la Micro generación.....	114
7.1.2 Relación costo de implementación por vatio (US\$/W).....	118
7.1.3 Operación del sistema de balance neto propuesto.....	122
7.1.4 Determinación de la energía producida: uso residencial y PYME.....	123
7.1.5 Costo de energía generada del micro generador (LCOE).....	125
7.2. Evaluación económica de micro generadores de energía eléctrica conectados a la red.....	133
7.2.1 Indicadores económicos para consumo escalonado.....	134
7.2.2 Análisis de Sensibilidad.....	139
7.3. Normativa necesaria para viabilizar la implementación y operación de la microgeneración.....	142
7.3.1 Normativa vigente y aplicable para la implementación del sistema de micro generación.....	143
7.3.2 Nueva normativa necesaria para la implementación del sistema de micro generación.....	147
7.4. Agenda pendiente y efectos para los agentes involucrados en la actividad de microgeneración.....	151
7.4.1 Identificación y procedimiento macro de micro generación.....	157

7.4.2 Diagrama de flujo de la implementación de micro generación conectada a la red	158
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES.....	159
CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES.....	161
ANEXOS.....	163
I. Entrevistas.....	163
II. Potencial de las fuentes de energías renovables	177
III. Acta de adjudicación en OSINERMINING	179
IV. Cotizaciones.....	183
V. Especificaciones Técnicas del Equipo	190
VI. Tarifas Eléctricas SEIN.....	193
VII. Presentación de resultados de Sistema Fotovoltaico con Conexión a la red en Arequipa – Simposio Peruano de Energía Solar 2015.....	194
VIII.Indicadores económicos para consumo escalonado residencial y no residencial.	196
BIBLIOGRAFIA.....	198

RESUMEN EJECUTIVO

El plan energético Peruano plantea alcanzar un 5% de la energía demandada con recursos energéticos renovables, con la finalidad de contar con una mayor participación de las mismas en la matriz energética y mitigar los efectos del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan por el uso excesivo de combustibles fósiles. Entre las energías renovables se consideran las siguientes: solar, eólica, hidráulicas menores a 20 MW y biomasa.

Nuestro país cuenta con un marco legal para incentivar la generación de energía eléctrica a partir de energías renovables, mediante el decreto legislativo N° 1002. En la cuarta subasta desarrollada en base a dicho decreto, se han adjudicado plantas solares fotovoltaicas a costos por MW muy por debajo de los montos de las subastas iniciales. Se pasó de US\$ 221.1/MWh en el año 2009 hasta US\$ 48.24/MWh en el 2016. Esta reducción sostenida del valor de la energía renovable fotovoltaica ha sido aún más acentuada en recientes subastas ocurridas en el vecino país de Chile, llegándose hasta US\$ 29.10/MWh.

Las condiciones climáticas, como la radiación solar, que recibe nuestro país y en particular la región sur alcanzan valores muy similares a las que tiene Chile en el desierto de Atacama. Por otro lado, los avances tecnológicos en el mundo hacen vislumbrar caídas muy importantes en los precios de sistemas fotovoltaicos. Este contexto nos permite afirmar que existe un potencial energético muy importante para aprovechar en distintas regiones de nuestro país.

La propuesta que realizamos en esta investigación se dirige a dos sectores potenciales: el residencial y las PYME's, siguiendo la tendencia global. A diferencia de las subastas promovidas por el Decreto Legislativo N° 1002, la micro generación de energía fotovoltaica se enfoca en instalar sistemas de generación de energía renovable de pequeñas potencias, entre 2 a 100 KWp, en los techos de las viviendas o de las empresas que demandan de energía para sus procesos productivos. A este sistema de producción se le denomina también generación distribuida por ubicarse en lugares muy cercanos a donde se va a consumir la energía generada.

El Decreto Legislativo N° 1221, precisa que aquellos usuarios de electricidad que cuenten con sistemas de generación de energía renovable tienen derecho a producir energía para su autoconsumo e inyectar sus excedentes a la red, cuidando la seguridad de la misma.

Tomando en cuenta este dispositivo, el esquema de micro generación propuesto es el balance neto, el cual se caracteriza por generar energía eléctrica a partir de un panel solar para luego ser utilizada en la propia vivienda o negocio, a manera de autoconsumo. Sin embargo, a medida que las necesidades de energía han sido cubiertas y se generan excedentes de electricidad, esta puede inyectarse a la red de la compañía eléctrica. El mecanismo de retribución por la energía generada según el concepto de balance neto o net metering, establece que la energía auto consumida sea retribuida al mismo precio que la tarifa que la compañía eléctrica cobra a los usuarios. El excedente, según nuestra propuesta, se valorizaría al costo nivelado de la energía (LCOE).

Los resultados de la investigación muestran valores positivos del valor actual neto para sistemas de micro generación residencial y PYME, para aquellas instalaciones donde la mayor parte de la energía producida es auto consumida. De la misma forma, se obtienen resultados favorables para indicadores como la tasa interna de retorno y periodo de recuperación del capital. Sin embargo, aún existe una agenda pendiente por desarrollar, que involucra a distintos grupos de interés y permita viabilizar la micro generación. A nivel de Estado está pendiente desarrollar una política de energías renovables a largo plazo, paralelo a ello emprender un proceso de educación y promoción para el aprovechamiento del potencial que tenemos en energías renovables así como reglamentar el decreto legislativo N° 1221. Estos temas pendientes deberían desarrollarse en base a consensos para evitar posibles barreras en algunos grupos de interés que podrían ver afectados sus intereses.

Es en ése contexto, que la presente tesis se enfoca y alinea a la política de Estado de promover las energías renovables y a la importancia del cambio y diversificación de la matriz energética en tal sentido así como la política de inclusión social y regulación normativa como parte de la viabilidad. Por tanto, el Estado es quien tiene un rol protagónico para que la propuesta de implementación de micro generación se haga realidad, por ello ésta tesis va dirigida principalmente a quienes toman decisiones en los organismos del sector público.

Finalmente, es preciso mencionar que la micro generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos contribuirá a diversificar la matriz energética con costos cada vez más bajos conforme se sucedan los avances tecnológicos, lo cual permitirá hacer más competitivos dichos sistemas.