

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
ESCUELA DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE POSGRADO



“INTEGRACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EFICIENTES
PARA OBTENER AGUA CALIENTE SANITARIA Y DISMINUIR LA
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL CANTÓN CUENCA”

Tesis para obtener el grado académico de:

Doctor en Ingeniería Industrial

Autor:

Mag. John Ignacio Calle Sigüencia

Lima – Perú

2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS**

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 14-UPG-FII-2018

**SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En la ciudad de Lima, del día once del mes de julio del dos mil dieciocho, siendo las once horas, en acto público se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"INTEGRACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EFICIENTES PARA OBTENER AGUA CALIENTE SANITARIA Y DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL CANTÓN CUENCA"**, para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido..... APROBADO..... con la calificación de Dieciséis.....

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al **Mg. CALLE SIGÜENCIA JOHN IGNACIO**.

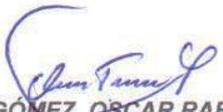
En señal de conformidad, siendo las 12:20..... horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.


Dr. INCHE MITMA, JORGE LUIS
Presidente


Dr. CABRERA CARRANZA, CARLOS FRANCISCO
Miembro


Dr. SANTOS DE LA CRUZ, EULOGIO GUILLERMO
Miembro


Dr. CHUNG PINZAS, ALFONSO RAMÓN
Miembro


Dr. TINOCO GÓMEZ, OSCAR RAFAEL
Asesor

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mis hijas Andrea, Sofía y Camila, a mi esposa Silvia, a mi nieta Amelia quienes son el motor que me impulsa a seguir en un constante proceso de formación.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Dios por haberme dado la salud y la integridad para realizar los estudios Doctorales, en segundo lugar a la Universidad Politécnica Salesiana quien favoreció el desarrollo de los mismos, luego a todos los docentes de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos que formaron parte de este proceso en especial al Dr. Oscar Tinoco y finalmente a todos aquellas personas que directa o indirectamente estuvieron para apoyar este arduo e interesante trayecto.

Índice general

Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Índice general	V
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XV
Resumen	XIX
Abstract	XX
1. Introducción	21
1.1. Situación problemática	22
1.2. Formulación del problema	23
1.2.1. Problema general	23
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. Justificación	24
1.3.1. Justificación teórica	24
1.3.2. Justificación práctica	25
1.4. Objetivos de la Investigación	25
1.4.1. Objetivo general	25
1.4.2. Objetivos específicos	25
2. Marco Teórico	26
2.1. Marco filosófico de la investigación	26
2.2. Antecedentes del problema.	32
2.3. Bases teóricas	43
2.3.1. Radiación solar	43
2.3.2. Irradiancia e irradiación	46
2.3.3. Medida de la radiación solar	47

2.3.4. Calentadores solares	48
2.3.4.1. Calentador solar de placa plana	49
2.3.4.2. Calentadores solares de tubos de vacío	50
a) Calentador de tubos de vacío evacuados simples.	50
b) Calentador de flujo directo.	51
c) Calentador con tubo de calor (Heat pipe).	51
2.3.4.3. Sistemas de calentamiento híbridos	53
a) Sistema solar térmico de tubos de vacío y ca-	
lentador de paso, conexión en serie.	53
b) Sistema solar térmico de tubos de vacío y ca-	
lentador de paso, conexión en paralelo.	53
c) Sistema solar térmico de tubos de vacío con	
tubo de calor y calentador eléctrico.	55
3. Metodología	56
3.1. Tipo y diseño de investigación	56
3.1.1. Unidad de análisis	58
3.1.2. Población de estudio	58
3.2. Identificación de la situación actual de la demanda de ACS en	
el cantón Cuenca	60
3.2.1. Estimación de la población.	60
3.2.2. Determinación de la muestra	61
3.2.3. Definición de cuestionario para levantamiento de infor-	
mación	61
3.2.3.1. Propósito general del cuestionario	61
3.2.3.2. Propósitos específicos del cuestionario	61
3.2.3.3. Validación del contenido del cuestionario	63
3.2.4. Técnicas de recolección de datos	63
3.2.5. Tabulación de datos	63
3.3. Monitoreo, procesamiento y análisis de datos de radiación solar	
del cantón Cuenca	64
3.3.1. Emplazamiento de estaciones meteorológicas en el cantón	
Cuenca	65
3.3.1.1. Recolección de datos de fuentes oficiales	65
3.3.1.2. Visitas de campo	66
3.3.1.3. Selección de criterios y ponderación	66
3.3.1.4. Análisis espacial	66
3.3.1.5. Elección de lugares para el emplazamiento	67

3.3.1.6. Selección y emplazamiento de estaciones meteorológicas	67
3.3.2. Caracterización de la radiación solar en el cantón Cuenca durante los años 2014 – 2015	67
3.3.2.1. Control de calidad y complementación de datos faltantes	67
3.3.2.2. Cálculo de radiación incidente mensual y anual para el cantón Cuenca en los años 2014 – 2015	68
3.4. Caracterización de colectores solares de tubos de vacío	69
3.4.1. Calentador solar de tubos de vacío evacuados simple	69
3.4.2. Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor	74
3.4.3. Determinación práctica de la eficiencia del colector de tubos de vacío evacuados simple y del colector de tubos de vacío con tubo de calor.	75
3.5. Propuesta de un modelo analítico para establecer factibilidad de implementación de sistemas solares para obtención de ACS y determinar la disminución de la contaminación ambiental	76
4. Resultados y discusión	77
4.1. Resultados del trabajo de campo para la identificación de la situación actual de la demanda de ACS en el cantón Cuenca	77
4.1.1. Proceso de validación del contenido del cuestionario	77
4.1.2. Estimación de la población	79
4.1.3. Determinación de la muestra	80
4.1.4. Análisis de datos levantados en el cuestionario a través de la encuesta	81
4.1.5. Demostración de la hipótesis específica 1	91
4.1.6. Discusión sobre la situación actual de la demanda y consumo de ACS en Cantón Cuenca	95
4.2. Resultados del monitoreo, procesamiento y análisis de datos de radiación solar global del cantón Cuenca	97
4.2.1. Emplazamiento de estaciones meteorológicas	97
4.2.1.1. Recolección de datos de fuentes oficiales	97
4.2.1.2. Visitas de campo	99
4.2.1.3. Selección de criterios y ponderación	101
4.2.1.4. Análisis espacial	104
4.2.1.5. Elección de lugares para emplazamiento	105
4.2.1.6. Selección y emplazamiento de estaciones meteorológicas	107

4.2.2.	Resultados de la caracterización de la radiación solar durante los años 2014 – 2015	108
4.2.2.1.	Control de calidad y complementación de datos faltantes	109
4.2.2.2.	Radiación incidente mensual y anual para el cantón Cuenca en los años 2014 – 2015	110
4.2.3.	Demostración de la hipótesis específica 2	112
4.2.4.	Discusión sobre datos de radiación solar del cantón Cuenca	116
4.3.	Resultados de la caracterización de colectores solares de tubos de vacío y tubo de calor	117
4.3.1.	Demostración de la hipótesis 3	121
4.3.2.	Discusión sobre la caracterización de colectores solares de tubos de vacío	124
4.4.	Modelo analítico para establecer factibilidad de implementación de sistemas solares para obtención de ACS y determinar la disminución de la contaminación ambiental	125
4.4.1.	Discusión sobre el modelo analítico.	132
5.	Impactos	135
5.1.	Análisis económico para la implementación de calentadores híbridos para obtención de ACS	136
5.1.1.	Escenario con subsidio del estado para el GLP	137
5.1.1.1.	Calentador a base de GLP	137
5.1.1.2.	Calentador Eléctrico C-E	137
5.1.1.3.	Calentador de tubos de vacío evacuados simple y calentador eléctrico. C-TVES/E	138
5.1.1.4.	Calentador de tubos de vacío con tubo de calor y calentador a base de GLP. C-TVTC/GLP	138
5.1.2.	Escenario sin subsidio del estado para el GLP	139
5.1.2.1.	Calentador a base de GLP	139
5.1.2.2.	Calentador eléctrico C-E	140
5.1.2.3.	Calentador de tubos de vacío evacuados simple y calentador eléctrico. C-TVES/E	140
5.1.2.4.	Calentador de tubos de vacío con tubo de calor y calentador a base de GLP. C-TVTC/GLP	141
	Conclusiones	143
	Recomendaciones	145

Bibliografía	146
Anexos	152
A. Encuesta realizada en la zonas urbana y rural	153
B. Radiación solar global mensual por estación meteorológica	155
B.1. Estación Baños	156
B.2. Estación Chaucha	158
B.3. Estación Colegio Técnico Salesiano (CTS)	160
B.4. Estación Cumbe	162
B.5. Estación Irquis	164
B.6. Estación Llacao	166
B.7. Estación Molleturo	168
B.8. Estación Nulti	170
B.9. Estación Quingeo	172
B.10. Estación San Joaquín	174
B.11. Estación Santa Ana	176
B.12. Estación Sayausí	178
B.13. Estación Sinincay	180
B.14. Estación Tixán	182
B.15. Estación Turi	184
B.16. Estación U. Politécnica Salesiana (UPS)	186
C. Radiación solar global anual por estación meteorológica	188
C.1. Estación Baños	189
C.2. Estación Chaucha	189
C.3. Estación CTS	189
C.4. Estación Cumbe	190
C.5. Estación Irquis	190
C.6. Estación Llacao	190
C.7. Estación Molleturo	191
C.8. Estación Nulti	191
C.9. Estación Quingeo	191
C.10. Estación San Joaquín	192
C.11. Estación Santa Ana	192
C.12. Estación Sayausí	192
C.13. Estación Sinincay	193
C.14. Estación Tixán	193
C.15. Estación Turi	193

C.16.Estación UPS	194
D. Radiación global del cantón Cuenca	195
D.1. Radiación global del cantón Cuenca 2014	196
D.2. Radiación global del cantón Cuenca 2015	196
D.3. Radiación global cantón Cuenca 2014-2015	196
E. Matriz de Consistencia	197
F. Opinión del juicio de valor emitido por los jurados	199

Índice de figuras

2.1. Dos descripciones de la confrontación de una teoría con un hecho (Bunge, 2006).	31
2.2. Colectores solares térmicos instalados en la Unión Europea (m ²) (Eurobserv'ER, 2017).	32
2.3. Porcentajes de uso de los tipos de colectores en la Unión Europea (Eurobserv'ER, 2017).	33
2.4. Ventas estimadas de calentadores de agua en USA (Waide et al., 2015).	35
2.5. Ventas estimadas de calentadores de agua en China (Waide et al., 2015).	37
2.6. Ventas estimadas de calentadores de agua en India (Waide et al., 2015).	38
2.7. Parámetros que definen la certificación energética (Hernández & Meza, 2011)	41
2.8. Calidad del aire en PM _{2,5} , de las ciudades de América Latina (OMS-OPS, 2016)	42
2.9. Calidad del aire en PM _{2,5} , de las ciudades de Ecuador (OMS-OPS, 2016)	42
2.10. Potencial energético de todas las energías renovables (GREENPEACE, 2017)	44
2.11. Radiaciones electromagnéticas del sol (González Marmol, 2012)	44
2.12. Radiación global (Directa + Difusa + Albedo) (Creus Solé, 2010)	45
2.13. Zonas térmicas de la Tierra (Entrena, 2013)	47
2.14. a) Piranómetro, b) Heliógrafo, c) Pirheliómetro (SENSOVANT, 2014)	47
2.15. Calentador Solar de Placa Plana (ENERWORK, 2017)	49
2.16. Comportamiento energético de un calentador de placa plana (Díaz, 2017)	50
2.17. Calentador de tubos de vacío evacuados simples (SOPELIA, 2017)	51

2.18. Calentador de tubo de vacío de flujo directo (SOPELIA, 2017)	51
2.19. Captador de tubo de vacío con tubo de calor (ENERWORK, 2017)	52
2.20. Conexión en serie, calentador solar de tubos de vacío–Calefón (Jiménez et al., 2014)	54
2.21. Conexión en paralelo, calentador solar de tubos de vacío–Calefón (Jiménez et al., 2014)	54
2.22. Resistencia eléctrica en el acumulador (Jiménez et al., 2014)	55
3.1. Esquema del diseño de la investigación (Elaboración propia)	59
3.2. Pérdidas de calor en un calentador solar de tubos de vacío (Jiménez et al., 2014)	70
3.3. Analogía de resistencias para el tanque acumulador multicapa (Jiménez et al., 2014)	72
3.4. Analogía de resistencias para la tapa del tanque acumulador multicapa (Jiménez et al., 2014)	73
4.1. Uso del agua caliente en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	82
4.2. Uso de ACS en la zona urbana y rural del cantón Cuenca (Elaboración propia)	82
4.3. Motivos por los cuales un hogar cuencano no dispone de ACS (Elaboración propia)	83
4.4. Número de habitantes por hogar en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	84
4.5. Sistemas utilizados por los hogares para obtener ACS en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	86
4.6. Valoración de la condición para elegir el sistema de ACS (Elaboración propia)	89
4.7. División política del cantón Cuenca (UPS - INER, 2013).	97
4.8. Ejemplo de lugares visitados (UPS - INER, 2013)	99
4.9. Posibilidad de lugares para emplazamiento de estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013).	101
4.10. MDT – Sombras del cantón Cuenca (UPS - INER, 2013).	104
4.11. MDT – Pendientes del cantón Cuenca (UPS - INER, 2013).	104
4.12. MDT – Distancia a ríos y cuerpos de agua (UPS - INER, 2013).	104
4.13. Lugares seleccionados para emplazamiento de estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013).	106
4.14. Estación meteorológica instalada (UPS - INER, 2013).	108
4.15. Radiación solar Global para estación de Chaucha (Elaboración propia)	111
4.16. Radiación solar Global del Cantón Cuenca (Elaboración propia)	112

4.17. Instalación de colectores solares de tubos de vacío (Elaboración propia)	117
4.18. Eficiencia teórica y real de calentadores solares	122
4.19. Modelo analítico para establecer factibilidad de implementación de sistemas solares y determinación de % de CO ₂ emitido al ambiente	126
4.20. Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2014 con calentador solar de tubo de vacío evacuado simple (Elaboración propia)	127
4.21. Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2015 con calentador solar de tubo de vacío evacuado simple (Elaboración propia)	127
4.22. Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2014 con calentador solar de tubo de vacío con tubo de calor (Elaboración propia)	128
4.23. Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2015 con calentador solar de tubo de vacío con tubo de calor (Elaboración propia)	128
4.24. Disminución de emisiones de CO ₂ en la obtención de ACS con calentadores híbridos con tecnología solar respecto a calentadores a base de GLP	132
B.1. Radiación global de la estación Baños	157
B.2. Radiación global de la estación Chaucha	159
B.3. Radiación global de la estación CTS	161
B.4. Radiación global de la estación Cumbe	163
B.5. Radiación global de la estación Irquis	165
B.6. Radiación global de la estación Llacao	167
B.7. Radiación global de la estación Molleturo	169
B.8. Radiación global de la estación Nulti	171
B.9. Radiación global de la estación Quingeo	173
B.10. Radiación global de la estación San Joaquín	175
B.11. Radiación global de la estación Santa Ana	177
B.12. Radiación global de la estación Sayausí	179
B.13. Radiación global de la estación Sinincay	181
B.14. Radiación global de la estación Tixán	183
B.15. Radiación global de la estación Turi	185
B.16. Radiación global de la estación UPS	187
C.1. Radiación global anual de la estación Baños	189

C.2. Radiación global anual de la estación Chaucha	189
C.3. Radiación global anual de la estación CTS	189
C.4. Radiación global anual de la estación Cumbe	190
C.5. Radiación global anual de la estación Irquis	190
C.6. Radiación global anual de la estación Llacao	190
C.7. Radiación global anual de la estación Molleturo	191
C.8. Radiación global anual de la estación Nulti	191
C.9. Radiación global anual de la estación Quingeo	191
C.10. Radiación global anual de la estación San Joaquín	192
C.11. Radiación global anual de la estación Santa Ana	192
C.12. Radiación global anual de la estación Sayausí	192
C.13. Radiación global anual de la estación Sinincay	193
C.14. Radiación global anual de la estación Tixán	193
C.15. Radiación global anual de la estación Tixán	193
C.16. Radiación global anual de la estación UPS	194
D.1. Radiación global del cantón Cuenca año 2014	196
D.2. Radiación global del cantón Cuenca año 2015	196
D.3. Comparación de la radiación global en el cantón Cuenca entre los años 2014 - 2015	196

Índice de tablas

2.1. Instalación de colectores solares en la Unión Europea al año 2016 (Euroserv'ER, 2017).	34
2.2. Financiación pública para energías renovables en América Latina (IRENA, 2015)	39
3.1. Análisis de tránsito de variables para cuestionario (Elaboración propia)	62
3.2. Correlación de Angström – Page para determinar la radiación solar global (Martínez Aguirre & Asitimbay Chávez, 2015)	68
4.1. Resultado emitidos por los jueces sobre el cuestionario (Elaboración propia)	78
4.2. Tabulación de resultados utilizando escala de Likert (Elaboración propia)	79
4.3. Coeficiente de validación de Aiken (Elaboración propia)	79
4.4. Número de habitantes del cantón Cuenca - años 1990, 2001, 2010 (INEC, 2016)	79
4.5. Proyección de número de habitantes del cantón Cuenca para el año 2016 (Elaboración propia)	80
4.6. Número de hogares con 5 miembros que habitan una vivienda en el cantón Cuenca en el año 2016 (Elaboración propia)	80
4.7. Tamaño de la muestra (Elaboración propia)	80
4.8. Estratificación de la muestra para la zona rural del cantón Cuenca (Elaboración propia)	81
4.9. Motivos por los cuales un hogar cuencano no dispone de ACS (Elaboración propia)	83
4.10. Uso de ACS para ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	85
4.11. Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería en zona urbana y rural del cantón Cuenca (Elaboración propia)	87

4.12. Tiempo total de uso de ACS en ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería (Elaboración propia)	87
4.13. Calificación del sistema actual para obtener ACS por parte de los usuarios (Elaboración propia)	88
4.14. Calificación del sistema actual para obtener ACS por parte de los usuarios (Elaboración propia)	88
4.15. Cálculo del consumo efectivo de ACS por hogar de 5 miembros en el cantón Cuenca	90
4.16. Cálculo de la demanda de energía mensual y anual para producir ACS en un hogar de 5 miembros en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	90
4.17. Proyección de la producción de kg de CO ₂ al año en una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	91
4.18. Proyección de la producción de Tn eq de CO ₂ al año en una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	91
4.19. Frecuencias para determinar tipos de sistemas que se utilizan para obtener ACS (Elaboración propia)	92
4.20. Resultados de la aplicación del coeficiente Rho de Spearman para determinar relación entre sistemas para obtener ACS y su frecuencia de uso (Elaboración propia)	94
4.21. Estaciones meteorológicas instaladas por INAMHI y SENAGUA (UPS - INER, 2013)	98
4.22. Estaciones meteorológicas instaladas por PROMAS (UPS - INER, 2013)	98
4.23. Estaciones meteorológicas instaladas por CELEC (UPS - INER, 2013)	98
4.24. Estaciones meteorológicas a instalar por ETAPA (UPS - INER, 2013)	99
4.25. Coordenadas geográficas de lugares visitados con posibilidad de emplazamiento (UPS - INER, 2013)	100
4.26. Criterios de ponderación para selección de lugares para emplazamientos (UPS - INER, 2013)	102
4.27. Resultados de aplicación de tabla de ponderación (UPS - INER, 2013)	103
4.28. Lugares seleccionados para el emplazamiento de las estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013)	105

4.29. Equipos a instalar en las estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013)	107
4.30. Estaciones meteorológicas con datos faltantes (Elaboración propia)	108
4.31. Ejemplo de cálculo para la radiación diaria global del día 9 de diciembre del 2014 para la estación de Chaucha (Elaboración propia)	109
4.32. Ejemplo de cálculo para la radiación horaria global del día 9 de diciembre del 2014 para la estación de Chaucha (Elaboración propia)	109
4.33. Datos complementados para la estación de Chaucha en el mes de diciembre del 2014 (Elaboración propia)	110
4.34. Irradiancia global total, anual en el cantón Cuenca (Elaboración propia)	111
4.35. Radiación solar por grupo de estaciones en los años 2014 y 2015	113
4.36. ANOVA para establecer influencia de agentes externos en la radiación solar en los años 2014 y 2015 en las 16 estaciones meteorológicas	113
4.37. Radiación global anual para estaciones meteorológicas para los años 2014 – 2015	114
4.38. ANOVA para establecer el comportamiento de la radiación global en los años 2014 – 2015	115
4.39. Datos técnicos del calentador de tubos de vacío	118
4.40. Datos técnicos del calentador de tubos de calor	118
4.41. Ejemplo de cálculo de eficiencia para calentadores solares de tubos de vacío para el mes de enero	119
4.42. Eficiencia teórica y eficiencia real de calentadores de tubos de vacío	121
4.43. Correlación lineal de Pearson para datos de calentadores solares (Elaboración propia)	122
4.44. Aplicación de la prueba T de student a los datos de eficiencia de los calentadores solares (Elaboración propia)	123
4.45. Análisis de cobertura de energía solar para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío evacuados simple	129
4.46. Análisis de cobertura de energía solar para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío con tubo de calor	130
4.47. Porcentaje de energía solar faltante para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío evacuados simple	131

4.48. Porcentaje de energía solar faltante para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío con tubos de calor	131
5.1. Proyección de la reducción de contaminación ambiental generada en el cantón Cuenca para el año 2016 por producción de ACS	135
5.2. Cálculo CAUE para calentador a base GLP	137
5.3. Cálculo CAUE para calentador Eléctrico	138
5.4. Cálculo CAUE para C-TVES/E	138
5.5. Cálculo CAUE para C-TVTC/GLP	139
5.6. CAUE según tipo de calentador escenario 1	139
5.7. Cálculo CAUE para calentador a base GLP	140
5.8. Cálculo CAUE para calentador eléctrico	140
5.9. Cálculo CAUE para C-TVES/E	141
5.10. Cálculo CAUE para C-TVTC/GLP	141
5.11. CAUE según tipo de calentador escenario 2	141

Resumen

En este documento se encuentra el análisis para determinar la factibilidad de implementación de calentadores solares para obtener Agua Caliente Sanitaria (ACS) en el Ecuador, en la provincia del Azuay, en el Cantón Cuenca, con el fin de disminuir la contaminación ambiental provocada por el uso de combustibles fósiles. El proyecto considera la implementación de una red meteorológica y toma de datos de radiación solar global en 16 puntos ubicados zonas pobladas del cantón durante los años 2014 y 2015, posteriormente a través de un trabajo de campo se realiza un diagnóstico para establecer cuáles son los sistemas que actualmente se utilizan para obtener ACS, también se emplazan dos calentadores solares de tubos de vacío para producción de ACS y se caracterizan con sus ecuaciones correspondientes; con los datos de radiación medidos se modela aplicando las ecuaciones y se establece la factibilidad de implementación en función de la energía solar medida; finalmente se realiza una comparación para determinar cuál sería la disminución de emisiones de CO₂ si se realizaría la implementación. Los resultados obtenidos indican que el 82 % de familias utiliza ACS y de estas el 90 % utilizan sistemas a base de GLP, que el 44 % de la demanda de energía para obtener ACS puede ser cubierta con energía solar por lo que se deben utilizar sistemas auxiliares para garantizar un abastecimiento constante y que con la implementación se lograría reducir 108 537 Tn eq. CO₂. También se determina que utilizar calentadores híbridos de tubos de vacío con tubo de calor y GLP que se consideran los más eficientes en la situación actual económicamente no son rentables debido al subsidio del GLP, pero si este subsidio se elimina el sistema sería competitivo con el calentador de paso a gas que actualmente es el más popular en el Ecuador, generando la ventaja de disminuir la contaminación ambiental.

Palabras clave: calentador solar, contaminación ambiental, energía solar, tubos de vacío.

Abstract

This document contains the analysis to determine the feasibility of implementing solar water heaters to obtain Sanitary hot water (SHW) in Ecuador, in the province of Azuay, in the Canton of Cuenca, in order to reduce the environmental pollution caused by the use of fossil fuels. The project considers the implementation of a meteorological network and data collection of global solar radiation in 16 points located in populated areas of the Canton during the years 2014 and 2015. Then, through a field work a diagnosis is made to establish which are the systems which are currently used to obtain SHW, two solar vacuum tube heaters for SHW production are also located and characterized with their corresponding equations. With the measured radiation data, we establish the model applying the equations and establishing the feasibility of implementation based on the measured solar energy. Finally, a comparison is made to determine what would be the decrease of CO₂ emissions if the implementation would be carried out. The obtained results indicate that in 82 % of households it uses SHW and of these 90 % use LPG-based systems, which 44 % of the energy demand to obtain SHW can be covered with solar energy. Therefore auxiliary systems can be used to guarantee a constant supply and that with the implementation it would be possible to reduce 108 537 Tn eq. CO₂ per year. It is also determined that using hybrid heaters of vacuum tubes with heat pipe and LPG that are considered the most efficient in the current situation economically are not profitable due to the subsidy of LPG, but if this subsidy is eliminated the system would be competitive with the heater of passage to gas that is currently the most popular in Ecuador, generating the advantage of reducing environmental pollution.

Keywords: Solar heater, environmental pollution, solar energy, vacuum tubes.

Capítulo 1

Introducción

El desarrollo social y económico, la mejora de la salud y el bienestar de las personas tienen relación directa con la situación energética y los servicios relacionados a esta. Todas las sociedades requieren de servicios energéticos para cubrir necesidades humanas básicas como, limpieza, alumbrado, climatización, cocina, transporte, comunicación entre otras y también la energía es un elemento primordial para los procesos industriales.

Los combustibles fósiles especialmente el carbón, el petróleo y el gas natural han sido la fuente principal para la obtención de energía en todo el mundo y su utilización ha ido en crecimiento hasta convertirse en el suministro de energía predominante; este crecimiento desmesurado favoreció a que la contaminación por emisiones de CO₂ tenga un rápido aumento, y también se incrementen los gases de efecto invernadero responsables en gran medida del calentamiento global del planeta. Para los procesos industriales se ha definido la huella de carbono que es un indicador ambiental que cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero; esto permite trabajar considerando el concepto de eco-eficiencia para identificar oportunidades de reducción de consumo energético, que es la principal fuente de contaminación a nivel mundial (Rodríguez et al., 2014). La eco-eficiencia permite el uso eficaz y sostenible de los recursos naturales, como el agua, el suelo y su biodiversidad o las energías renovables, posibilita menos desperdicio y contaminación y garantiza la existencia de estos recursos para las futuras generaciones.

Con lo antes planteado, aportar a disminuir la contaminación ambiental es tarea de todos. En el Ecuador país latinoamericano que busca sustentabilidad y sostenibilidad es necesario realizar propuestas que favorezcan este propósito, de tal manera que se diversifique la matriz energética, se aporte a la disminución de la huella de carbono, se incluya el concepto de eco-eficiencia y se generen alternativas que permitan utilizar otras fuentes energéticas no contaminantes pero que garanticen eficiencia en los sistemas que utilizan los

habitantes en las labores cotidianas.

En el presente estudio se analiza la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) tomando como lugar de intervención a la ciudad de Cuenca en Ecuador. Se plantea un modelo que permitirá garantizar una integración eficiente de sistemas solares térmicos para este propósito, aplicando los conceptos de eco-eficiencia y provocando la disminución en la huella de carbono generada por esta actividad.

1.1. Situación problemática

El uso de ACS para las labores diarias de los ciudadanos es un elemento indispensable para garantizar salud y confort, especialmente en regiones frías del planeta; para su obtención se requiere de energía que en la mayoría de los casos a nivel mundial proviene de combustibles derivados del petróleo los mismos que aportan de manera significativa a la contaminación interna en las viviendas y externa con un efecto directo sobre el calentamiento global del planeta.

El Ecuador es un país petrolero, en donde su sistema energético está basado en la utilización de combustibles fósiles derivados del petróleo. El Ministerio de Sectores Estratégicos realizó un balance energético del Ecuador que pone en evidencia las fuentes de donde el país obtiene energía en la actualidad y los sectores que la utilizan. Este balance demuestra que el 90 % de fuente de energía en el país sigue siendo el petróleo, mientras que el 4 % corresponde a gas natural y el 3 % a fuentes hídricas. La producción de energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas se considera un aporte fundamental y de acuerdo a la proyección presentada para el año 2016 los 10 proyectos hidroeléctricos en ejecución representarán un aporte anual de energía de 17 200 gigavatios hora (GWh), que equivale al 123 % de la demanda de energía eléctrica que Ecuador registró en el año 2012. Este cambio posibilita un abastecimiento teóricamente seguro de energía eléctrica en el Ecuador, pero es de gran interés la diversificación de la matriz energética utilizando especialmente energías renovables para garantizar sostenibilidad y disminuir los porcentajes de contaminación producidos por la quema de combustibles fósiles. Para favorecer lo antes planteado el gobierno nacional está apoyando la integración de fuentes de energías renovables y ha trabajado en primera instancia en la implementación de pequeños parques eólicos.

En las diferentes ciudades del Ecuador y en especial en Cuenca, declarada patrimonio cultural de la humanidad por la UNESCO en diciembre de 1999

(UNESCO, 1999), para obtener ACS se usa energía eléctrica y gas licuado de petróleo (GLP); esta condición se ve favorecida debido a que tanto el GLP como la energía eléctrica mantienen un subsidio del estado por lo que los costos de utilización de estos sistemas energéticos son bajos, (ARCH, 2017; ARCONEL, 2017); además la ciudadanía en general no considera el uso de sistemas alternativos debido a que estos no presentan garantías de eficiencia y el análisis de costos no proyecta una amortización que sea atractiva para el consumidor final, esto acompañado a que las alternativas de utilización de energías renovables no son conocidas ni difundidas y los sistemas comercializados no están de acuerdo a las necesidades y condiciones locales.

Existe un crecimiento poblacional en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca de aproximadamente el 2% anual (INEC, 2016), lo que indica que el consumo de ACS también se incrementa ya que Cuenca al ser una región de la sierra mantiene un clima frío por lo que, sus habitantes usan de forma habitual agua caliente para sus labores de aseo diario en duchas, lavamanos y cocina. Para obtener el agua caliente el 70% de la población utiliza calefones a base de GLP (Andrade & Ochoa, 2013) lo que indica que la contaminación por la quema de este combustible va en aumento, aportando al cambio climático y a la contaminación atmosférica, el 30% restante utiliza energía eléctrica.

Otro elemento a considerar dentro de la situación problemática es que en el Ecuador no existe una red meteorológica que posea datos fiables de radiación solar por lo que es muy difícil diseñar y calcular de manera eficiente sistemas alternativos para producción de ACS. El atlas solar presentado por CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) en el año 2008 y desarrollado por National Renewable Energy Laboratory - NREL de los Estados Unidos mantiene errores significativos pues en muchos casos no ha considerado la nubosidad de la zona especialmente en la región sierra del país (CONELEC, 2008), esto acompañado de un desconocimiento de la tecnología solar hace que no se pueda dimensionar adecuadamente los sistemas y que los usuarios al no tener garantizado el suministro de agua caliente en sus hogares aumenten las razones para no optar por ellos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo obtener ACS permanente en los domicilios de cantón Cuenca disminuyendo la contaminación ambiental, aplicando la eco-eficiencia para aportar a la disminución de la huella de carbono?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Se contamina el ambiente en el cantón Cuenca cuando se produce ACS?
- b) ¿Cómo se debe monitorear, procesar y analizar los datos de radiación solar que permitan establecer la cantidad de energía útil para aportar a la obtención de ACS en el cantón Cuenca?
- c) La eficiencia de los colectores solares de tubos de vacío calculada con el análisis de transferencia de calor correspondiente es igual a la que se obtiene de los mismos cuando están emplazados en el lugar de aplicación?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

La integración de sistemas fundamentados en energía solar térmica no está considerada dentro de la planificación energética de las ciudades del Ecuador, esto debido a que no se tienen datos confiables del recurso solar y no existen parámetros definidos de la tecnología actual que permitan implementar sistemas con la confiabilidad requerida por los usuarios. Con el desarrollo del proyecto se pretende elaborar un modelo que permita definir si es conveniente o no implementar un sistema solar térmico eficiente para producción de ACS o sistemas híbridos que garanticen las condiciones de confort requeridas por los usuarios, y además determinar la disminución de emisiones de CO₂ en el ambiente que contribuyen a la huella de carbono; esto se convertiría en un aporte importante ya que no existen estudios similares en el país.

El problema de la contaminación ambiental que se presenta por la presencia de gases producidos por la quema de combustibles fósiles al interior y exterior de las viviendas es un mal que aqueja a toda la humanidad, el hecho de contribuir a disminuir los mismos es un aspecto que tiene que ser considerado importante por todos aquellos que buscan un futuro mejor y quieren aportar a la sostenibilidad del planeta. Lo que se pretende con la investigación es que los habitantes del cantón Cuenca estén convencidos de utilizar energía solar para obtener ACS con la garantía de que el sistema que implementen no tenga problemas de provisión y de temperatura en el agua.

Los beneficiarios directos serán los pobladores de la región en estudio que de acuerdo al último censo realizado en el año 2010 en el cantón Cuenca son

505 585 habitantes (INEC, 2010), pues se favorecería el buen vivir y el cuidado de la salud, además, órganos gubernamentales como el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) dispondrían de un proyecto piloto para analizar la eficiencia de integración de la energía solar térmica en la matriz energética del país; otro beneficiario a considerar sería el Consejo Cantonal de Cuenca ya que con este análisis podrían establecer ordenanzas que garanticen la integración de este tipo de sistemas en construcciones futuras.

1.3.2. Justificación práctica

El estudio práctico proyectado con la implementación de una red meteorológica para la toma de datos de radiación solar y el emplazamiento de calentadores solares tipo, en viviendas para su parametrización, permite fundamentar de manera consistente la integración en la matriz energética este tipo de energía alternativa.

La red de estaciones meteorológicas a implementar realizará la medición de 8 variables que aportarán con datos que servirán para crear modelos y predecir con menos incertidumbre las condiciones meteorológicas de la región. Los calentadores emplazados en las viviendas permiten a los usuarios identificar la capacidad de los mismos y la facilidad de integración de estos sistemas con una integración arquitectónica de bajo impacto.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Integrar sistemas solares térmicos eficientes en el cantón Cuenca para obtener ACS permanente disminuyendo la contaminación ambiental.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Identificar la situación actual del consumo y demanda de ACS en el cantón Cuenca, los métodos que se utilizan para su obtención y la repercusión que tiene en la contaminación ambiental.
- b) Monitorear, procesar y analizar los datos de radiación solar para determinar la cantidad de energía útil para obtener ACS en el cantón Cuenca.
- c) Analizar la eficiencia del colector de tubos de vacío evacuado simple y del colector de tubos de vacío con tubo de calor para establecer parámetros eficientes de cálculo y disminuir errores en la determinación de la energía útil que produce el colector.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Marco filosófico de la investigación

El uso de la energía solar térmica tiene sus inicios en el siglo III antes de Cristo; uno de los filósofos que tiene gran trascendencia hasta nuestros tiempos es Arquímedes quien nació en Siracusa - Sicilia, (287–212 a. C.): se le considera un genio excéntrico y muchos de sus inventos en la actualidad son el fundamento de muchos desarrollos científicos y tecnológicos. Hijo de astrónomo, desde joven se interesó por el estudio de los cielos y especialmente al sol como un astro que presenta características impresionantes; se dice que consiguió quemar las naves romanas que asediaban a Siracusa en el año 212 a. C. concentrando sobre ellas los rayos solares mediante brillantes reflectores (Alzugaray, 1999).

En la segunda mitad del siglo XVI (1564 – 1630) Galileo Galilei quien fundamenta su actuar con una frase muy significativa. “Me parece que aquellos que sólo se basan en argumentos de autoridad para mantener sus afirmaciones, sin buscar razones que las apoyen, actúan en forma absurda. Desearía poder cuestionar libremente y responder libremente sin adulaciones. Así se comporta aquel que persigue la verdad”; En sus investigaciones realiza de manera consciente la unión de la hipótesis y de la experiencia, de una hipótesis deduce matemáticamente consecuencias que deberá controlar finalmente con la experimentación. Siempre recurre a la naturaleza para confirmar sus conclusiones deducidas previamente de un razonamiento a partir de hipótesis puramente teóricas, es el inicio del método científico de investigación que en la actualidad da soporte al desarrollo de la ciencia y la tecnología. En 1610, buscando demostrar la configuración de los astros desarrolló el telescopio, utilizando vidrios ahumados al principio y usando después el método de proyección; luego de mucho tiempo de observación realizó la siguiente afirmación:

“Repetidas observaciones me han convencido de que estas manchas son sustancias en la superficie del sol, en la que se producen continuamente y en la que también se disuelven una más pronto y otras más tarde”; con este instrumento realizó descubrimientos como el de las manchas solares que servirían para posteriormente identificar la temperatura del sol y cuantificar la energía que este tiene (Lévy, 2003).

En este mismo siglo otro astrónomo y filósofo muy influyente es Johannes Kepler (1571 – 1630) quien con el descubrimiento de los movimientos planetarios define las llamadas leyes de Kepler; según la primera ley los planetas giran en orbitas elípticas con el sol en un foco, la segunda afirma que una línea imaginaria desde el sol a un planeta recorre áreas iguales de una elipse durante intervalos iguales de tiempo; también realizó aportaciones en el campo de la óptica, enunció una primera aproximación satisfactoria de la ley de la refracción y analizó el aspecto geométrico de diversos sistemas ópticos; estos elementos son de gran importancia para el análisis de la energía del sol que llega a la tierra (Álvarez, 2008).

En el siglo XVII Isaac Newton (1642 – 1727) realizó descubrimientos fundamentales en el campo de las matemáticas; la óptica también fue del interés de Newton, llegó a la conclusión de que la luz del Sol es una mezcla heterogénea de rayos diferentes representando cada uno de ellos un color distinto y que las reflexiones y refracciones hacen que los colores aparezcan al separar la mezcla en sus componentes. Demostró su teoría de los colores haciendo pasar un rayo de luz solar a través de un prisma, el cual dividió el rayo de luz en colores independientes. En el año 1672 envió una breve exposición de su teoría de los colores a la Sociedad Real de Londres. Los aportes generados por este filósofo sustentan todo el análisis de transferencia de calor que da soporte al desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de la energía solar (Pérez Tamayo, 2012).

Las condiciones actuales del uso de la energía solar requieren datos ciertos tanto de la realidad de los usuarios como de parámetros meteorológicos los mismos que deben ser medidos y analizados para tener la certeza de su valor y poder utilizarlos con fines energéticos; en este contexto tomando lo que manifestó Descartes (1596 – 1650) “En nuestra búsqueda del camino directo a la verdad, no deberíamos ocuparnos de objetos de los que no podamos lograr una certidumbre similar a las de las demostraciones de la aritmética y la geometría”, se requiere de implementar procedimientos que garanticen confiabilidad de los datos medidos para dar confiabilidad a los modelos propuestos. Descartes (1637) en su texto “El Discurso del Método” escribe en la Segunda Parte: “. . . en lugar del gran número de preceptos que encierra la lógica,

creí que me bastaría los cuatro siguientes, supuesto que tomase una firme y constante resolución de no dejar de observarlos una vez siquiera; el primero, no admitir como verdadera cosa alguna como no supiese con evidencia que lo es; es decir, evitar cuidadosamente la precipitación y la prevención, y no comprender en mis juicios nada más que lo que se presentase una clara y distintamente a mi espíritu, que no hubiese ninguna ocasión de ponerlo en duda; el segundo, dividir cada una de las dificultades que examinare en cuantas partes fuere posible y en cuantas requiera su mejor solución; el tercero, conducir ordenadamente mi pensamientos empezando por los objetos más simples y más fáciles de conocer, para ir ascendiendo poco a poco, gradualmente, hasta el conocimiento de los más compuestos, e incluso suponiendo un orden entre los que se proceden naturalmente; y el último, hacer en todos unos recuentos tan integrales y unas revisiones tan generales, que llegase a estar seguro de no omitir nada” (Tarrío, 2016).

El método utilizado en la investigación es cuasi-experimental y se sustenta en el método científico; uno de los representantes de gran relevancia de este método es Claude Bernard (1813 – 1878) sostiene, entre otros, que la observación es la constatación pura y simple de los fenómenos naturales tal como se presenta a los sentidos, mientras que la experimentación es la constatación de los fenómenos creados por el experimentador, (Houssay, 1941).

Bernard en su obra: *Introducción al Estudio de la Medicina Experimental* manifiesta: “El hombre no puede observar los fenómenos que le rodean más que en límites muy restringidos; la mayoría escapa naturalmente a sus sentidos, y la observación simple no le basta. Para extender sus conocimientos ha debido amplificar, con ayuda de aparatos especiales, el poder de esos órganos, al mismo tiempo que se ha armado de instrumentos diversos que le han servido para penetrar en el interior de los cuerpos, para descomponerlos y para estudiar sus partes ocultas. Hay que establecer así una gradación necesaria entre los diversos procedimientos de investigación o de búsqueda, que pueden ser simples o complejos: los primeros se dirigen a los objetos más fáciles de examinar y para los cuales bastan nuestros sentidos; los segundos, con ayuda de medios variados, vuelven accesibles a nuestra observación objetos o fenómenos que sin ellos permanecerían siempre desconocidos para nosotros, porque en el estado natural están fuera de nuestro alcance. La investigación, sea simple, sea armada y perfeccionada, está, pues, destinada a hacernos descubrir y comprobar los fenómenos más o menos ocultos que nos rodean”. Considera entonces que la observación muestra y la experiencia instruye; la observación puede ser de dos tipos, activa y pasiva. La activa no tiene relación directa con el medio es una observación simple de lo que sucede en

cambio la activa considera las condiciones externas al objeto de estudio y establece la relación de estas con lo que le sucede; para la experiencia realiza la misma clasificación y considera a la experimentación pasiva aquella en la que el investigador constata fenómenos que ha provocado artificialmente y en la activa considera los efectos que, aunque no fueron planificados sucedieron (Bernard, 2005). Para Bernard en el razonamiento experimental se trata de partir de una observación para llegar a una experimentación, de manera que la observación y la experiencia constituyan los dos extremos del razonamiento experimental. La idea a priori o hipótesis que es lo que controla el experimento por lo que es necesario determinar muy bien la idea experimental. La investigación científica puede tener varios puntos de partida; puede ser una observación, una hipótesis o una teoría.

El método experimental, en cuanto al método científico, descansa por entero sobre la verificación experimental de una hipótesis científica. Lo presentado por Bernard es el punto de partida en la investigación planteada en este documento, ya que es necesario utilizar métodos de medición de variables con instrumentos específicos desarrollados para este fin, analizarlos y posteriormente contrastarlos con modelos matemáticos; además es necesario establecer hipótesis y demostrarlas de forma crítica; en este caso en particular la ciudad de Cuenca se encuentra en la República del Ecuador y por encontrarse muy cercana a la línea ecuatorial se podría decir que la radiación solar incidente es alta por lo tanto utilizar sistemas para producir ACS en base a energía solar sería factible y eficiente, pero considerando las variable meteorológicas de cada sector es necesario realizar pruebas correspondientes para verificar las hipótesis generadas, en este contexto: “la adopción consciente del método crítico resulta ser el principal instrumento del crecimiento”; “el método crítico aunque debe usar contrastaciones siempre que sea posible, y preferiblemente las contrastaciones prácticas puede ser generalizado en lo que yo escribí como la actitud crítica o racional, esta actitud crítica de razonabilidad debería ser extendida lo más lejos posible” (Popper, 1980).

El método científico de Popper considera la formulación de ideas innovadoras y estas someterlas a las más razonables, rigurosas y eficaces refutaciones posibles; determina el método ensayo y error que consiste en proponer hipótesis audaces y exponerlas a las más severas críticas para tratar de determinar una equivocación si esta existiera.

En este mismo contexto otro filósofo actual que ha generado grandes aportes en el método científico es Mario Bunge, interesado principalmente por la lógica de la ciencia y los problemas del conocimiento científico, trata de estructurar una filosofía científica que considera el conocimiento elaborado por

la ciencia y también el método utilizado por quienes la practican, entendiendo que este último es un proceso que no está exclusivamente supeditado ni a la experiencia ni a la teoría. El análisis formal del desarrollo de la investigación científica tiene trascendental importancia para este autor y no considera aspectos históricos, psicológicos y sociales presentados por Thomas S. Khun y otros autores. Bunge (2006) en su libro, *A la casa de la Realidad*, manifiesta: “Los científicos y tecnólogos se proponen descubrir cómo funcionan las cosas, vale decir cuáles son sus mecanismos o modo operandi” además indica que “sin ley no hay mecanismo posible y sin mecanismo no hay explicación”, este análisis aporta de manera significativa al desarrollo del presente trabajo ya que los procesos a realizar se fundamentan en las leyes de la física y la termodinámica y utilizando la tecnología, es decir, los mecanismos que deben ser adecuados se pueden explicar las hipótesis planteadas y determinar si son verdaderas o falsas.

Una tecnología eficiente se fundamenta en hipótesis de mecanismos bien confirmadas, para esto se requieren procesos que son parte de un sistema concreto al que denomina materialismo sistémico; al sistema lo denomina como un objeto complejo cuyas partes o componentes se mantienen unidos por medio de vínculos de algún tipo ya sean estos lógicos o materiales; este criterio se aplica en la investigación ya que para el análisis se considera todos los componentes como un sistema y las relaciones de todos los componentes dentro de una estructura determinada; es decir que para establecer la factibilidad de producir ACS se considera todos los elementos en un sistema, desde la cantidad de radiación solar, las variables meteorológicas que interfieren con las pérdidas de calor, el tipo de calentador solar, las condiciones de los elementos complementarios de la instalación, la cantidad y tipo de fluido con sus características y la disminución de la contaminación ambiental que se provoca; la interacción entre estos elementos generan un mecanismo que tiene un funcionamiento particular y que después de probarlos se puede modelar para generalizar un proceso que se puede aplicar en distintas condiciones partiendo de parámetros establecidos.

Bunge también plantea que es necesario explicar el comportamiento de un sistema fundamentándose en los mecanismos para comprender adecuadamente las cosas. Los puentes que se generan entre la teoría y el hecho se pueden describir como el Método Hipotético deductivo en donde en primer lugar se deducen las consecuencias observables de la teoría, luego se obtienen datos empíricos, estos se confrontan con predicciones y finalmente se evalúa la teoría, indica que contiene una importante parte de verdad pero que también es gravemente defectuoso puesto que las teorías no implican ob-

servaciones así sin más, y en consecuencia, no pueden ser contrastados de modo directo con los datos empíricos pertinentes.

El autor manifiesta que el procedimiento real de puesta a prueba de una teoría es la secuencia que se presenta a continuación:

1. Teoría general & Hipótesis subsidiarias → Modelo teórico.
2. Modelo teórico & Indicador (es) → Predicción (es) contrastable (es).
3. Nuevos datos empíricos obtenidos mediante observación o experimento.
4. Confrontación de las predicciones con los hallazgos empíricos.
5. Evaluación del modelo teórico.

Gráficamente lo presenta de la siguiente manera (Figura 2.1):

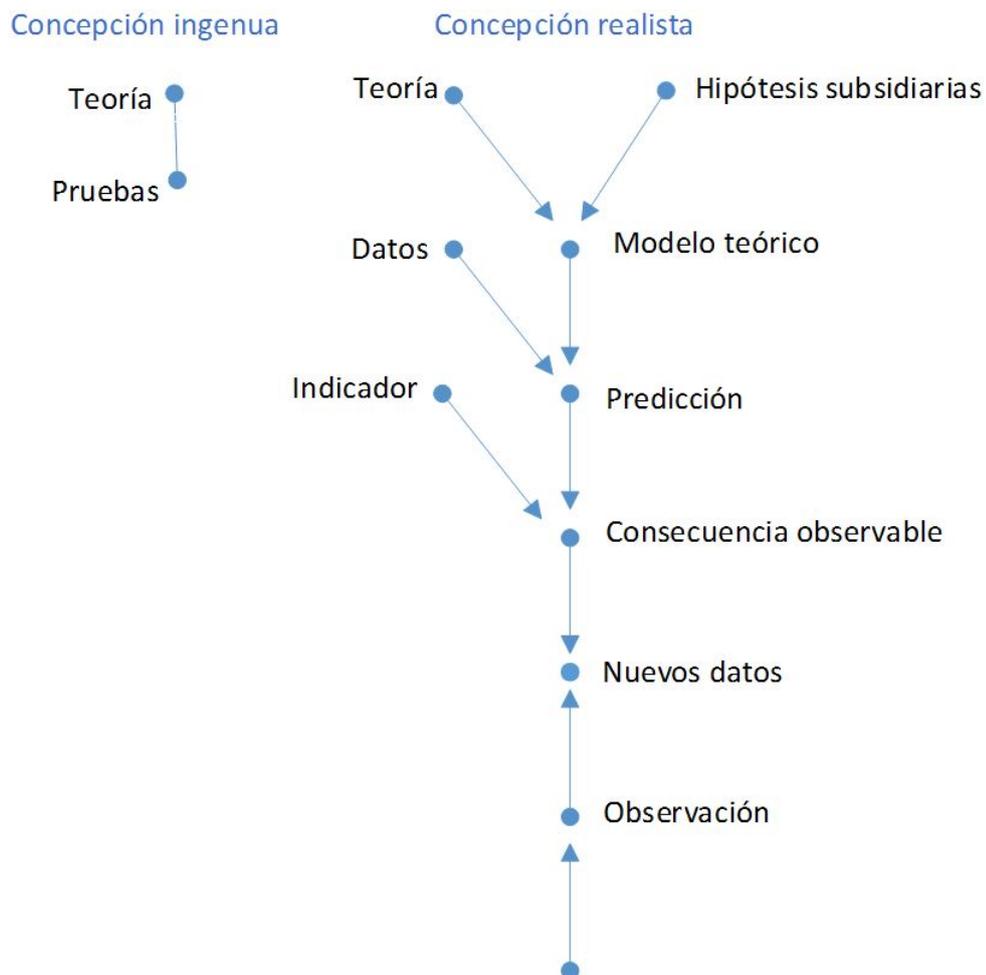


Figura 2.1: Dos descripciones de la confrontación de una teoría con un hecho (Bunge, 2006).

2.2. Antecedentes del problema.

Desde el año 1970 la preocupación por el medio ambiente ha sido especialmente intensa, generando una serie de actuaciones, conferencias y acuerdos a nivel internacional que entre sus puntos fundamentales esta la disminución de la producción de CO₂ y los gases de efecto invernadero, pero los resultados de las mismas han recaído en buenas intenciones y no se han conseguido acciones eficientes que favorezcan este propósito a gran escala (Lombardero, 2008).

La tecnología para aprovechamiento de energías renovables ha experimentado un incremento, siendo cada vez más fiable y con un alto rendimiento, lo que ha llevado a que su producción, comercialización e implementación aumente constantemente tanto para uso doméstico como para la industria.

En la década de los 70 se empezó a utilizar la energía solar como una de las principales opciones para el uso en beneficio de las personas, países como Estados Unidos, Francia, Alemania, España, presentan gran atención al uso de la energía solar con fines térmicos y fotovoltaicos e introducen importantes porcentajes de generación energética mediante esta fuente.

Para el año 2016 el 94 % de los sistemas térmicos solares instalados en el mundo se utilizan para obtener agua caliente. Hasta el año 2008, en la Unión Europea se instalaron 4 609 764 m² de colectores solares térmicos, como se muestra en la Figura 2.2. Este crecimiento se explica por la crisis energética que enfrentó Europa y por la voluntad política de algunos países para desarrollar el sector. Desde ese año hasta el 2017 se nota un decremento en este tipo de instalaciones, debido a la vida útil de los calentadores y a los costos de desmantelamiento especialmente de centrales solares térmicas de alta temperatura y a la baja especialmente desde el año 2015 en los precios del petróleo (Eurobserv'ER, 2017).



Figura 2.2: Colectores solares térmicos instalados en la Unión Europea (m²) (Eurobserv'ER, 2017).

En la Figura 2.3 se muestra que un 94 % los colectores planos con cubierta representan la componente principal de la energía solar térmica del mercado europeo, los colectores de tubos de vacío representan el 5 %, mientras que los colectores sin cubierta, sólo poseen el 1 % del mercado.

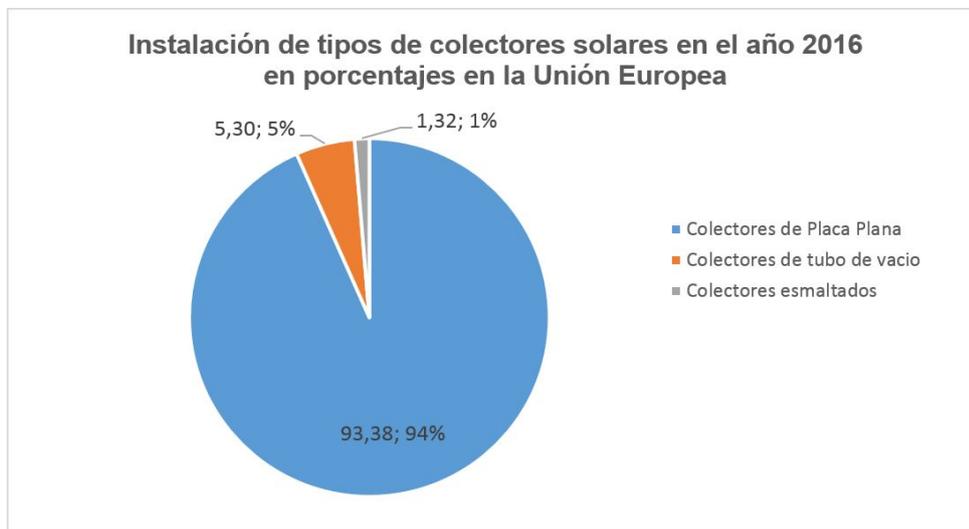


Figura 2.3: Porcentajes de uso de los tipos de colectores en la Unión Europea (Eurobserv'ER, 2017).

Los Países con mayor aporte en energía solar térmica en la Unión Europea en el año 2016 son Alemania, Dinamarca, Grecia, España e Italia como se puede observar en la Tabla 2.1, en estos países se pueden identificar políticas fiscales que favorecen dicha implementación; por ejemplo, el gobierno alemán subvenciona aproximadamente el 15 % de la instalación, en este país aproximadamente un 5 % de la población utiliza energía solar térmica, otro país a considerar es Francia en donde la simplicidad del sistema de crédito fiscal francés, les permite a los particulares recuperar el 50 % del precio del equipo por su simple declaración; también en España con la introducción de la legislación para la construcción con obligaciones solares favorece el uso de la energía solar térmica en la península ibérica (Eurobserv'ER, 2017).

El mercado de calentadores de agua de los Estados Unidos ha estado saturado durante muchos años, es decir, todas las casas han tenido un calentador de agua instalado y funcionando, por lo tanto está dominado por las ventas de reemplazo que ocurren cuando los calentadores de agua existentes fallan y una contribución mucho menos importante de nueva construcción.

El consumo per cápita de agua caliente es mucho más alto en los Estados Unidos que en otras economías, lo que refleja un nivel promedio de afluencia sustancialmente más alto y la disponibilidad prolongada de agua caliente en los hogares.

Tabla 2.1: Instalación de colectores solares en la Unión Europea al año 2016 (Eurobserv'ER, 2017).

País	Colectores de placa plana	Colectores de tubo de vacío	Colectores esmaltados	Total (m ²)	Potencia equivalente (MWtr)
Alemania	677 000	67 000	22 000	766 000	536,2
Dinamarca	500 000			500 000	350
Grecia	270 000			270 000	189
España	201 793	7 076	3 321	212 190	148,5
Italia	210 000			210 000	147
Francia	112 982		5 500	118 482	82,9
Polonia	111 700	3 700		115 400	80,8
Austria	109 600	1 440	760	111 800	78,3
Portugal	54 000	1 000		55 000	38,5
Bélgica	39 000	7 500		46 500	32,6
República Checa	22 000	9 000	n.a.	31 000	21,7
Holanda	20 137	5 179	2 621	27 937	19,6
Croacia*	19 000	2 500		21 500	15,1
Irlanda	11 204	8 564		19 768	13,8
Hungría	13 050	5 592	188	18 830	13,2
Chipre	18 000	600		18 600	13
Rumania*	6 800	11 000		17 800	12,5
Reino Unido	9 100	2 509		11 609	8,1
Eslovaquia	6 000			6 000	4,2
Bulgaria	5 100	500		5 600	3,9
Finlandia*	3 000	1 000		4 000	2,8
Luxemburgo	3 759			3 759	2,6
Suecia	2 763	336	75	3 174	2,2
Eslovenia*	2 200	600		2 800	2
Lituania*	800	1 400		2 200	1,5
Estonia*	1 000	1 000		2 000	1,4
Letonia*	1 580	330		1 910	1,3
Malta*	614	154		768	0,5
Total EU 28	2 432 182	137 980	34 465	2 604 627	1 823,2

* No hay datos disponibles, estimación basada en datos de ESTIF 2015

** Estimación (última información disponible a finales de mayo de 2017)

*** Incluyendo 47 082 m² en el extranjero

Las tecnologías dominantes son calentadores de agua de almacenamiento a gas (GSWH) y calentadores de agua de almacenamiento eléctrico (HPWHs). Los calentadores de agua instantáneos de gas también están aumentando su cuota de mercado, de igual manera los calentadores solares han aumentado su demanda en menor proporción. En la Figura 2.4 se muestran las ventas estimadas de calentadores de agua por tipo en los Estados Unidos durante los últimos años (Waide et al., 2015).

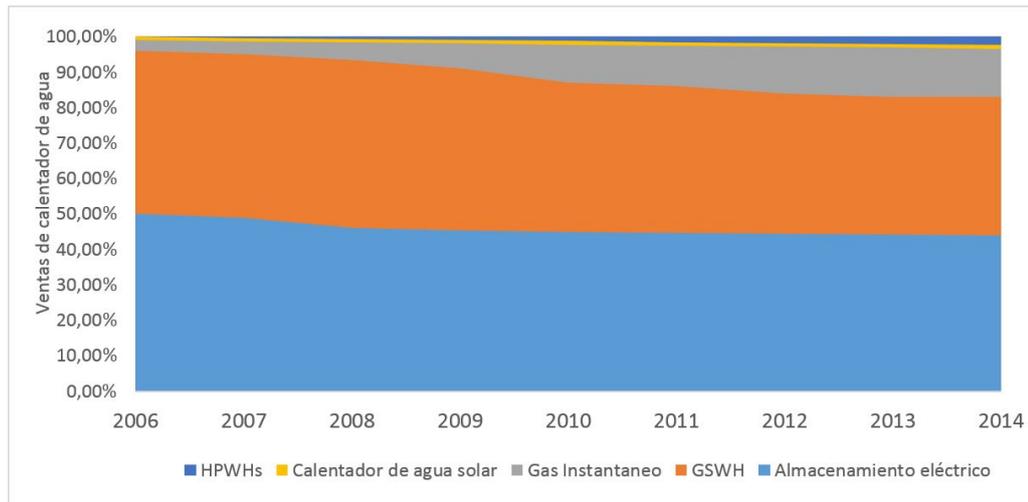


Figura 2.4: Ventas estimadas de calentadores de agua en USA (Waide et al., 2015).

Los calentadores de agua solares toman una proporción insignificante de ventas en los EEUU y el mercado del calentador solar de agua es mucho menos desarrollado que en China o la India. De hecho, si bien la energía solar fotovoltaica se ha despegado en gran parte de los EEUU esto no ha sido acompañado por un aumento comparable en el despliegue de tecnologías de calor renovable y el calentador solar de agua es más probable que se utilice para calefacción de piscinas privadas que para calefacción doméstica ACS; hay varios factores que sustentan esto, y que se mencionan a continuación:

- El calentamiento solar de agua adquirió una mala reputación en los años setenta y ochenta debido a los planes públicos de promoción que no tomaron suficientes esfuerzos para bloquear la calidad y que condujeron a experiencias de usuario con la pobre tecnología de ese momento. La parte de la industria que sobrevivió a la subsiguiente caída de la demanda ha hecho desde entonces grandes esfuerzos para promover la calidad del producto y de la instalación. El daño a la reputación requiere de esfuerzo y tiempo considerable para superar.
- Energía comercial comparativamente barata incluyendo precios bajos de gas y electricidad en muchas partes del país que han tomado presión sobre las consideraciones de costos del ciclo de vida.
- Presencia de consumo relativamente alta, lo que significa que los consumidores pueden darse el lujo de preocuparse menos por los esfuerzos para reducir al mínimo las facturas de energía que en las economías menos favorecidas.

- Falta de visibilidad de la eficiencia energética relativa de las tecnologías de calentadores de agua a través de la tecnología y los tipos de energía, lo que tiende a favorecer las tecnologías baratas de adquirir, pero caras de operar.
- Industrias de pequeña escala y relativamente poco competitivas que suministran calentadores de agua solares térmicos.
- La expectativa de los consumidores de que el agua caliente debe estar disponible a una temperatura designada bajo demanda durante todo el año y por lo tanto no hay mercado para sistemas de calentadores de agua solares que no tienen sistemas de calefacción de respaldo.

En términos generales se podría decir que los sistemas solares térmicos para producción de ACS en los EEUU han incrementado su cuota de mercado, pero en valores muy bajos este debido a varios factores; en varios estados como California, Hawaii, Texas y Minnesota, la energía solar térmica ya tiene un precio muy similar a las fuentes de energía convencionales como la quema de carbón y el uso de gas licuado de petróleo; pero la población en general no considera la contaminación generada por los sistemas convencionales a base de combustibles fósiles por lo tanto la importancia ecológica que tienen estos sistemas no está considerada (Waide et al., 2015).

En China el mercado está dominado por calentadores de agua solares y calentadores de agua eléctricos de almacenamiento, pero también incluye calentadores de agua instantáneos de gas, calentadores de agua instantáneos eléctricos y en un grado mucho menor calentadores de agua combinados. La capacidad media de los calentadores eléctricos de agua de almacenamiento es de unos 63 litros, lo que significa que son lo suficientemente grandes para proporcionar cerca de tres duchas al mismo tiempo.

El calentador de agua solar más común es el tipo de tubo evacuado o de vacío y tiene una capacidad de almacenamiento de 100 a 116 litros. Por lo general se venden con 2 metros cuadrados de colector por calentador de agua. Los calentadores de agua instantáneos de gas son operados predominantemente con gas natural pero también pueden usar GLP en ubicaciones fuera de la red. Grandes calentadores de agua de almacenamiento de gas son poco comunes en el mercado chino, pero las calderas de combinación de gas están ganando cuota de mercado e indican que una proporción de los hogares chinos en climas más fríos servido por las redes de gas natural están comenzando a adoptar el estilo europeo combinación de agua y calefacción.

Esto es probable que sea más frecuente a medida que aumenta la riqueza y una mayor proporción de hogares están conectados a la red de gas. Los

calentadores de agua con bomba de calor también han ganado un pie en el mercado chino y alcanzaron 1.5% de ventas en 2013, en parte con la ayuda de subsidios. La capacidad media de almacenamiento de estos es de 108 litros (Waide et al., 2015).

En la Figura 2.5 se muestran las ventas estimadas de calentadores de agua por tipo en China durante los últimos años.

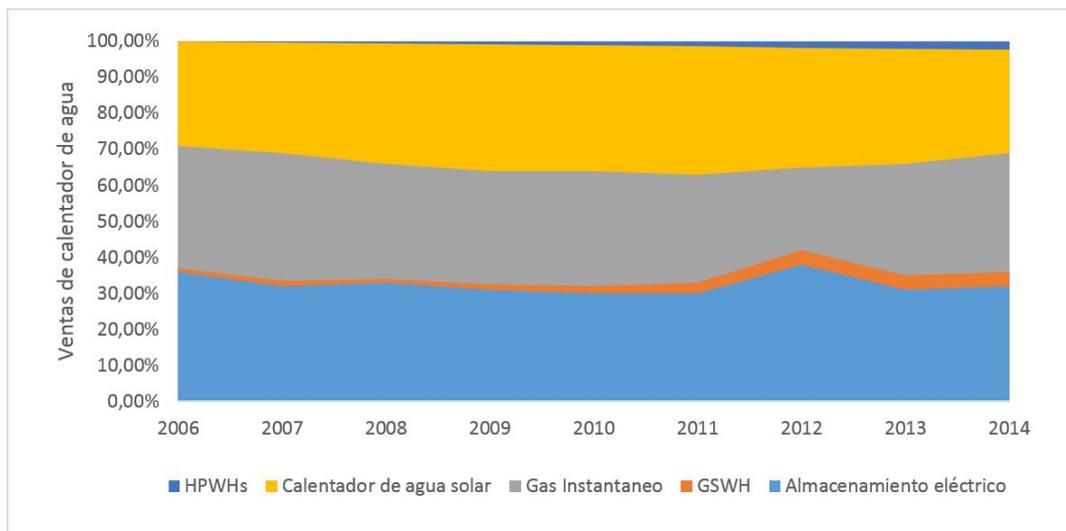


Figura 2.5: Ventas estimadas de calentadores de agua en China (Waide et al., 2015).

China es un vasto país con grandes variaciones climáticas por región que afecta la demanda de energía del calentador de agua, entre otras cosas a través de la variación en las temperaturas promedio anuales de entrada de agua y el rendimiento energético de los calentadores de agua alimentados con energía renovable, es por esto que han tomado una importante cuota de mercado los calentadores híbridos con energía solar – gas y energía solar, resistencia eléctrica (Waide et al., 2015).

En la India el mercado está dominado por calentadores de agua de almacenamiento eléctrico. También incluye calentadores de agua instantáneos de gas, calentadores de agua instantáneos eléctricos y calentadores solares de agua. Los calentadores de agua con bomba de calor están disponibles en la India, pero sólo en capacidades relativamente grandes, por ejemplo, de 100 a 200 litros de tamaño y los volúmenes de ventas se cree que son muy bajos. En la Figura 2.6 se muestran las ventas estimadas de calentadores de agua por tipo en la India durante los últimos años (Waide et al., 2015).

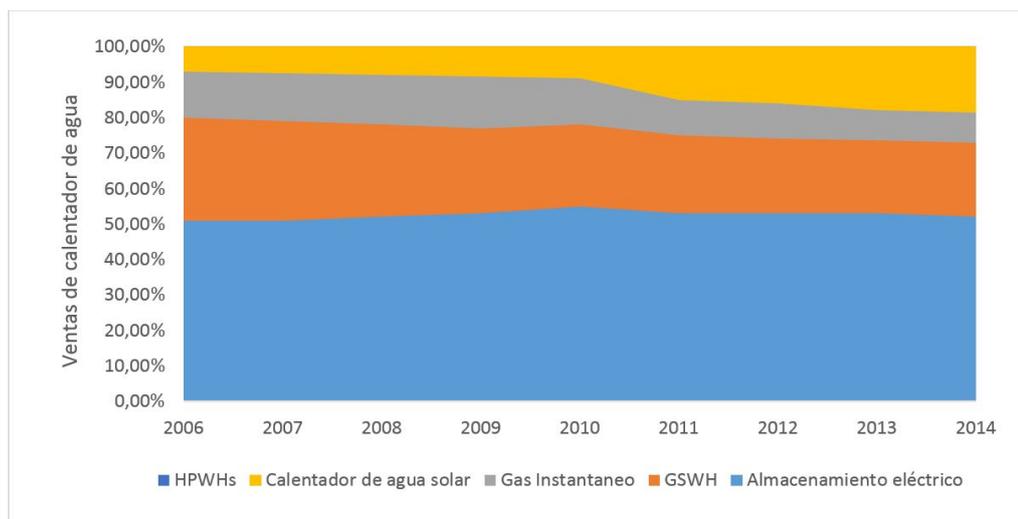


Figura 2.6: Ventas estimadas de calentadores de agua en India (Waide et al., 2015).

Tradicionalmente, la mayor parte de la calefacción de agua doméstica en la India ha sido a través de biomasa y no implicó el uso de calentadores de agua dedicados. Esto no es tan viable en entornos urbanos y la creciente urbanización ha visto el desarrollo de un mercado comercial de calentadores de agua durante muchas décadas. En las comunidades rurales con acceso a la electricidad, el tipo más común de calentamiento de agua es a través de pequeños dispositivos de calentamiento de agua por inmersión eléctrica portátil. En general, los niveles de uso de los calentadores de agua son mucho mayores en los hogares urbanos que en los hogares rurales y, por lo tanto, la creciente urbanización es el principal impulsor del crecimiento de las ventas de calentadores de agua. En un contexto de creciente población, la proporción total de habitantes que vive en los centros urbanos aumentó del 27,8% en 2001 al 31,2% en 2011. Además, hay un número creciente de núcleos familiares que viven en edificios de gran altura con múltiples baños en las zonas urbanas y, por lo tanto, la multiplicación de los espacios de salida de agua caliente también está impulsando la demanda. Este factor sumado a la presencia de radiación solar permite proveer un mercado interesante pues como se muestra en la Figura 2.6 existe un incremento considerable de este tipo de tecnología (Waide et al., 2015).

En América Latina la energía solar térmica tiene un amplio potencial que todavía no ha sido explotado; los apoyos fiscales en los pocos casos que existen son incipientes y en la mayoría de países no se dan. Los incentivos para obtener ACS con energía solar no están presentes y únicamente Brasil y Uruguay tienen programas con fondos fiscales para financiamientos con energía solar térmica (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Financiación pública para energías renovables en América Latina (IRENA, 2015)

País	Sector	Entidad/Fondo
Argentina	Electricidad	Fondo de energías renovables de Misiones (subnacional)
	Biocombustibles	Fondo de energías renovables de Misiones (subnacional)
Brasil	Electricidad	Banco Nacional de Desarrollo (BNDES) de Brasil; Fondo de Desarrollo Energético (CDE); Inova Energia
	Biocombustibles	BNDES; PRORENOVA
	Usos Térmicos	BNDES; PROESCO
	Acceso a la energía	BNDES; RGR; CDC
Chile	Electricidad	Soporte para el desarrollo de energías renovables no convencionales
	Acceso a la energía	Fondo de acceso a la energía
Colombia	Electricidad	FENOGE
	Biocombustibles	Fondo Capital Riesgo
	Acceso a la energía	FAZNI
Ecuador	Electricidad	FEISEH (finalizado)
	Acceso a la energía	FERUM
El Salvador	Acceso a la energía	FINET
Guatemala	Acceso a la energía	Fondo del Plan de Electrificación Rural
Guyana	Electricidad	Fondo de Inversión para REDD+ de Guyana (GRIF)
	Acceso a la energía	
Honduras	Electricidad	Fondo de la ley de incentivos para renovables; Fondo de preinversión de hidroeléctricas (caducado)
México	Electricidad	Fondo para el uso de electricidad sostenible y transición de la energía;
		Fondo de sostenibilidad de la energía; Fondo mexicano del petróleo
Nicaragua	Electricidad	Fondo de Desarrollo de la Inversión Energética
	Acceso a la energía	Fondo para el Desarrollo de la Industria Eléctrica (FODIEN)
Paraguay	Biocombustibles	Fondo del biodiésel
Perú	Acceso a la energía	Fondo para la Electrificación Rural (FONER)
Uruguay	Usos Térmicos	Banco Hipotecario del Uruguay (BHU)

Se han identificado mandatos solares nacionales; en Uruguay y Panamá se ha creado legislación para favorecer el uso de la energía solar a nivel nacional, y mandatos subnacionales en México y Brasil, vinculados estos últimos a los programas de viviendas sociales. Costa Rica y Uruguay han estipulado que los usuarios comerciales lleven a cabo una planificación energética que contemple el uso de energías renovables. Chile, México y Uruguay apoyan directamente la energía solar térmica. En Uruguay existe un subsidio del 50 % a través de una tasa de descuento de la electricidad. En México existen subsidios parciales para colectores solares a disposición de los titulares de hipotecas de un programa de viviendas sociales. En Chile existen subsidios para calentadores solares de agua en la reconstrucción de las zonas afectadas por

desastres, así como en viviendas sociales. Panamá proporciona incentivos para secado y calentamiento solar del agua.

Los incentivos fiscales incluyen exenciones de impuestos para los calentadores solares de agua a nivel nacional, como en Chile, Costa Rica, Uruguay y Guyana, y a nivel subnacional, como en los estados de Belo Horizonte y São Paulo en Brasil y en Ciudad de México. Panamá también ofrece una depreciación acelerada (IRENA, 2015).

En el Perú se estima que hay entre 25 000 y 30 000 termas solares (equipos solares para ACS), instaladas en Arequipa, Ayacucho, Lima, Puno y Tacna entre otros. Existen alrededor de 20 fabricantes y en el 2006 se constituyó la “Asociación de Empresas Peruanas de Energía Solar” (AEPES) que producen mensualmente alrededor de 600 m² de colectores solares para termas solares.

Un desarrollo interesante se puede observar en Cuba desde la década del 80; en el país se fabrican calentadores solares de diferentes capacidades, especialmente diseñados para escuelas, hospitales, círculos infantiles, hogares de ancianos, y otros sitios de interés social. Los colectores de fabricación nacional son muy sencillos, eficientes para el clima tropical y de bajo costo. Más recientemente se ha incrementado el uso de estos sistemas solares en instalaciones hoteleras.

En muchos países de Latinoamérica se han desarrollado estudios para determinar la factibilidad de implementación de sistemas solares térmicos para obtener ACS y sobre todo identificar la disminución de la contaminación ambiental generada por emisiones de CO₂ de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles como GLP; por ejemplo Lanelli & Prieto (2016) realizaron el estudio para Argentina, considerando la radiación solar medida y la tecnología existente para este propósito, caracterizaron la producción de agua caliente y determinaron el porcentaje de disminución de CO₂ que para este caso en particular puede alcanzar hasta un 50 % de ahorro, que significaría 0,7 m³/día de ahorro de gas y utilizando sistemas híbridos eficientes clase A el ahorro por usuario podría llegar hasta el 1,4 m³/día es decir el 90 %, esta tecnología podría aportar un ahorro de Gas de orden de unos 10 millones de m³/día, equivalente a 1/3 de las importaciones de gas (Lanelli & Prieto, 2016).

Otro caso interesante es el estudio que se realiza en Chile para desarrollar una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas, para este caso en particular se define que solo los sistemas de ACS y calentamiento, ventilación y aire acondicionado (HVAC) usan entre el 55 % y el 70 % de la energía que consume la vivienda. Dentro de los parámetros que

define las certificaciones energéticas, las emisiones contaminantes de CO₂ tienen un papel crucial en este proceso (Figura 2.7), y para poder disminuirlas se da a conocer que Chile presenta condiciones climáticas que pueden hacer prescindir del uso de energía en viviendas para calefacción en invierno y para ACS con la ayuda de estrategias de calentamiento solar pasivo (Hernández & Meza, 2011).

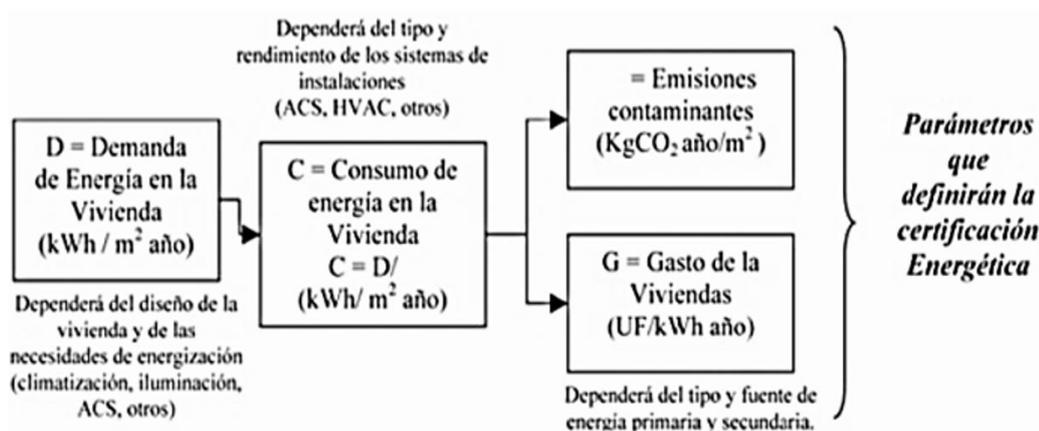


Figura 2.7: Parámetros que definen la certificación energética (Hernández & Meza, 2011)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su informe sobre la calidad del aire presentado en el 2016 (OMS-OPS, 2016), después de analizar datos de 3000 ciudades determina que más del 80 % de las personas de las zonas urbanas respiran aire que les podría causar infartos cerebrales o enfermedades respiratoria crónicas. En el informe se determina que la ciudad más contaminada del mundo es Onitsh en Nigeria que supera 600 veces el nivel de contaminación que recomienda la OMS.

En la Figura 2.8 se puede identificar las ciudades de América Latina que superan el límite permisible recomendado que es de 10 ug/m³.

Las micropartículas llamadas PM 2,5 se desprenden de la quema de combustibles fósiles y está relacionado con las muertes prematuras de adultos, enfermedades del corazón y pulmones, afectaciones cerebrales, bronquitis, asma y otros síntomas cardio-respiratorios.

En Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas registró los niveles más altos de contaminación de PM_{2,5} (33ug/m³) considerando los datos del informe, de acuerdo a los análisis de la OMS (2012-2013), Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación establecidos. Ibarra, Cuenca y Ambato mantiene valores de 9 ug/m³ de PM_{2,5}, valor que no sobrepasa el límite establecido como se puede ver en la Figura 2.9.

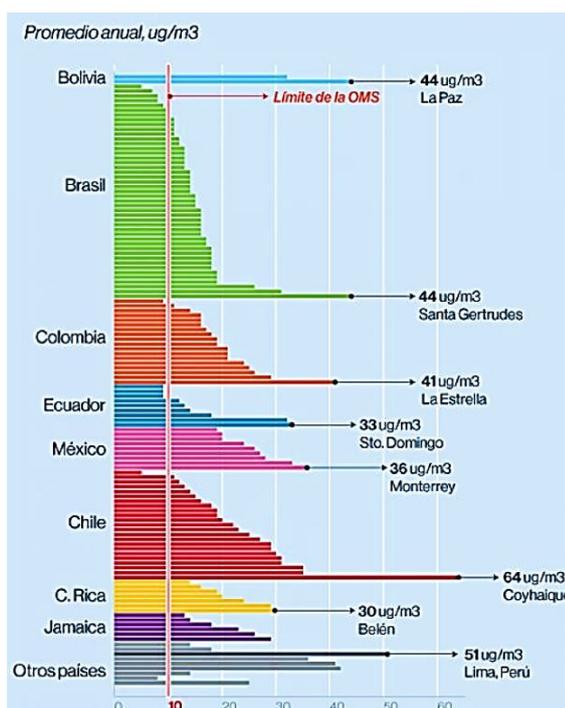


Figura 2.8: Calidad del aire en PM_{2,5}, de las ciudades de América Latina (OMS-OPS, 2016)

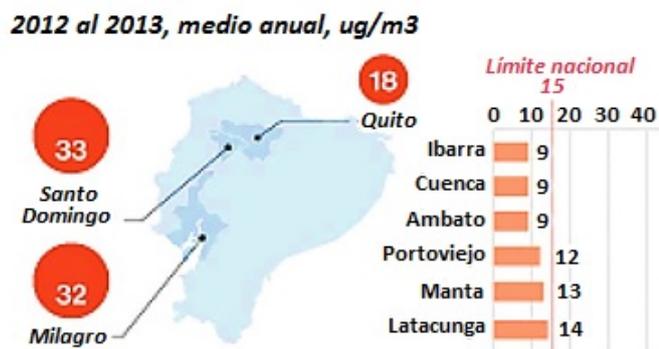


Figura 2.9: Calidad del aire en PM_{2,5}, de las ciudades de Ecuador (OMS-OPS, 2016)

Los datos recogidos por la OMS permiten identificar que es necesario trabajar en programas y proyectos que aporten a disminuir el consumo de combustibles fósiles en el Ecuador y con un marcado énfasis se debe realizar para la ciudad de Cuenca por su condición de patrimonio cultural de la humanidad, esto con el fin de evitar que supere los niveles permisibles establecidos por la OMS.

Otro factor a considerar como problema es la contaminación interna que se produce en las viviendas por la emisión de monóxido de carbono producido por gas domésticos que se genera con el uso calentadores de paso o calefones y cocinas instalados en sitios de la vivienda con muy poca o ninguna ventilación. El monóxido de carbono CO es un gas altamente tóxico que

se produce cuando existe una mala combustión de uno de sus componentes orgánicos; si el oxígeno no es suficiente se produce una combustión incompleta y se genera monóxido de carbono.

El Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Director General de la OMS manifiesta que “Es inadmisibles que más de 3000 millones de personas, en su mayoría mujeres y niños, sigan respirando todos los días el humo letal emitido por combustibles contaminantes en sus hogares”. (OMS, 2018)

La OMS también da a conocer que la contaminación del aire ambiente por sí sola provocó aproximadamente 4,2 millones de muertes en 2016, mientras que la contaminación del aire doméstico originada por la cocción de alimentos con combustibles y tecnologías contaminantes causó unos 3,8 millones de muertes en el mismo periodo.

Como ejemplo de lo antes analizado se puede citar a Argentina en donde se estima que unas 1666 personas se intoxicaron por monóxido de carbono durante el 2015 (Telam, 2016) y que al menos 200 mueren cada año por esta causa.; según el ente regulador del gas EnerGas, los accidentes por intoxicaciones por CO son producidas en un 87 % por los calentadores de paso o calefones, 8 % por calefactores a gas 5 % por cocinas.

Para el Ecuador no existen datos que reflejen la peligrosidad del uso del GLP al interior de las viviendas pero se puede establecer que la situación es similar a lo que se presenta para Argentina y que es necesario considerar alternativas energéticas que disminuyan la peligrosidad que actualmente significa obtener ACS.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Radiación solar

La energía solar es una fuente inagotable, procedente del sol donde se producen reacciones de fusión que liberan gran cantidad de energía, de la cual solo llega a la tierra una pequeña parte, pues el resto se refleja hacia el espacio exterior por la presencia de la atmósfera terrestre. La irradiancia es la unidad de medida de la radiación solar que llega a la tierra y se le llama también constante solar; el valor comúnmente aceptado de $I_{CS} = 1\,366\text{ W/m}^2$ y el flujo solar promedio sobre toda la tierra es de $342,5\text{ W/m}^2$ (Creus Solé, 2010).

Por otro lado, la energía solar es una fuente renovable que cada día va ganando más adeptos debido a su naturaleza de inagotable, limpia, sustentable en el tiempo y por su gran potencial energético. En la Figura 2.10 se encuentra

el potencial de todas las energías renovables presentes en el mundo, notándose que la energía solar es muy superior al resto de energías renovables.



Figura 2.10: Potencial energético de todas las energías renovables (GREENPEACE, 2017)

El sol se comporta como un cuerpo negro a temperatura de 6000 K y emite radiaciones electromagnéticas que abarcan desde el infrarrojo hasta el ultravioleta (Figura 2.11), estas últimas son radiaciones más cortas que son absorbidas por los gases de la atmósfera, principalmente por el ozono. La energía solar se disipa en el espacio por lo que la que llega a la tierra es muy inferior debido a la gran distancia y a la diferencia de tamaño de la tierra con respecto al sol.

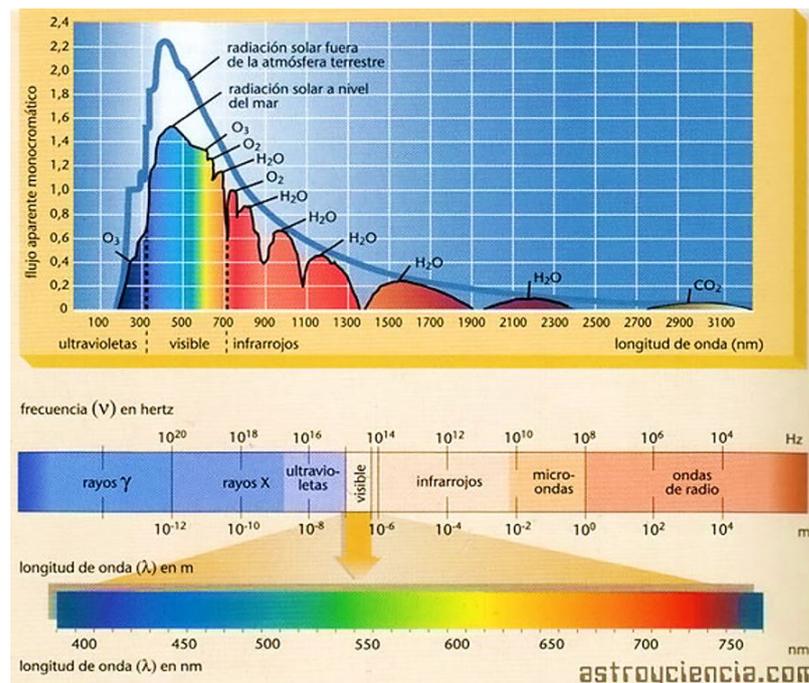


Figura 2.11: Radiaciones electromagnéticas del sol (González Marmol, 2012)

La radiación que llega a la tierra y que para este caso en particular alcanza el panel solar se manifiesta en tres formas diferentes (Creus Solé, 2010):

- *Radiación Directa*: Es aquella que penetra en la atmosfera sin ser afectada por los componentes atmosféricos.
- *Radiación Difusa*: Es aquella que llega de forma dispersa a través de la difracción, dispersión y reflexión de los gases y las nubes.
- *Radiación Albedo*: Es la procedente de la reflexión del terreno próximo.

La radiación global es la suma de la Directa, Difusa y Albedo (Figura 2.12)

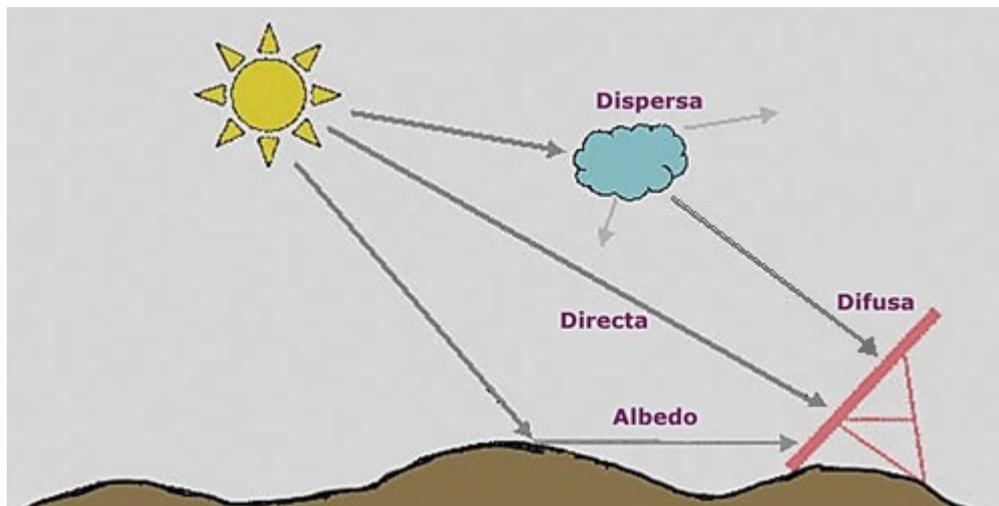


Figura 2.12: Radiación global (Directa + Difusa + Albedo) (Creus Solé, 2010)

La radiación solar se puede estimar mediante varios métodos; los más empleados son:

- Emplear los datos de estaciones meteorológicas cercanas: opción válida para terrenos llanos y distancias menores a 10 km.
- Interpolación de valores a partir de medidas de la radiación solar obtenidas en varias estaciones: opción válida cuando se quiere obtener un resultado dentro de un área en la que se encuentran varias estaciones.
- Interpolación en función de la topografía: requiere un estudio de la topografía como dato de entrada y precisa una densidad de estaciones de medida en el orden de los 100 km.
- Mediante satélite: opción que se basa en el tratamiento de imágenes proporcionadas por satélites geoestacionarios como resultado de la reflexión de los rayos solares sobre la superficie terrestre.

2.3.2. Irradiancia e irradiación

La *irradiancia* es el flujo de radiación solar que incide sobre la unidad de superficie por unidad de tiempo se mide en watts sobre metro cuadrado (W/m^2); varía de una zona a otra, esto se debe a las variaciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol, la cual depende de la latitud del lugar.

La *irradiación* o también denominada insolación es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo. Su unidad de medida es el watt-hora por metro cuadrado (Wh/m^2) o su equivalente que es el Julio por metro cuadrado (J/m^2). En la Figura 2.11 se observa la insolación que es un parámetro para dimensionar un sistema de calentamiento solar (Entrena, 2013).

La insolación está determinada por cuatro factores:

- *Constante solar*: la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol.
- *Transparencia*: La transparencia de la atmósfera se refiere al monto en que la radiación penetra en la atmósfera y llega a la superficie terrestre sin agotarse.
- *Duración de la luz del día*: Este factor también influye en los valores de insolación, es decir mientras más largo sea el período de luz solar, mayor será la posible insolación total. La duración de la luz del día varía con la latitud y las estaciones.
- *Ángulos de los rayos*: Los ángulos con que los rayos solares caen sobre la Tierra varían durante el transcurso del día, así pues, al mediodía los rayos caen con mayor intensidad sobre una superficie relativamente plana, en comparación a otras horas del día.

Debido a la variación de la cantidad y la intensidad de radiación solar que llegan a la superficie terrestre según la latitud y las estaciones del año, se establecen las grandes zonas térmicas y climáticas, donde se diferencian un área cálida en la zona intertropical, dos zonas templadas en las latitudes medias de ambos hemisferios y dos zonas frías o polares (Figura 2.13).

El Ecuador es un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere, esto se debe a su ubicación geográfica ya que el ángulo de incidencia de la luz solar, es casi perpendicular a la superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la

luz solar, varía acorde a las estaciones del año. Esta ventaja posicional, se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar, misma que varía dentro del territorio nacional únicamente por condiciones geográficas locales.

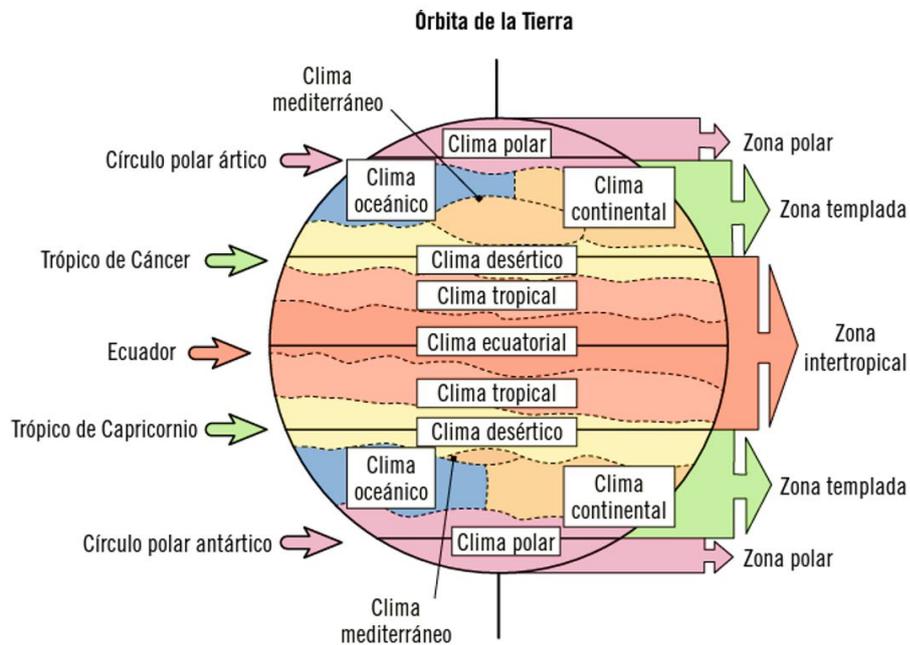


Figura 2.13: Zonas térmicas de la Tierra (Entrena, 2013)

2.3.3. Medida de la radiación solar

La radiación solar se puede medir mediante instrumentos (Figura 2.14):

- *Piranómetro*: mide la radiación solar total.
- *Heliógrafo*: mide la cantidad de horas que brilla el Sol durante el día.
- *Pirheliómetro*: mide la radiación solar directa.



a)



b)



c)

Figura 2.14: a) Piranómetro, b) Heliógrafo, c) Pirheliómetro (SENSOVANT, 2014)

La radiación global es la suma de todas las radiaciones solares que inciden sobre una superficie y se mide en un ángulo de 180° sobre una superficie horizontalmente dispuesta. La radiación solar se puede medir mediante varios dispositivos, pero el más comúnmente empleado es el piranómetro que es un aparato que mide la radiación global gracias a dos sensores de temperatura, uno de los sensores está orientado de forma que recibe únicamente la radiación directa, mientras que el otro está convenientemente protegido de la radiación directa y solo absorbe las radiaciones difusa y reflejada.

La medida de la radiación difusa se realiza con un piranómetro adaptado con dispositivos que provocan el sombreado de la radiación directa sobre el sensor de lectura. Para ello, el sistema de sombreado se puede acoplar a sistemas de seguimiento solar que produzcan la sombra del sensor en todo momento.

La medida de la radiación solar se realiza guardando los resultados de las lecturas de radiación que ofrece cada instrumento. Una vez se obtienen los valores de radiación global, directa y difusa, los datos deben registrarse en tablas y mapas de radiación solar (Entrena, 2013).

2.3.4. Calentadores solares

Al ingeniero llamado William J. Bailey en 1909 se le puede atribuir como el primer constructor de calentadores solares en la historia (EcoInventos, 2014), con la característica de que aparte de suministrar agua caliente en el día considero un acumulador para abastecer de agua en la noche. El colector consistía en un serpentín colocado en el interior de un cajón con tapa de vidrio, suspendido sobre el muro sur de su casa. El reducido volumen de agua contenido dentro del serpentín se calentaba rápidamente, para pasar a un depósito convencional situado en la cocina; para mejorar la retención del calor aisló el depósito mediante polvo de piedra caliza, que lo separaba de una caja de madera que lo contenía. El serpentín del colector era de cobre y descansaba sobre una lámina metálica negra. La caja del colector estaba aislada con fieltro. Para garantizar suficiente agua caliente en épocas de mal tiempo o períodos de mucho uso, Bailey recomendaba a los clientes añadir un calentador auxiliar; instalando el acumulador en un punto más alto que el colector, evitaría tener que poner una bomba para impulsar el agua entre el colector y el depósito acumulador, aprovechando el efecto termosifón¹. El éxito del modelo fue tal que las ventas de la compañía le permitieron convertirse en sociedad

¹El agua caliente es menos densa que el agua fría, y por tanto tiende a elevarse por sí sola por las tuberías

anónima en 1911, sólo dos años después de que Bailey vendiera su primer equipo. Aunque el descubrimiento de una gran bolsa de gas en Los Angeles restó ventas a la compañía, la cual fabricaba su última serie de calentadores en 1941 (EcoInventos, 2014).

Es importante considerar que los calentadores están instalados con elementos auxiliares como bombas, válvulas y elementos adicionales, a todo el conjunto se le denomina sistema solar térmico para obtención de ACS.

2.3.4.1. Calentador solar de placa plana

El calentador o captador solar de placa plana está formado por los siguientes componentes (Figura 2.15) (ENERWORK, 2017).

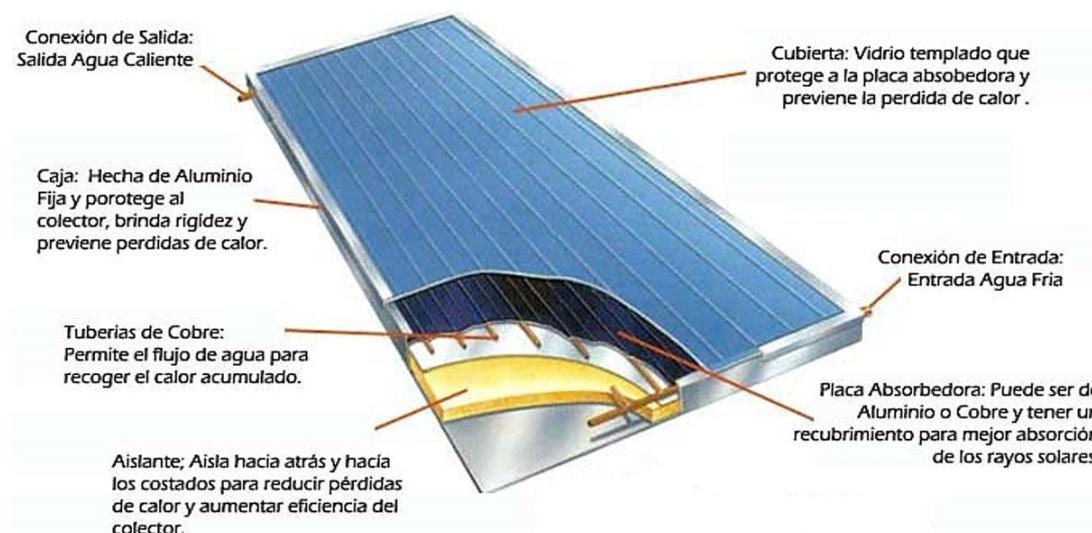


Figura 2.15: Calentador Solar de Placa Plana (ENERWORK, 2017)

Este tipo de calentador cuenta con 3 partes principales: una placa absorbedora de radiación solar, un sistema de tuberías soldada (normalmente con ultrasonido o laser) por la parte trasera a la placa absorbedora y una caja con dos funciones; aislar térmicamente a los primeros dos y dar rigidez al colector.

Los calentadores de placa plana representan la tecnología más perdurable que ha visto la industria de energía solar térmica desde su arranque comercial en los años 50's en Europa. Este tipo de colector es muy versátil en su uso ya que puede ser utilizado en sistemas de circulación natural (termosifón) o en sistemas de circulación forzada (bomba y alta presión). Su mantenimiento es prácticamente nulo. Sus acabados permiten que este tipo de colector solar pase a ser parte de la arquitectura incluso en algunas construcciones.

El comportamiento energético del calentador depende de la temperatura ambiente, de la cantidad de irradiación global y de las pérdidas por conducción, convección y radiación que se presentan en el sistema (Figura 14).

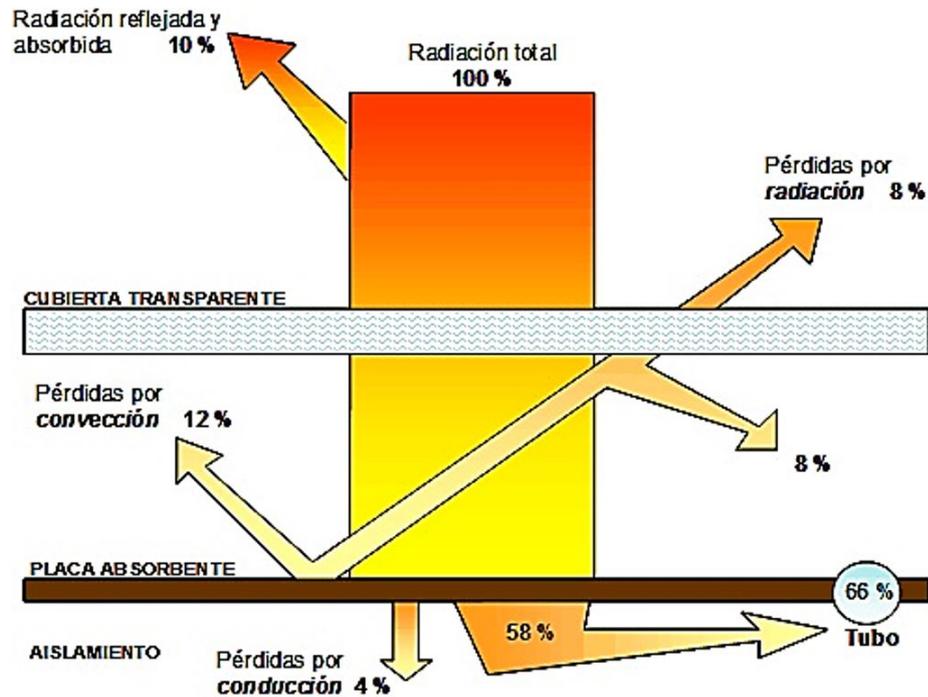


Figura 2.16: Comportamiento energético de un calentador de placa plana (Díaz, 2017)

2.3.4.2. Calentadores solares de tubos de vacío

Existen tres tipos de calentadores de tubos de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador (SOPELIA, 2017):

- Tubos evacuados simples
- De flujo directo
- Con tubo de calor (Heat pipe)

a) Calentador de tubos de vacío evacuados simples. Los tubos evacuados simples consta de tubos ensamblados directamente con el depósito acumulador o de manera independiente que pueden contener solo agua o agua más anticongelante (Figura 2.17). En la pared interior del tubo evacuado se sitúa una capa de color oscuro de material absorbente. Cuando la radiación solar incide sobre la capa de material absorbente se transforma en calor y eleva la temperatura del fluido que está en contacto con él. El fluido se calienta por convección y comienza a ascender a través del tubo siendo reemplazado por fluido frío que a su vez se calienta y reinicia el proceso. Este tipo de tubo de vacío ofrece la ventaja de tener escasas pérdidas de calor y los inconvenientes de ser muy sensible a la presión.

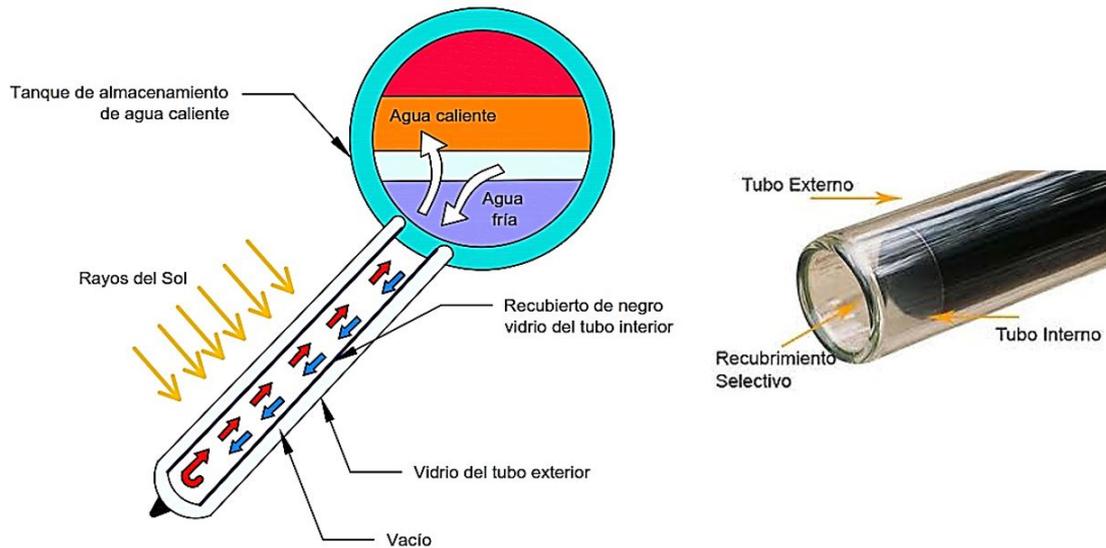


Figura 2.17: Calentador de tubos de vacío evacuados simples (SOPELIA, 2017)

b) Calentador de flujo directo. Los colectores de vacío de flujo directo o *U-Pipe* se emplean tanto en colectores individuales como en sistemas solares compactos con depósito integrado. El absorbedor puede situarse en la pared del tubo como en el caso del tubo evacuado o en una plancha de material absorbente. En cualquier caso, el absorbedor es recorrido en su superficie por una tubería (preferiblemente de cobre) por la que circula el fluido que eleva su temperatura en contacto con él. Los colectores de tubo de vacío de flujo directo tienen la ventaja de poder adoptar una posición tanto horizontal como vertical sin disminuir su rendimiento ya que el tubo puede rotar sobre su eje inclinándose el absorbedor de la manera más adecuada en el caso de que el absorbedor tenga la forma de plancha (Figura 2.18).

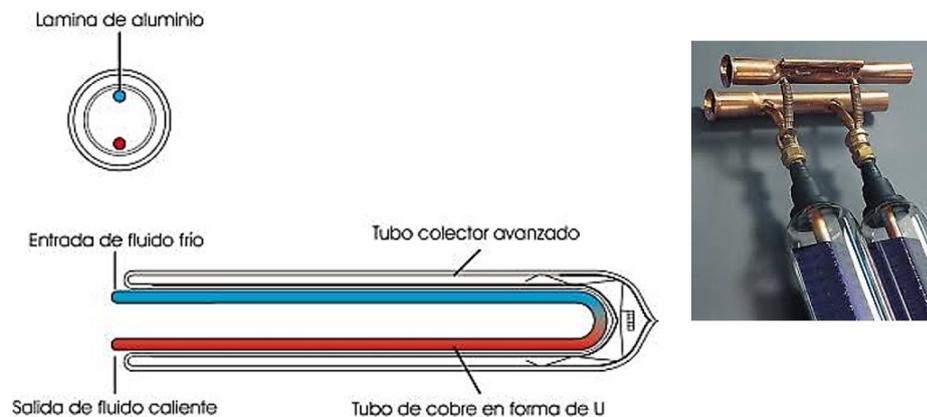


Figura 2.18: Calentador de tubo de vacío de flujo directo (SOPELIA, 2017)

c) Calentador con tubo de calor (Heat pipe). La tecnología de tubo de vacío con tubo de calor (*heat pipe*), emplea un mecanismo denominado tubo

de calor que consiste en un tubo cerrado en el cual se introduce un fluido vaporizante (mezcla de alcohol) de propiedades específicas (Figura 2.19). Cuando el Sol incide sobre el absorbedor adosado al tubo, el fluido se evapora y absorbe calor (calor latente). Como gas asciende sobre el líquido hasta lo alto del tubo donde se sitúa el foco frío. Allí se licua (se condensa) y cede su calor latente al fluido que interesa calentar volviendo a caer al fondo del tubo por capilaridad o gravedad. Este proceso (evaporación – condensación) se repite mientras dure la radiación del Sol o hasta que el colector haya alcanzado una temperatura muy alta (en torno a los 130 °C o más); tienen la ventaja de que cada tubo es independiente pudiéndose cambiar en pleno funcionamiento del sistema. Es altamente resistente a las heladas ya que los tubos también pueden girar sobre su eje, existe la posibilidad de que adopten posiciones verticales y horizontales aunque en este caso generalmente habrá que respetar una inclinación mínima del tubo entre 15° y 20° para permitir que el fluido, una vez licuado, pueda descender por gravedad. Caben destacar 3 cualidades de estos colectores:

- Unión seca: el intercambio de calor se produce sin contacto directo entre el fluido caloportador y el tubo.
- Función diodo: la transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el fluido caloportador, y nunca al revés.
- Limitación de temperatura: el ciclo de evaporación – condensación tiene lugar mientras no se alcance la temperatura crítica del fluido vaporizante, evitando así los riesgos de un aumento incontrolado de la temperatura en el interior de los tubos.

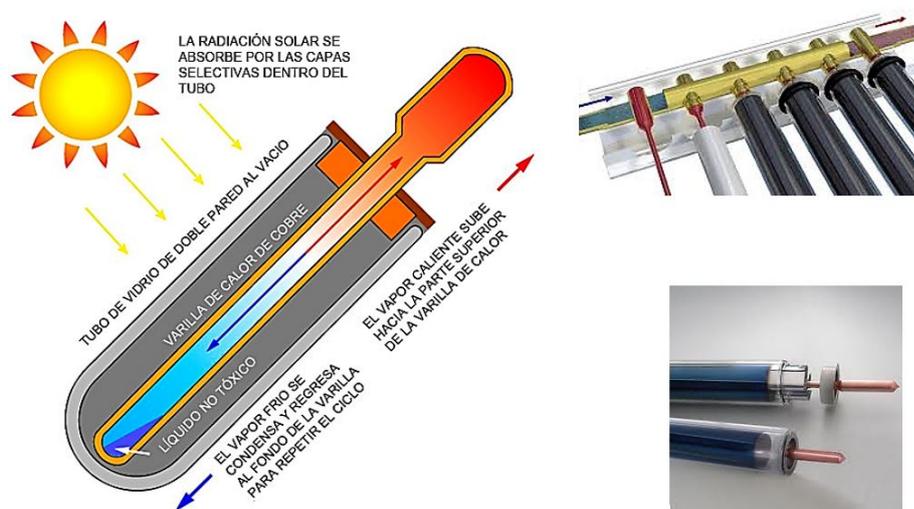


Figura 2.19: Captador de tubo de vacío con tubo de calor (ENERWORK, 2017)

2.3.4.3. Sistemas de calentamiento híbridos

Como se menciona anteriormente los calentadores solares de tubos de vacío tienen altos niveles de eficiencia, el abastecimiento de ACS no siempre va a ser del 100 % esto debido a algunos factores como los climáticos, la demanda excesiva de agua caliente, incorrecta ubicación del calentador solar, etc. Para satisfacer la demanda de agua caliente en su totalidad surgen los sistemas de calentamiento híbridos, en los que se combinan el sistema térmico solar acompañado en un primer caso con un calentador auxiliar de paso a base de Gas natural o GLP y en un segundo con una resistencia eléctrica (Jiménez et al., 2014).

Para el primer caso existen dos configuraciones de conexión, la una es una conexión en serie y la otra es una conexión en paralelo.

a) Sistema solar térmico de tubos de vacío y calentador de paso, conexión en serie. Debido a que el calentador solar de tubos evacuados simples, el de flujo directo y el con tubo de calor presentan una condición de intercambiador de calor que es parte de un sistema, las configuraciones en serie y en paralelo pueden ser utilizadas del mismo modo para los tres tipos de calentadores.

La diferencia radica en que para ninguna de las conexiones ya sea serie o paralelo el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor requiere el uso de una bomba, debido a que para la conexión en serie el agua que se encuentra en el acumulador sirve para abastecer el calentador de paso se encuentra a la misma presión de la red principal.

La conexión en serie (Figura 2.20) permite economizar el consumo de GLP en el sistema auxiliar debido a que el agua que entra al calentador de paso lo hace a una temperatura superior a la del ambiente, 25 °C que es la temperatura a la cual entra en funcionamiento dicho calentador. Debido a que la distribución del ACS desde el calentador solar se la realiza mediante gravedad, para el uso del sistema auxiliar en una conexión en serie es indispensable el uso de una bomba la cual eleve la presión al ingreso del calentador de paso, de lo contrario el piloto del calentador no se encenderá.

Para que el sistema sea independiente es necesario colocar válvulas de control electromagnéticas las cuales son comandadas por el control digital del calentador (Jiménez et al., 2014).

b) Sistema solar térmico de tubos de vacío y calentador de paso, conexión en paralelo. Para la conexión en paralelo el ingreso del agua al calen-

tador de paso se la realiza de manera directa de la red de agua fría por lo que no es necesario el uso de una bomba para elevar la presión de ingreso, la temperatura de ingreso es la misma de la red principal por lo tanto se presenta un mayor consumo de GLP (Figura 2.21).

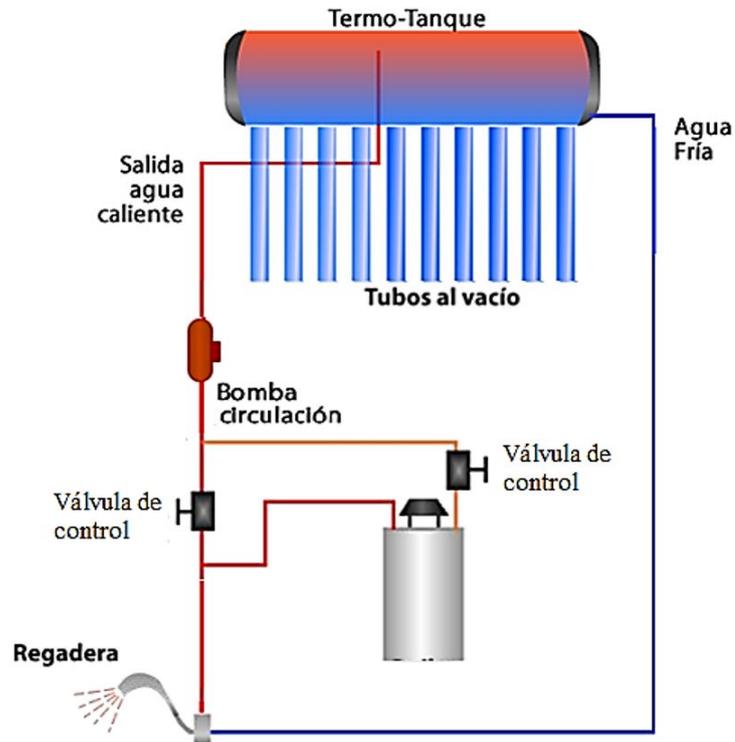


Figura 2.20: Conexión en serie, calentador solar de tubos de vacío–Calefón (Jiménez et al., 2014)

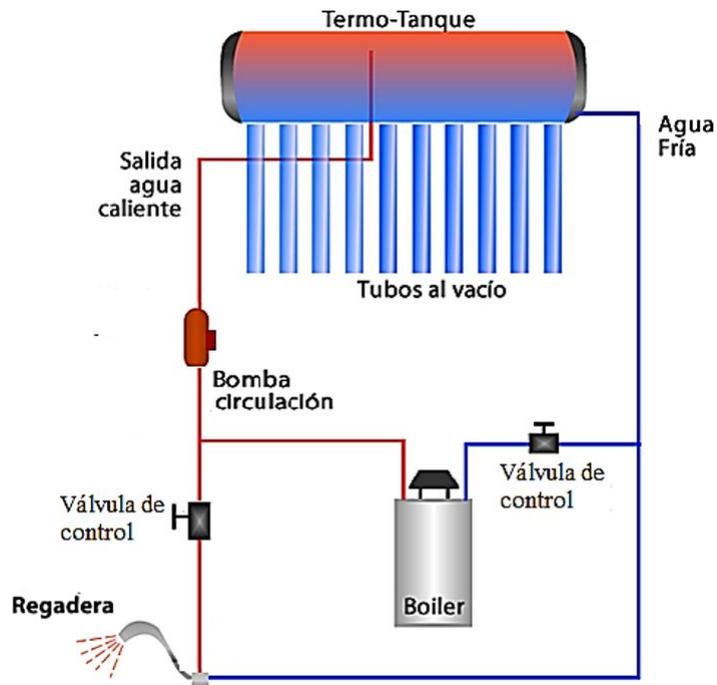


Figura 2.21: Conexión en paralelo, calentador solar de tubos de vacío–Calefón (Jiménez et al., 2014)

Para el segundo caso la posibilidad de instalación con resistencia eléctrica es única.

c) Sistema solar térmico de tubos de vacío con tubo de calor y calentador eléctrico. El desarrollo de los calentadores solares de tubos de vacío ha permitido que se logre elevar el nivel de eficiencia en los mismos, consiguiendo de esta manera brindar confort al usuario; uno de esos avances es la incorporación de una resistencia eléctrica o calentador eléctrico dentro del tanque acumulador con el objeto de servir como sistema auxiliar al calentador solar (Figura 2.22).

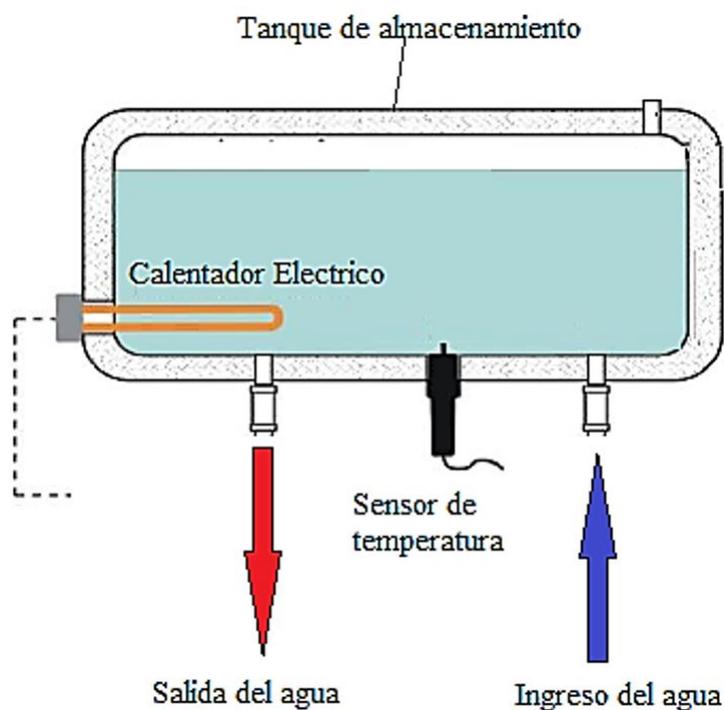


Figura 2.22: Resistencia eléctrica en el acumulador (Jiménez et al., 2014)

La resistencia eléctrica o calentador eléctrico, tiene el mismo principio de funcionamiento que el de las duchas eléctricas que se las utiliza comúnmente en los hogares para el calentamiento de ACS. El trabajo de la resistencia eléctrica en conjunto con el calentador solar da lugar al sistema híbrido de calentamiento.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Tipo y diseño de investigación

Considerando lo que manifiesta Sampieri et al. (2010) el proyecto es una investigación cuantitativa de tipo aplicada ya que mide fenómenos, utiliza estadística realiza prueba de hipótesis y hace análisis causa efecto.

El diseño de la investigación propuesta es de tipo cuasi experimental; ya que no hay un control efectivo de las variables de selección y para su desarrollo se integran un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver. Para el proyecto presentado se requiere un cálculo del porcentaje de CO₂ por kg de combustible quemado en un periodo definido sin sistemas solares térmicos (grupo de control) y el cálculo del porcentaje de CO₂ con aplicación de sistemas solares térmicos (grupo experimental) que para este caso son dos sistemas diferentes; uno de tubo de vacío y otro de tubo de vacío con tubo de calor que presentan diferentes eficiencias y también diferentes costos.

El proyecto considera durante su desarrollo los siguientes alcances:

Exploratorio: ya que se trata de un tema poco estudiado del cual se tienen muchas dudas y su valor radica en la familiarización con fenómenos poco conocidos; para el presente proyecto este alcance estará en la segunda fase cuando se estudia la condición de radiación solar en el cantón Cuenca de la cual no existen estudios anteriores.

Descriptivo: que busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren. Para el presente proyecto este

alcance se dará cuando se analizan los tipos de calentadores solares que se utilizan y cuando se caracterizan los colectores solares de tubos de vacío en la instalación piloto.

Correlacional: que tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular; al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, se miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después se cuantifica y analiza la vinculación. Para el presente caso se relaciona el tipo de colector considerando su eficiencia con la capacidad energética en función de la radiación solar medida en el lugar de emplazamiento y a través de esto se puede predecir mediante un modelo matemático la provisión constante de agua caliente y la disminución del porcentaje de CO₂.

Explicativo: su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. Para el presente proyecto este alcance se aplica en el momento en el que se explica porque la radiación solar es capaz de brindar la energía térmica útil y de acuerdo a esta condición porque se genera la disminución en la contaminación ambiental cuando se aplica este proceso a la obtención de ACS.

Para el desarrollo de la investigación se consideran 4 fases, las tres primeras se pueden ejecutar al mismo tiempo y la cuarta se desarrolla con los datos obtenidos en las anteriores.

En la primera fase se busca identificar la situación actual de consumo y demanda de ACS en el cantón Cuenca, para esto se determina el consumo de agua por habitante a través de datos de fuente secundaria que en este caso se recopilan de la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA) y se completa el análisis con una encuesta en donde se identifica el consumo y demanda de ACS, además con la misma encuesta se determinan los métodos que se utilizan para producir agua caliente que podrían ser: calentadores a gas, calentadores eléctricos, calentadores solares, otros; y finalmente mediante un cálculo matemático se determina el porcentaje de contaminación con CO₂ por kg de combustible quemado para obtener ACS.

En la segunda fase se monitorean, procesan y analizan los datos de radiación solar para determinar la cantidad de energía que se podrá utilizar en el calentamiento de agua sanitaria; para esto, en primera instancia se establecen los sitios idóneos para instalar un grupo de 16 estaciones meteorológicas considerando las directrices emitidas por la Organización Mundial de Meteorología, también se selecciona el tipo de estación meteorológica y los sensores

que se van a utilizar de acuerdo a la prospectiva tecnológica en esta área; luego se adquieren las estaciones y se procede a emplazarlas en los sitios establecidos, posteriormente se desarrolla el monitoreo, procesamiento y análisis de los datos de radiación solar.

En la tercera fase se instalan dos tipos de colectores solares de tubos de vacío, para obtener ACS, el de tubos de vacío evacuados simple y el de tubos de vacío con tubos de calor, en dos viviendas en la ciudad de Cuenca, una vez instalados y en funcionamiento se miden los datos de temperatura de entrada y salida del agua del colector y el consumo de la misma durante un año; con estos datos se calcula la eficiencia real del sistema y se compara con el análisis teórico para establecer las correcciones requeridas.

En la última fase se propondrá un modelo analítico que definirá la factibilidad de implementación de sistemas para obtención de ACS considerando la cantidad de energía solar medida durante los años 2014 y 2015 para las parroquias del cantón Cuenca. Para el análisis se parte de los datos de radiación solar medidos y se calcula en función de la radiación la energía que los dos tipos de calentadores son capaces de aportar para obtener ACS, se compara con la demanda energética determinada en el trabajo de campo, se calcula el porcentaje de aporte que podrían generar estos sistemas y la disminución que se podría dar en emisiones de CO₂ con la implementación de los mismos.

Además, se determinará la cantidad de energía que se debería generar con fuentes convencionales complementarias para garantizar una constante dotación de agua caliente en las viviendas.

El esquema del diseño de la investigación se presenta en la Figura 3.1 en donde se integran de manera gráfica todas las fases del proyecto de investigación.

3.1.1. Unidad de análisis

Para el presente proyecto se consideran los centros poblados del cantón Cuenca, provincia del Azuay en el Ecuador.

3.1.2. Población de estudio

La población de estudio para el caso de la determinación del tipo de calentadores que se utilizan para obtener ACS será las viviendas unifamiliares y las edificaciones multifamiliares del cantón Cuenca, divididos considerando parroquias de la zona urbana y la zona rural; en el análisis de las condiciones meteorológicas la población de estudio serán los datos de radiación solar medidos en las 16 estaciones meteorológicas instaladas en el cantón.

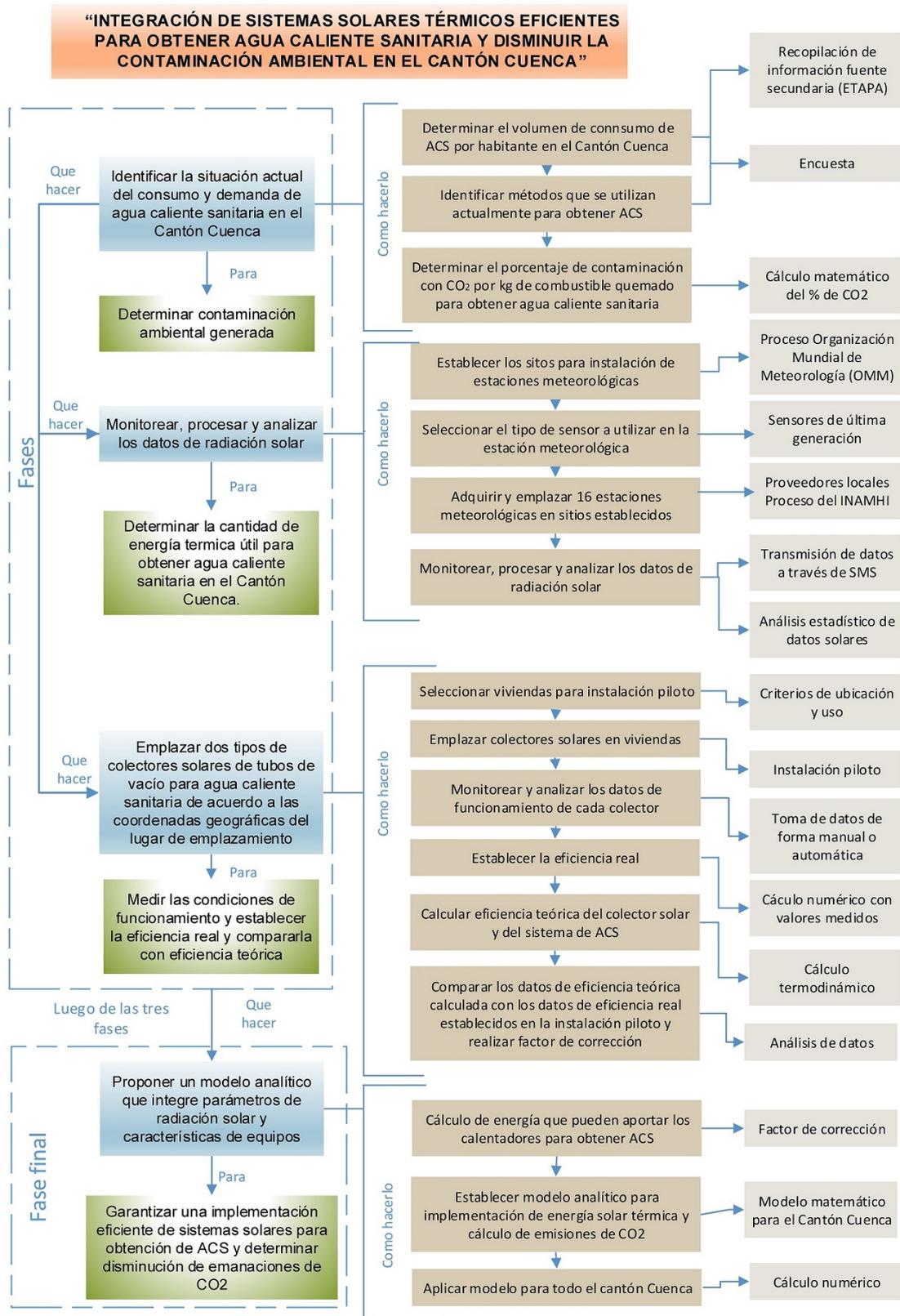


Figura 3.1: Esquema del diseño de la investigación (Elaboración propia)

3.2. Identificación de la situación actual de la demanda de ACS en el cantón Cuenca

En esta fase se determina la población de estudio, el análisis para establecer una muestra representativa, la aplicación de un cuestionario de preguntas a través de una encuesta, los resultados obtenidos de la misma y el cálculo de la contaminación ambiental producida por las emisiones de CO₂ producto de la quema de combustibles fósiles utilizados actualmente para obtener ACS.

También se demuestra la primera hipótesis que se definió en la matriz de consistencia (Anexo E) para esto se realiza un análisis de frecuencias y posteriormente un análisis con el coeficiente de Rho de Spearman.

3.2.1. Estimación de la población.

Para el caso de estudio se cuenta con tres datos anteriores de censo de población realizados en el cantón Cuenca en los años 1990, 2001 y 2010 (INEC, 2010). Considerando esta condición se realiza la predicción para el año 2016 de la población ya que en los casos en que se dispone de estimaciones de la población referidas a tres o más fechas pasadas y la tendencia observada no responde a una línea recta, ni a una curva geométrica o exponencial, es factible el empleo de una función polinómica, siendo las más utilizadas las de segundo o tercer grado. Una parábola de segundo grado puede calcularse a partir de los resultados de tres censos o estimaciones. Este tipo de curva no sólo es sensible al ritmo medio de crecimiento, sino también al aumento o disminución de la velocidad de ese ritmo (Ríos Jiménez, 2016).

La fórmula general de las funciones polinómicas de segundo grado se encuentra en la ecuación (3.1).

$$N_t = a + bt + ct^2 \quad (3.1)$$

Donde:

N_t = Es el volumen poblacional estimado t años después de la fecha inicial.

t = Es el intervalo cronológico en años, medido desde fecha de la primera estimación.

a, b, c = Son constantes que pueden calcularse resolviendo la ecuación para cada uno de las tres fechas censales o de estimaciones pasadas.

La población en estudio está conformada por el número de hogares que existen en el cantón Cuenca, se estima que un hogar promedio que habita en una vivienda está integrado por 5 miembros, este valor también se comprobará

con la encuesta; asumiendo esta condición se define el número de hogares que será considerado el universo de trabajo. Se emplea un campo poblacional de 114 553 familias (ver Tabla 4.6).

3.2.2. Determinación de la muestra

Para determinar la muestra se aplica la ecuación (3.2) considerando el nivel de confianza $k = 95\%$, límite de error $e = 0,06$, probabilidad de éxito $p = 0,6$ y probabilidad de fracaso $q = 0,4$.

$$n = \frac{k^2 \times p \times q \times N}{(e^2 \times (N - 1)) + k^2 \times p \times q} \quad (3.2)$$

El valor que se calcula representa la muestra a considerar para la zona urbana y rural del cantón Cuenca y se define el número para cada zona de acuerdo al nivel de población.

Las condiciones en la zona urbana difieren en la zona rural e internamente en esta última cada parroquia presenta algunas especificidades debido a su ubicación geográfica, es por esto que se considera necesario realizar una estratificación en función de cada parroquia rural para considerar un número específico de hogares para el levantamiento de la información. En la zona urbana no se realiza un proceso de estratificación de las parroquias debido a que las mismas presentan iguales condiciones. Para muestreo se define para la zona urbana 266 y para la zona rural 265 familias (ver Tabla 4.7).

3.2.3. Definición de cuestionario para levantamiento de información

Para el levantamiento de la información se consideran los siguientes objetivos:

3.2.3.1. Propósito general del cuestionario

Diagnosticar la forma actual en la que una familia promedio en el cantón Cuenca obtiene ACS.

3.2.3.2. Propósitos específicos del cuestionario

- Categorizar los tipos de sistemas empleados por las familias cuencanas para obtener ACS.
- Cuantificar el volumen de ACS que se utiliza en un hogar cuencano y la energía utilizada para este fin considerando el número de habitantes de cada vivienda

- Conocer el grado de satisfacción de los actuales sistemas de calentamiento de agua en los hogares cuencanos.
- Determinar cuáles son factores que influyen en un hogar cuencano a la hora de elegir o comprar un sistema de calentamiento de agua.

Para el levantamiento de la información como instrumento se define utilizar un cuestionario, considerando el tránsito de las variables a sus dimensiones o componentes, luego a los indicadores y finalmente a los ítems o reactivos (Sampieri et al., 2010), el análisis establecido se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Análisis de tránsito de variables para cuestionario (Elaboración propia)

Análisis sobre uso de ACS en el cantón Cuenca							
Variable	Dimensión	Indicadores	Ítems				
Uso de ACS	Actividades de limpieza cotidiana	Si utiliza o no utiliza	Utiliza agua caliente para sus actividades regulares como bañarse, lavado de manos, lavado de vajilla, lavado de ropa, etc. (Marque con una "X" su respuesta). SÍ NO.....				
No uso de ACS	Factor de consideración	Jerarquía de preferencia del por qué no utiliza ACS considerando costo, contaminación y facilidad de comprar e instalar.	Si su respuesta es NO, escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante. Muy costoso..... Contamina el ambiente..... Difícil de comprar..... Difícil de instalar.....				
Número de habitantes por hogar	Contable	Número de habitantes por hogar	Incluido usted, ¿cuántas personas habitan en su casa? personas				
Tipo de sistema que utiliza para obtener ACS en la vivienda	Identificación del tipo de sistema para ACS	Determinación de sistema actual para obtener ACS considerando: Gas (GLP); resistencia eléctrica, inducción eléctrica, calentador solar, solar y gas, solar y resistencia eléctrica, otro en actividades regulares: ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería	Indique el tipo de sistema de calentamiento de agua que utiliza en su hogar para las siguientes actividades. (Marque con una "X" solamente en los que utiliza agua caliente)				
			Actividad Sistema	Ducha	Lavamanos	Fregadero de cocina	Lavandería
			A gas (GLP)				
			Resistencia eléctrica				
			Inducción eléctrica				
			Calentador solar				
			Solar y Gas (GLP)				
			Solar – Resistencia eléctrica				
			Otro				
Tiempo utilizado para actividades de limpieza con ACS	Determinación de tiempo	Rango de tiempo por actividades regulares: ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería	Considerando lo marcado en la tabla anterior determine el tiempo total diario para cada actividad sumando el tiempo ocupado por cada miembro de familia. (Marque con una «X» su respuesta).				
			Tiempo Actividad	De 30 a 45 min	De 45 a 60 min	De 60 min a 75 min	Mayor a 75 min
			Ducha				
			Lavamanos				
			Fregadero de cocina				
			Lavandería				
Calidad del sistema de ACS utilizado	Atribución del desempeño	Grado de percepción de la calidad del sistema de ACS utilizado	¿Cómo califica el actual sistema de calentamiento de agua que Ud. dispone? (Marque con una «X» la respuesta correspondiente, la misma que es única). Muy bueno..... Bueno..... Regular..... Malo.....				
Factores para elegir sistema	Atribución de implementación	Grado de percepción y jerarquización de factores para elegir sistema de ACS para la vivienda	¿Cuáles son los factores que consideró al momento de elegir su actual sistema de calentamiento de agua? (Escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante). Bajo costo..... Fácil de instalar..... No contamina..... Fácil de comprar.....				

Para la zona urbana se utiliza un muestreo aleatorio simple al azar ya que como se indicó las características de la zona urbana son similares en las diferentes parroquias. Para la zona rural del cantón Cuenca que está formado por 21 parroquias, y considerando que mantienen diferencias por su situación geográfica se realiza una estratificación considerando el método de muestreo aleatorio estratificado desproporcionado.

3.2.3.3. Validación del contenido del cuestionario

El contenido del cuestionario se valida con el coeficiente de validez V de Aiken (Gamarra et al., 2015), para esto se pidió la opinión de juicio de valor de cinco jueces mediante un instrumento para validar el contenido el mismo que se encuentra en el Anexo F y fué remitido a los jueces a través de un formulario digital en formato PDF.

La ecuación para calcular la V de Aiken utilizada es:

$$V = \frac{S_i}{n(c-1)}$$

Donde:

V es el Coeficiente de validación V de Aiken

S_i es el Valor asignado por los jueces

n es el Numero de jueces

c es el Numero de valores de la escala de valoración

3.2.4. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se aplica el cuestionario tanto en la zona urbana como en la rural de acuerdo al análisis realizado en los párrafos anteriores con la metodología puerta a puerta, es decir un grupo de encuestadores visitan los hogares y solicitan llenar el cuestionario definido.

3.2.5. Tabulación de datos

Luego de aplicar las encuestas en cada uno de los hogares de la zona rural y urbana del cantón Cuenca, con el *software* SPSS se realiza el análisis correspondiente de datos.

A partir de la pregunta 4 se determina el valor promedio de consumo de ACS, para esto se establecen los valores promedios de la sumatoria de los tiempos de uso para ducha, lavamanos, fregadero de cocina, y lavandería; con lo antes indicado se calcula el consumo de ACS, multiplicando el tiempo total empleado por los miembros del hogar por un consumo promedio de 0,006 m³/s (Afta-asociacion, 2017), y por un factor de coincidencia pues nos todos los miembros se bañan todos los días, o utilizan ACS en el lavamanos o en el fregadero de cocina, estos valores han sido identificados considerando las costumbres de uso de los habitantes del cantón Cuenca.

Con el cálculo antes realizado se obtiene el consumo efectivo de ACS de una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca y se compara con lo que una persona en la comunidad europea utiliza en este ámbito que es de 30 litros de ACS/ día por persona (ATECYR - IDAE, 2017).

Para determinar la cantidad de CO₂ que se produce es necesario calcular la cantidad de energía que se requiere para cubrir la demanda de ACS para esto se utiliza la ecuación (3.3).

$$D_{ACS} = V_{ACS} \times \rho_a \times C_p \times (T_{uso} - T_{red}) \quad (3.3)$$

Donde:

D_{ACS} = Demanda de ACS (J)

V_{ACS} = Volumen de consumo de ACS (m³/mes)

ρ_a = Densidad del agua 1000 kg/m³

C_p = Calor específico del agua (4187 J/(kg·°C))

T_{uso} = Temperatura de consumo (°C)

T_{red} = Temperatura de la red (°C)

El valor correspondiente a T_{uso} es 60 °C, mientras que para T_{red} es un promedio de 8 °C, el valor de V_{ACS} es 0,32 m³/día, conocidos los valores de los parámetros se reemplaza en la expresión considerando los días de cada mes y se determina el valor mensual y anual de energía requerida para producir ACS.

Establecido el valor de la demanda de energía mensual y anual requerida para obtener ACS para una familia de 5 miembros se calcula la producción de CO₂, multiplicando al valor obtenido por el índice de emisiones que para el GLP genérico es de 0,234 y para electricidad 0,385 kg de CO₂ eq/kWh (Estrategia Aragonesa, 2017),

3.3. Monitoreo, procesamiento y análisis de datos de radiación solar del cantón Cuenca

En esta segunda fase del proyecto se trabaja en la selección y emplazamiento de las estaciones meteorológicas de acuerdo a las recomendaciones emitidas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM), también se desarrolla un control de calidad de datos y se realizan los ajustes correspondientes para cuantificar la energía existente en cada uno de los sectores en

donde se encuentran emplazadas las estaciones meteorológicas y que se encuentran asociados a las parroquias urbanas y rurales del cantón Cuenca.

Se desarrolla también la comprobación de la segunda hipótesis, para demostrar la misma se realiza un análisis estadístico utilizando la prueba ANOVA.

3.3.1. Emplazamiento de estaciones meteorológicas en el cantón Cuenca

La Universidad Politécnica Salesiana UPS, conjuntamente con el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables INER en el año 2013 implementan una red de 16 estaciones meteorológicas repartidas en puntos estratégicos del cantón Cuenca con el propósito de medir variables meteorológicas y estos datos poderlos utilizar en proyectos para implementación de sistemas energéticos fundamentados en energías renovables. El proyecto en mención fue dirigido por el autor de la presente investigación.

Para la correcta determinación geográfica del emplazamiento de las estaciones meteorológicas se trabaja en seis etapas las cuales se listan a continuación.

- Recolección de datos de fuentes oficiales.
- Visitas de campo.
- Selección de criterios.
- Análisis espacial.
- Valoración y elección de lugares de emplazamiento.
- Selección y emplazamiento de estaciones meteorológicas

3.3.1.1. Recolección de datos de fuentes oficiales

Como primer paso se recolecta información proveniente de:

- Instituto Geográfico Militar (IGM): cartografía base (Instituto Geográfico Militar, 2017).
- Ministerio del Ambiente (MAE): bosques y áreas protegidas (Ministerio del Ambiente, 2017).
- Sistema Nacional de información (SIN): cobertura y uso del suelo (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Además de la información en formato *shape* (.shp) obtenida, se cuenta con información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), referente a estaciones meteorológicas instaladas. Se establece contacto con instituciones públicas pertenecientes al Consorcio Municipal de Cuenca, Juntas Parroquiales, Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), al Programa de Manejo del Agua y Suelo (PROMAS) y el Grupo de Ciencias de la Tierra y Ambiente (GC-TA) de la Universidad de Cuenca.

Como resultado de este proceso se obtiene el listado de estaciones meteorológicas que actualmente se encuentran instaladas en el cantón Cuenca con su ubicación geográfica, lo que permite definir las áreas de cobertura de la red a instalar.

3.3.1.2. Visitas de campo

Una vez culminada la etapa de depuración de datos, se ejecutan visitas de campo en las diferentes parroquias urbanas y rurales del cantón, ubicando los posibles terrenos públicos o privados según corresponda, tomando datos como coordenadas, alturas, parroquia, entre otras. A partir de esta información se crea un archivo de puntos en formato *shape*, el cual permite ubicar los lugares para el emplazamiento.

3.3.1.3. Selección de criterios y ponderación

Realizada la georreferenciación de los lugares visitados, se procede a elaborar una tabla de criterios de ponderación para valoración de cada posible lugar establecido, estos criterios se seleccionan de acuerdo a parámetros analizados para la instalación de estaciones meteorológicas, y se les asigna un valor según su importancia en una escala común, empezando de cero con intervalos de 2,5 hasta llegar a 10, siendo los valores más altos los más convenientes para la localización de las estaciones (Korkut et al., 2009).

3.3.1.4. Análisis espacial

Para el análisis espacial se realizan varios shapes-mapas que consideran:

- Modelo digital del terreno
- Mapa de pendientes
- Mapa de distancias a río y cuerpos de agua

Con la información estructurada se aplica la ponderación para la tabla de atributos que aportará datos para definir la selección de los lugares de emplazamiento.

3.3.1.5. Elección de lugares para el emplazamiento

Con los datos antes mencionados se identifican los sitios que mejores prestaciones tienen de acuerdo a los criterios de selección, y se realiza una visita de campo a cada uno, para posteriormente en una reunión con todo el equipo de trabajo determinar los sitios finales para el emplazamiento.

3.3.1.6. Selección y emplazamiento de estaciones meteorológicas

Para este punto se define el tipo de estación meteorológica a instalar de acuerdo a las variables a medir considerando la tecnología de los sensores y la transmisión de la información; además es importante identificar como se miden las variables y los intervalos de tiempo en los que se ejecuta este proceso. Definidas las estaciones se requiere establecer la logística de implementación de acuerdo a la distancia a los lugares, clima y su geografía.

3.3.2. Caracterización de la radiación solar en el cantón Cuenca durante los años 2014 – 2015

En este punto se recopila información medida por las estaciones meteorológicas en lo que corresponde a radiación solar global, se realiza un control de calidad de los datos obtenidos, ya que por condiciones de los sitios de emplazamiento o por circunstancias no controladas de los equipos pueden existir datos faltantes en fechas establecidas, con esto procede a realizar la complementación correspondiente; luego se cuantifica la radiación existente y se calcula el aporte energético que la radiación ofrece en las diferentes zonas para cada mes en los años 2014 y 2015.

3.3.2.1. Control de calidad y complementación de datos faltantes

La información faltante se completa utilizando el modelo matemático de Angström – Prescott modificada por Page, el cual permite estimar el recurso solar en una zona determinada (Martínez Aguirre & Asitimbay Chávez, 2015). El procedimiento consiste en hacer uso de varias ecuaciones correlacionadas entre sí, las cuales permiten calcular la radiación extraterrestre (H_e) según la

ubicación geográfica del área de interés, para luego emplear la ecuación de Page y así obtener la radiación sobre una superficie horizontal (H_0).

La correlación de Angström – Page para determinar la radiación solar global faltante sobre una superficie horizontal se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Correlación de Angström – Page para determinar la radiación solar global (Martínez Aguirre & Asitimbay Chávez, 2015)

Descripción	Ecuación
Horas teóricas de brillo solar (h)	$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$
Radiación extraterrestre (J/m^2)	$H_e = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \frac{360 \times z}{365} \right] \cdot [\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin h_s + \frac{2\pi h_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \delta]$
Horas reales (h)	$HSP_{Ecuador} = 9$
Radiación solar en superficie horizontal (Wh/m^2)	$H_0 = H_e \left(a + b \frac{n_{reales}}{N} \right)$

Donde:

I_{sc} es la constante solar $1366 \left[\frac{\text{julios}}{\text{m}^2 \times \text{s}} \right]$

z es número del día del año.

ϕ es la latitud del lugar

δ es la declinación solar

h_s es el ángulo horario de la puesta de sol para una superficie horizontal.

n_{real} son las horas de insolación

a y b son coeficientes de correlación que depende del lugar de análisis.

3.3.2.2. Cálculo de radiación incidente mensual y anual para el cantón Cuenca en los años 2014 – 2015

Para realizar los cálculos correspondientes, se toman los valores complementados diarios y las horas de sol establecidas, se suman los valores para encontrar el total diario y se suman los totales diarios de cada mes para obtener el total mensual, por último, se toman los totales mensuales y se obtiene el valor de energía incidente total anual.

3.4. Caracterización de colectores solares de tubos de vacío

Para el caso en estudio se implementa la instalación piloto, se utilizan dos tipos de colectores solares que se instalan en dos viviendas del cantón Cuenca, uno en la zona urbana y otro en la zona rural, el primero es un calentador de tubos de vacío evacuado simple y el otro es un calentador de tubos de vacío con tubo de calor, que son los que comercialmente se pueden conseguir en el Ecuador; para cada uno de ellos se realiza el análisis teórico correspondiente fundamentado en los principios de la termodinámica y la transferencia de calor, y los valores obtenidos se compararan con los datos medidos durante un año para establecer sus diferencias, realizar el factor de corrección correspondiente y obtener el modelo matemático específico para cada uno. En este punto también se demuestra la tercera hipótesis planteada en la matriz de consistencia (Anexo E), para esto en primer lugar se realiza un análisis de tendencia lineal de Pearson y posteriormente un análisis de igualdad de medias utilizando la prueba T de student de igualdad de medias.

Lo que se pretende obtener son los valores de cálculo para determinar el calor útil (Q_u) ecuación (3.4), que vendría a ser igual al calor incidente (Q_{inc}) que es el que proviene de la radiación solar menos el calor de perdidas (Q_{per}) que se dan en el proceso de transferencia de calor

$$Q_u = Q_{inc} - Q_{per} \quad (3.4)$$

3.4.1. Calentador solar de tubos de vacío evacuados simple

Para determinar la eficiencia η de los colectores solares se utiliza la ecuación (3.5).

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{inc}} \quad (3.5)$$

Para el cálculo del calor incidente se tiene la ecuación (3.6).

$$Q_{inc} = I_p \times \alpha_s \times A \quad (3.6)$$

Donde:

I_p es la irradiación promedio en el lugar de análisis [W/m^2].

A es el área de captación de la radiación multiplicado por el número de tubos [m^2].

α_s es el factor de corrección de la radiación incidente que llega a los tubos de vacío y es determinado por la ecuación (3.7).

$$\alpha_s = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (3.7)$$

Donde:

τ es la transmisividad de los tubos de vidrio.

α es la absorptividad de los tubos.

ρ_d es la reflectancia difusa de los tubos.

Para el cálculo del área de incidencia se debe tomar en cuenta que la radiación solar cualquiera que sea la ubicación del sol solamente afectará la mitad de los tubos de vacío, por lo tanto, solo se tomará en cuenta la mitad de la periferia como se muestra en la ecuación (3.8).

$$A = \frac{d_i \times \pi \times L \times \text{número de tubos}}{2} \quad (3.8)$$

El siguiente proceso es determinar las pérdidas para esto se considera pérdidas por conducción, convección y radiación en todo el calentador como se muestra en la Figura 3.2.

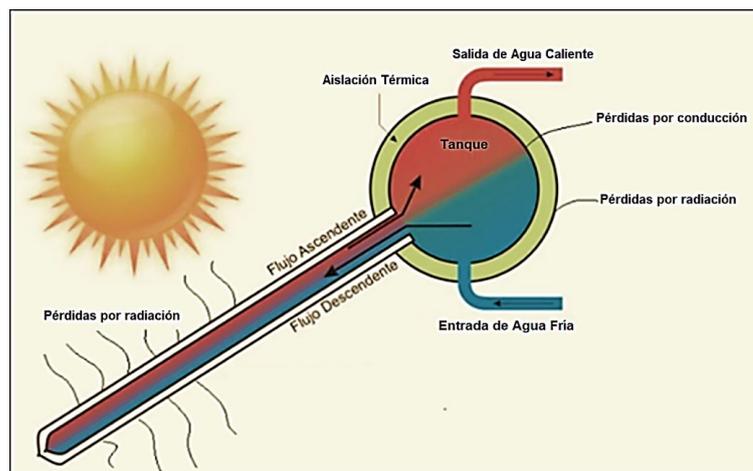


Figura 3.2: Pérdidas de calor en un calentador solar de tubos de vacío (Jiménez et al., 2014)

El total de las pérdidas está dado por la sumatoria de las pérdidas obtenidas en los tubos de vacío y las pérdidas del tanque acumulador, por lo tanto, la expresión para el cálculo de las pérdidas totales está dado por la ecuación (3.9).

$$Q_{per} = Q_{p-tubos} + Q_{p-tanque} \quad (3.9)$$

En el caso de los tubos de vacío las pérdidas se generan únicamente por radiación, ya que esta es su ventaja frente a otros sistemas; para el cálculo de las pérdidas en los tubos se tiene la ecuación (3.10).

$$Q_{p-Tubos} = U_{lr} \times A(T_c - T_a) \quad (3.10)$$

Donde:

U_{lr} es el coeficiente de pérdidas de calor por radiación de los tubos.

A es el área de captación.

T_c es la temperatura de la cubierta.

T_a es la temperatura ambiente.

El cálculo de U_{lr} se lo realiza mediante la ecuación propuesta por Duffie & Beckman (2013) en la cuál relacionan las pérdidas por radiación de la superficie del tubo receptor hacia el tubo de cubierta ($h_{r, r-c}$) y las pérdidas por radiación del tubo de cubierta hacia el ambiente ($h_{r, c-a}$) como se muestra en la ecuación (3.11).

$$U_{ir} = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r, c-a} \times A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} \right]^{-1} \quad (3.11)$$

Para el cálculo del coeficiente de convección se utiliza la ecuación (3.12).

$$h_w = Nu \times \frac{K}{D} \quad (3.12)$$

El coeficiente de transferencia de calor entre los dos tubos concéntricos, el tubo receptor y el tubo de la cubierta $h_{r, r-c}$ no se ve atenuado por el vacío existente entre estos, por lo tanto, su valor será calculado mediante la ecuación (3.13):

$$h_{r, r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2) \times (T_r + T_c)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2 \times A_r}{\varepsilon_2 \times A_c}} \quad (3.13)$$

Donde:

ε_1 es la emisividad del tubo receptor.

ε_2 es la emisividad del tubo de cubierta.

F_{12} es el factor de visión.

T_c es la temperatura de la cubierta.

T_r es la temperatura del receptor.

Para el cálculo de pérdidas en el acumulador se realiza una analogía con redes de resistencias térmicas ya que el tanque está conformado por tres materiales como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Analogía de resistencias para el tanque acumulador multicapa (Jiménez et al., 2014)

Las pérdidas se producen en el tanque de almacenamiento por conducción, convección y radiación; ($Q_{p-tanque}$) y están dadas por la ecuación (3.14):

$$Q_{p-Tanque} = Q_{p-cond} + Q_{p-conv} + Q_{p-rad} \quad (3.14)$$

Para las pérdidas por conducción en la periferia del tanque se considera las ecuaciones (3.15) y (3.16).

$$Q_{p-cond} = \frac{T_i - T_a}{R_{Total}} \quad (3.15)$$

$$R_{Total} = R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3} \quad (3.16)$$

Donde:

T_i es la temperatura en el interior del tanque [°C].

T_a es la temperatura del ambiente [°C].

R_{Total} es la sumatoria de las resistencias térmicas por conducción en cada una de las capas en el tanque acumulador.

Para el cálculo de cada una de las resistencias por conducción se aplica la ecuación (3.17):

$$R_{cond} = \frac{\ln \frac{D}{d}}{2 \times \pi \times L \times K} \quad (3.17)$$

Donde:

D es el diámetro mayor de la capa que se esté analizando [m].

d es el diámetro menor de la capa [m].

L es la longitud del cilindro [m].

K es el coeficiente de conductividad térmica de los materiales $\left[\frac{W}{m^2 \times ^\circ C}\right]$.

Para las pérdidas en las tapas del tanque se utiliza de igual manera una analogía con redes de resistencias térmicas ya que el tanque está conformado por tres materiales como se muestra en la Figura 3.4.

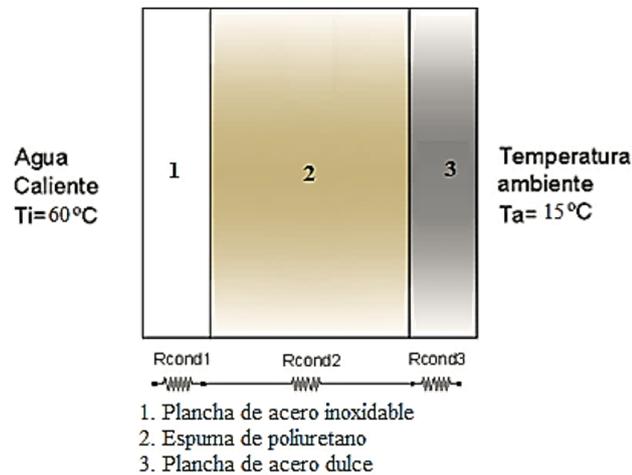


Figura 3.4: Analogía de resistencias para la tapa del tanque acumulador multicapa (Jiménez et al., 2014)

El procedimiento de cálculo es el mismo que se explicó en los párrafos anteriores, pero se modifica la expresión de las resistencias por la ecuación (3.18) considerando que las superficies son planas.

$$R = \frac{e}{K \times A} \quad (3.18)$$

Donde:

e es el espesor de las diferentes capas de aislamiento [m].

K es el coeficiente de conductividad térmica $\left[\frac{W}{m^2 \times ^\circ C}\right]$.

A es el área de conducción de la capa de aislamiento [m²].

Realizando la suma de la resistencia total del cilindro y la de las tapas se obtiene la resistencia total que reemplazando en la ecuación (3.15) permite calcular las pérdidas totales de conducción en el tanque (Q_{p-cond})

Para las pérdidas por convección en el tanque se utiliza la ecuación (3.19).

$$Q_{p-convec} = hA_t(T_t - T_a) \quad (3.19)$$

Donde:

h es el coeficiente de transferencia de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2 \times ^\circ C}\right]$.

A_t es el área transversal del tanque de almacenamiento [m²].

T_t es la temperatura en la superficie exterior del tanque [°C].

T_a es la temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$].

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección se utiliza la ecuación (3.20):

$$h = \frac{N_u \times K}{D} \quad (3.20)$$

Donde:

N_u es el número de Nusselt.

K es el coeficiente de conductividad térmica del aire.

D es el diámetro exterior del tanque de almacenamiento.

Para el cálculo de las pérdidas por radiación en el acumulador se utiliza la ecuación (3.21):

$$Q_{p-rad} = \varepsilon \sigma A_t (T_t^4 - T_a^4) \quad (3.21)$$

Donde:

ε es la emisividad de la superficie del tanque.

σ es el coeficiente de Stefan Boltzman.

A_t es el área transversal del tanque de almacenamiento [m^2].

3.4.2. Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

El proceso de cálculo de eficiencia y de pérdidas en el tanque es el mismo que para tubos de vacío evacuados simples; la diferencia para este tipo de calentador está en el sistema de tubos de vacío con tubos de calor en donde interviene un elemento adicional en el intercambio que modificará el valor de eficiencia en el sistema. Para este caso en particular el U_{lr} será ahora U_l que es el coeficiente de pérdidas de calor por radiación de los tubos.

El cálculo de U_l para este tipo de calentador se lo realiza mediante la fórmula propuesta por Duffie & Beckman (2013), en la cual relacionan las pérdidas por radiación de la superficie del tubo receptor hacia el tubo de cubierta ($h_{r, r-c}$), las pérdidas por radiación del tubo de cubierta hacia el ambiente ($h_{r, c-a}$) y, además, se consideran las pérdidas entre el tubo de calor hacia el tubo receptor ($h_{r, tc-r}$) como se muestra en la ecuación (3.22):

$$U_l = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r, c-a} \times A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} + \frac{1}{h_{r, tc-r}} \right]^{-1} \quad (3.22)$$

El término que se incorpora considera las pérdidas entre el tubo de calor hacia el tubo receptor ($h_{r, tc-r}$) y se calcula con la ecuación (3.23):

$$h_{r, tc-r} = \frac{\sigma \times 4 \times T^3}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + 1 \frac{(1-\varepsilon_2)A_1}{\varepsilon_2 A_2}} \quad (3.23)$$

Donde:

ε_1 es la emisividad del cobre.

ε_2 es la emisividad del tubo de vidrio.

A_1 es el área del tubo de calor.

A_2 es el área del tubo de vidrio.

σ es el coeficiente de Stefan Boltzman.

T es la temperatura del receptor.

3.4.3. Determinación práctica de la eficiencia del colector de tubos de vacío evacuados simple y del colector de tubos de vacío con tubo de calor.

Para esta fase se instalan los calentadores en las viviendas antes mencionadas con la ayuda de sistemas auxiliares en el un caso con resistencia eléctrica y en el otro con un calentador de paso a base de GLP y se realiza el monitoreo de las siguientes variables:

- Temperatura ambiente [°C]
- Temperatura del agua en el tanque acumulador [°C]
- Temperatura de ingreso del agua de la red [°C]
- Volumen de agua [litros]
- Número de activaciones del calentador auxiliar
- Tiempo de activación del sistema auxiliar

Con los valores medidos durante un año se calcula la eficiencia del calentador utilizando la ecuación (3.24):

$$\eta_s = \frac{\dot{m} \times C_p \times (T_s - T_i)}{Q_{inc}} \quad (3.24)$$

Donde:

\dot{m} es el flujo másico de agua que circula por el calentador [kg/s].

C_p es el calor específico del agua [J/kg·K].

T_s es la temperatura de salida del agua [°C].

T_i es la temperatura de ingreso del agua [°C].

Q_{inc} es la energía útil proveniente del sol [W/m^2].

Finalmente, se comparan los datos medidos con los datos calculados y se realizan las correcciones correspondientes.

3.5. Propuesta de un modelo analítico para establecer factibilidad de implementación de sistemas solares para obtención de ACS y determinar la disminución de la contaminación ambiental

En este punto se define la factibilidad de implementación de sistemas solares para obtención de ACS considerando la cantidad de energía solar medida durante los años 2014 y 2015 para las parroquias del cantón Cuenca.

Para el análisis se parte de los datos de radiación solar medidos y la energía solar cuantificada para analizar la factibilidad de implementación de dos tipos de colectores solares, el de tubos de vacío evacuados simples y el de tubos de vacío con tubo de calor, para esto se calcula en función de la radiación la energía que estos calentadores son capaces de aportar para obtener ACS considerando su eficiencia, se compara con la demanda energética determinada en el trabajo de campo y se establece el porcentaje de aporte que podría generar estos sistemas y la disminución que se generaría en emisiones de CO_2 si se implementaran los mismos.

Además, se determinan los lugares en donde resultaría más eficiente realizar la implementación y la cantidad de energía que se debería generar con fuentes convencionales complementarias para garantizar una constante dotación de agua caliente en las viviendas.

Capítulo 4

Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las cuatro fases en las que se desarrolla el proyecto y el análisis correspondiente que sustenta la demostración de las hipótesis planteadas, también se realiza una discusión de los resultados considerando artículos científicos y tesis doctorales, que se han desarrollado en temas similares en diferentes países.

4.1. Resultados del trabajo de campo para la identificación de la situación actual de la demanda de ACS en el cantón Cuenca

4.1.1. Proceso de validación del contenido del cuestionario

En primer lugar, se recopilan los datos emitidos por los 5 jueces en el instrumento definido para el efecto, para esto, se asigna de acuerdo a la escala de Likert valores de 1 a 5, que corresponden a la apreciación de cada uno de los jueces considerando letras que presentan el siguiente significado:

- 1 – Optimo (O) – Fuerte (F)
- 2 – Satisfactorio (S) – Bastante (B)
- 3 – Bueno (B) – Regular (R)
- 4 – Regular (R) – Poca (P)
- 5 – Deficiente (D) – Mínima (M)

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Resultado emitidos por los jueces sobre el cuestionario (Elaboración propia)

Revisor	item	Congruencia (guarda una relación lógica)					Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)					Tendensiosidad (sesgo)					Observación
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
		D	R	B	S	O	D	R	B	S	O	F	B	R	P	M	
1	1a					X					X					X	Aplicable
	1b				X						X			X			Mejorar
	2					X					X					X	Aplicable
	3					X					X					X	Aplicable
	4					X				X						X	Aplicable
	5				X						X				X		Aplicable
	6				X						X				X		Aplicable
2	1a					X					X					X	Aplicable
	1b				X						X				X		Aplicable
	2					X					X					X	Aplicable
	3					X					X					X	Aplicable
	4					X					X					X	Aplicable
	5					X					X					X	Aplicable
	6					X					X				X		Aplicable
3	1a					X					X					X	Aplicable
	1b				X						X			X			Mejorar
	2				X						X				X		Aplicable
	3					X					X				X		Aplicable
	4					X					X				X		Aplicable
	5					X					X					X	Aplicable
	6					X					X					X	Aplicable
4	1a					X					X					X	Aplicable
	1b				X					X					X		Aplicable
	2					X				X						X	Aplicable
	3					X					X					X	Aplicable
	4				X					X					X		Aplicable
	5					X					X					X	Aplicable
	6				X					X					X		Aplicable
5	1a					X					X					X	Aplicable
	1b					X					X				X		Aplicable
	2					X					X					X	Aplicable
	3					X					X					X	Aplicable
	4				X				X						X		Aplicable
	5					X					X					X	Aplicable
	6				X						X				X		Aplicable

Para el cálculo del coeficiente de validez V de Aiken se utiliza el programa Excel, en primer lugar se tabulan los resultados utilizando la escala de Likert como muestra la Tabla 4.2

Tabla 4.2: Tabulación de resultados utilizando escala de Likert (Elaboración propia)

Jueces	Congruencia (guarda una relación lógica)						Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)						Tendensiosidad									
	1a	1b	2	3	4	5	6	1a	1b	2	3	4	5	6	1a	1b	2	3	4	5	6	
1	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	4	4
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
3	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5
4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5

Posteriormente se transforman los datos de Likert en % y se obtiene la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Coeficiente de validación de Aiken (Elaboración propia)

Jueces	Congruencia (guarda una relación lógica)						Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)						Tendensiosidad									
	1a	1b	2	3	4	5	6	1a	1b	2	3	4	5	6	1a	1b	2	3	4	5	6	
1	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75
2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75
3	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00
4	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
V - Aiken	1,00	0,85	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	1,00	0,95	0,95	1,00	0,85	1,00	0,95	1,00	0,85	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90
V - Aiken por dimensión	0,93						0,96						0,94									
V - Aiken del instrumento	0,94																					

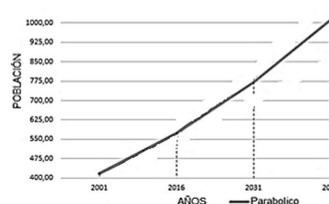
Para las preguntas se ha conseguido una valoración superior a 0,8, esto da a conocer que las mismas, guardan congruencia, están claras y su tendenciosidad es mínima, esto sucede igual para el grupo de preguntas de cada ámbito y para todo el cuestionario.

4.1.2. Estimación de la población

Para estimar la población al año 2016 se cuenta con tres datos anteriores de censo de población realizados en el cantón Cuenca en los años 1990, 2001 y 2010 (INEC, 2016) como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Número de habitantes del cantón Cuenca - años 1990, 2001, 2010 (INEC, 2016)

Año	Urbana	Rural	Total
1990	194 981	136 047	331 028
2001	277 374	140 258	417 632
2010	331 888	173 697	505 585



Considerando esta condición se realiza la predicción para el año 2016 utilizando la ecuación (3.1) y se obtiene los valores mostrados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Proyección de número de habitantes del cantón Cuenca para el año 2016 (Elaboración propia)

Año	Urbana	Rural	Total
2016	361 781	210 986	572 767

La población en estudio está conformada por el número de hogares que existen en el cantón Cuenca, se estima que un hogar promedio que habita en una vivienda está integrado por 5 miembros, asumiendo esta condición se tiene que en la zona urbana existen 75 356 hogares y en la zona rural 42 197 hogares, por lo que se podría asumir que en el cantón Cuenca existen 14 553 hogares con promedio de 5 personas (Tabla 4.6) que serán considerados como universo de trabajo.

Tabla 4.6: Número de hogares con 5 miembros que habitan una vivienda en el cantón Cuenca en el año 2016 (Elaboración propia)

N° de familias en el sector Urbano	N° de familias en el sector Rural	N° de familias en el Cantón Cuenca
72 356	42 197	114 553

4.1.3. Determinación de la muestra

Para determinar la muestra se aplica la ecuación (3.2) considerando el nivel de confianza $k = 95\%$, límite de error $e = 0,06$, probabilidad de éxito $p = 0,6$ y probabilidad de fracaso $q = 0,4$.

Remplazando los valores en la ecuación se tiene:

Tamaño de la muestra zona urbana:

$$n = \frac{2^2 \times 0,6 \times 0,4 \times 72356}{(0,06^2 \times (72356 - 1)) + 2^2 \times 0,6 \times 0,4} = 266$$

Tamaño de la muestra zona rural:

$$n = \frac{2^2 \times 0,6 \times 0,4 \times 42197}{(0,06^2 \times (42197 - 1)) + 2^2 \times 0,6 \times 0,4} = 265$$

La muestra significativa con la que se va a trabajar para recopilar información es de 531 hogares divididos en 266 en la zona urbana y 265 en la zona rural (Tabla 4.7).

Tabla 4.7: Tamaño de la muestra (Elaboración propia)

Zona	N° de hogares
Urbana	266
Rural	265
Total	531

Las condiciones de las parroquias en la zona urbana son similares y en la zona rural presentan algunas especificidades debido a su ubicación geográfica; por esto se considera necesario realizar una estratificación en función de cada parroquia rural para definir un número específico de hogares para el levantamiento de la información (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Estratificación de la muestra para la zona rural del cantón Cuenca (Elaboración propia)

Parroquia	Número de habitantes	Número de familias	Número de encuestas
Baños	16 851	3 370	26
Chaucha	1 297	259	2
Checa	2 741	548	4
Chiquintad	4 826	965	7
Cumbe	5 546	1 109	8
Llacao	5 342	1 068	8
Molleturo	7 166	1 433	11
Nulti	4 324	865	7
Octavio Cordero	2 271	454	3
Paccha	6 467	1 293	10
Quingeo	7 450	1 490	11
Ricaurte	19 361	3 872	30
San Joaquín	7 455	1 491	11
Santa Ana	5 366	1 073	8
Sayausi	8 392	1 678	13
Sidcay	3 964	793	6
Sinincay	15 859	3 172	24
Tarqui	10 490	2 098	16
Turi	8 964	1 793	14
Valle	24 314	4 863	37
Victoria del Portete	5 251	1 050	8
Total	173 697	34 739	265

En la zona urbana no se realiza un proceso de estratificación de las parroquias debido a que las mismas presentan similares condiciones.

4.1.4. Análisis de datos levantados en el cuestionario a través de la encuesta

El cuestionario utilizado se encuentra en el Anexo A y para recolectar la información de acuerdo al análisis antes desarrollado en la zona urbana se realizan 266 y en la zona rural 265 encuestas.

Luego de aplicar las encuestas en cada uno de los hogares de las zonas urbana y rural del cantón Cuenca, y utilizando el *software* SPSS se obtienen

los siguientes resultados:

Pregunta 1. Literal a): ¿Utiliza agua caliente para sus actividades regulares de limpieza como bañarse, lavado de manos, lavado de vajilla, lavado de ropa, etc.?

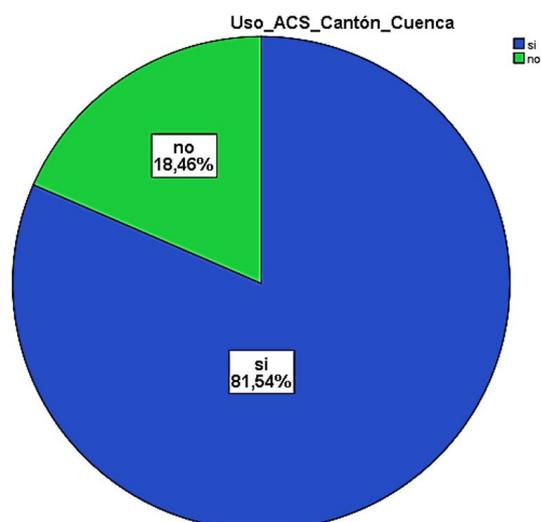


Figura 4.1: Uso del agua caliente en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

En el cantón Cuenca un 81,54 % de los hogares usan agua caliente para uso sanitario, mientras el 18,46 % no la utilizan, como se muestra en la Figura 4.1.

En la zona urbana el 47,57 % y en la zona rural el 35,97 % usan agua caliente, y no la utilizan el 4,52 % en la zona urbana y el 13,94 % en la zona rural como indica la Figura 4.2.

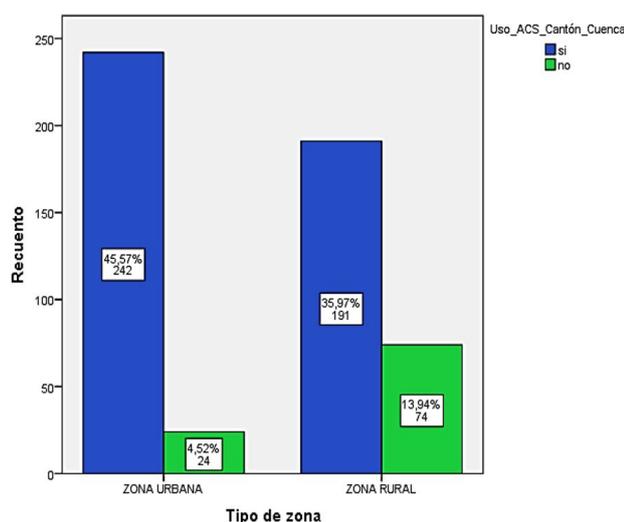


Figura 4.2: Uso de ACS en la zona urbana y rural del cantón Cuenca (Elaboración propia)

Pregunta 1. Literal b): Si su respuesta es NO, escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante.

Tabla 4.9: Motivos por los cuales un hogar cuencano no dispone de ACS (Elaboración propia)

	Muy importante		Importante		Menos importante		Nada importante		Total
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%	
Muy costoso	51	52	24	24,5	14	14,3	9	9,2	98
Contamina el medio	7	7,1	7	7,1	16	16,3	68	69,4	98
Difícil de comprar	14	14,3	43	43,9	33	33,7	8	8,2	98
Difícil de instalar	26	26,5	27	27,6	32	32,7	13	13,3	98

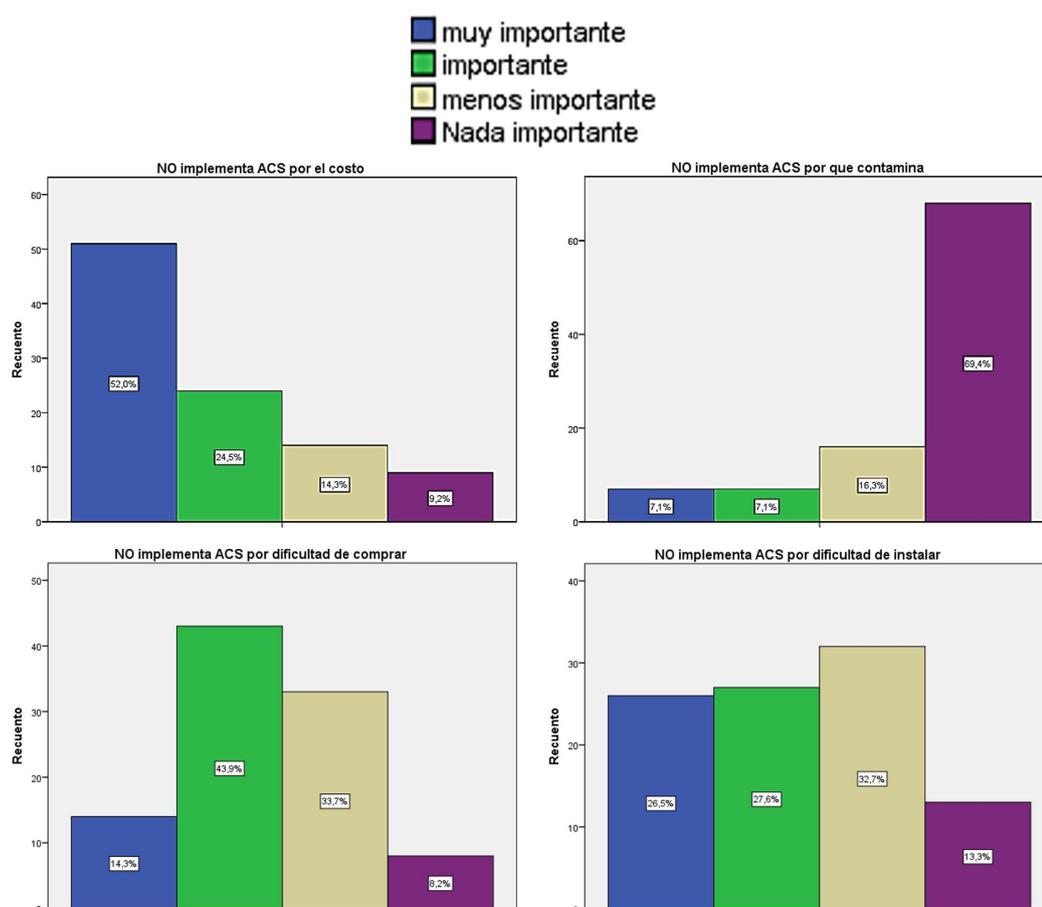


Figura 4.3: Motivos por los cuales un hogar cuencano no dispone de ACS (Elaboración propia)

El costo del sistema con un 52%, es el factor más importante para no implementar un sistema de ACS; solamente un 9,2% indica que es el factor nada importante; en lo que se refiere a la contaminación ambiental el 7,1% indica que es más importante y el 69,4% que es nada importante; con referencia a la dificultad para comprar y la dificultad para instalar los porcentajes varían entre 26% y 43% entre más importante, importante y menos importante, estos resultados se pueden identificar en la Tabla 4.9 y la Figura 4.3.

Pregunta 2. ¿Incluido Ud. cuantas personas habitan en su casa?

En el cantón Cuenca el número de habitantes por hogar se encuentra comprendido entre 3 y 6, como se muestra en la Figura 4.4; con una media de 4,1 y una desviación estándar de 1,5, la tendencia de la curva esta hacia la derecha y se mantiene para la zona urbana y la rural, por lo que el valor considerado de cinco miembros por hogar es una alternativa válida para el análisis.

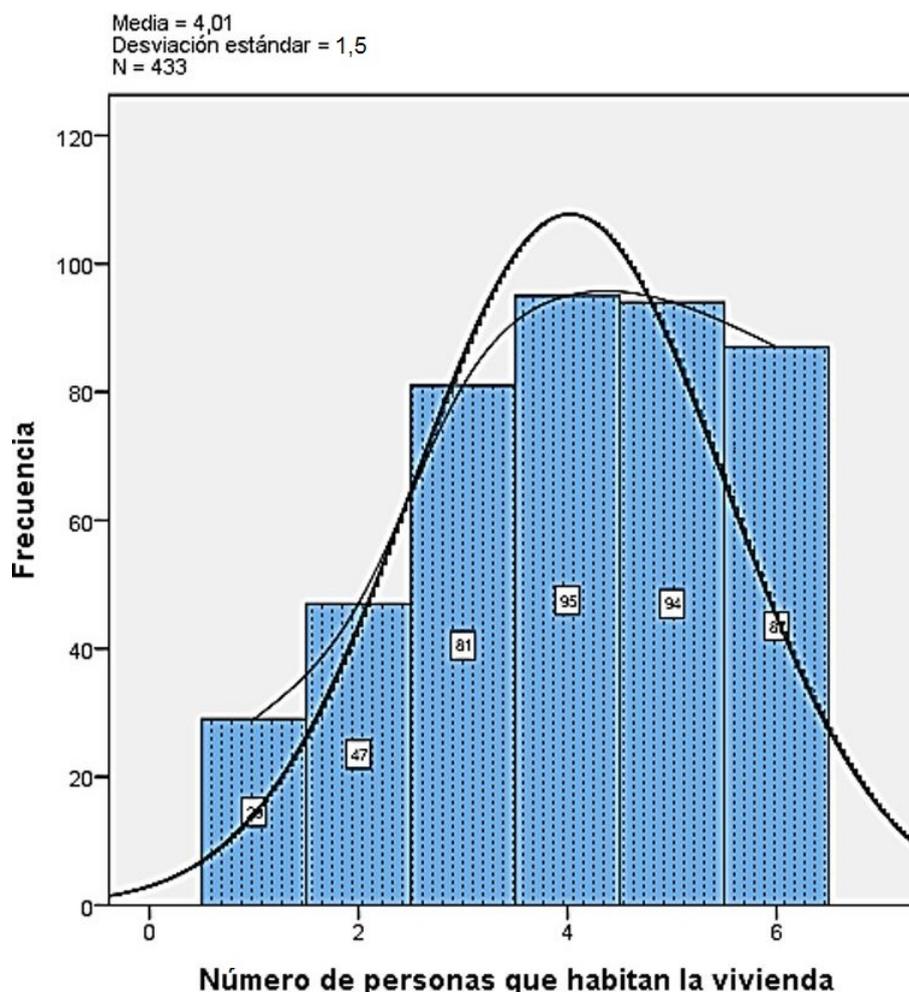


Figura 4.4: Número de habitantes por hogar en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Pregunta 3: Indique el tipo de sistema de calentamiento de agua que utiliza en su hogar para las siguientes actividades.

La Tabla 4.10 y Figura 4.5 muestran la tendencia de las familias cuencanas, con respecto a los sistemas de calentamiento de agua, empleados en actividades de: tomar una ducha, lavado de manos, fregadero de la cocina y lavandería, teniéndose un predominio de los sistemas que emplean GLP y energía eléctrica.

Tabla 4.10: Uso de ACS para ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Sistemas usados para ACS	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha	433	81,50 %	98	18,50 %	531	100,00 %
Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos	180	33,90 %	351	66,10 %	531	100,00 %
Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina	204	38,40 %	327	61,60 %	531	100,00 %
Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería	40	7,50 %	491	92,50 %	531	100,00 %
				Casos Válidos		Total
Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha	Gas (GLP)		259		259	
	Resistencia eléctrica (RE)		166		166	
	Inducción eléctrica (IE)		6		6	
	Calentador solar (CS)		2		2	
Total				433		433
Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos	Gas (GLP)		179		179	
	Calentador solar (CS)		1		1	
Total				180		180
Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina	Gas (GLP)		202		202	
	Inducción eléctrica (IE)		1		1	
	Calentador solar (CS)		1		1	
Total				204		204
Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería	Gas (GLP)		40		40	
Total				40		40

Los datos recopilados en la Tabla 4.10 y en la Figura 4.5 muestran la realidad de los tipos de calentadores utilizados tanto en la zona urbana como en la rural del cantón Cuenca, en las dos zonas se mantiene un predominio el sistema a base de GLP, seguido de los calentadores eléctricos, los sistemas híbridos y a base de energía solar mantienen una participación que se podría considerar despreciable.

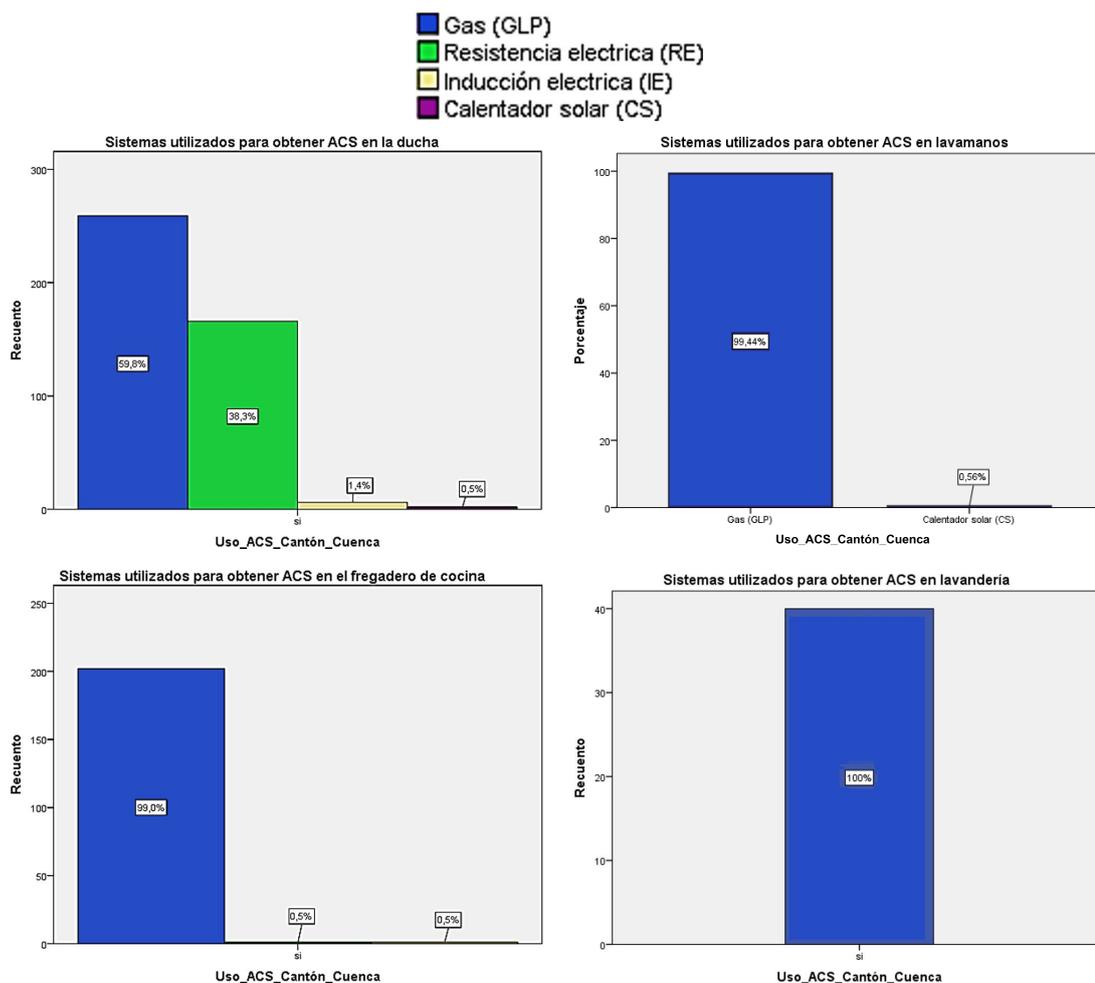


Figura 4.5: Sistemas utilizados por los hogares para obtener ACS en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Tanto para la zona urbana como para zona la rural la tendencia se mantiene, es decir la gran mayoría en sus diferentes actividades en donde utiliza ACS tiene instalado un sistema a base de GLP y en menor cantidad sistemas eléctricos como se muestra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería en zona urbana y rural del cantón Cuenca (Elaboración propia)

		Casos Válidos		Total
		Urbana	Rural	
Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha	Gas (GLP)	170	89	259
	Resistencia eléctrica (RE)	66	100	166
	Inducción eléctrica (IE)	5	1	6
	Calentador solar (CS)	1	1	2
Total		242	191	433
Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos	Gas (GLP)	125	54	179
	Calentador solar (CS)	0	1	1
Total		125	55	180
Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina	Gas (GLP)	136	66	202
	Inducción eléctrica (IE)	1	0	1
	Calentador solar (CS)	0	1	1
Total		137	67	204
Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería	Gas (GLP)	35	5	40
Total		35	5	40

Pregunta 4: Considerando lo indicado en la pregunta 3 determine el tiempo total diario para cada actividad sumando el tiempo ocupado por cada miembro de familia.

Tabla 4.12: Tiempo total de uso de ACS en ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería (Elaboración propia)

		Gas (GLP)	Resistencia eléctrica (RE)	Inducción eléctrica (IE)	Calentador solar (CS)	Total
Tiempo total de uso de agua caliente al día en la ducha	30-45 min	217	25	0	0	242
	45-60 min	42	116	0	0	158
	60-75 min	0	25	4	2	31
	> a 75 min	0	0	2	0	2
Total		259	166	6	2	433
Tiempo total de uso de agua caliente al día en el lavamanos	30-45 min	169				169
	45-60 min	5				5
	60-75 min	1				1
Total		175				175
Tiempo total de uso de agua caliente al día en el fregadero de cocina	30-45 min	156				156
	45-60 min	35				35
	60-75 min	5				5
Total		196				196
Tiempo total de uso de agua caliente al día en la lavandería	60-75 min	33				33
	> a 75 min	7				7
Total		40				40

Los datos presentados en la Tabla 4.11 identifican que fundamentalmente se utiliza ACS para la ducha, el lavamanos y el fregadero de cocina tanto en la zona urbana como en la rural con un tiempo preponderante que varía entre 30 y 45 minutos por todo el grupo familiar, es decir aproximadamente 9 minutos diarios por miembro del hogar, dato que permitirá estimar la cantidad de ACS

que se utiliza en una vivienda promedio. Cabe notar que en la zona rural existe un 2% de hogares que utilizan mayor tiempo agua caliente en el lavamanos.

Pregunta 5: ¿Cómo califica el actual sistema de calentamiento de agua que Ud. dispone?

Tabla 4.13: Calificación del sistema actual para obtener ACS por parte de los usuarios (Elaboración propia)

	Muy Bueno		Bueno		Regular		Malo		Total
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%	
A gas (GLP)	73	27	166	62	26	10	4	1	269
Resistencia eléctrica (RE)	15	10	101	65	32	25	8	5	156
Inducción eléctrica	0	0	3	100	0	0	0	0	3
Calentador solar	0	0	2	100	0	0	0	0	2
Solar y Gas(GLP)	0	0	3	100	0	0	0	0	3

En la Tabla 4.12 se observa que los usuarios de sistemas actuales para obtener ACS a base de GLP y resistencia eléctrica los califican de muy buenos y buenos en su mayoría, y aunque son pocos los usuarios de sistemas de inducción eléctrica, calentador solar y calentador solar con GLP consideran a estos sistemas como buenos.

Pregunta 6: ¿Cuáles son los factores que consideró al momento de elegir su actual sistema de calentamiento de agua?

Tabla 4.14: Calificación del sistema actual para obtener ACS por parte de los usuarios (Elaboración propia)

Condición para elegir el actual sistema de ACS	Muy importante	Importante	Menos importante	Nada importante
Se elige el sistemas de ACS por su bajo costo	160	117	92	64
Se elige el sistemas de ACS por fácil de instalar	138	110	130	55
Se elige el sistemas de ACS porque no contamina	80	103	90	160
Se elige el sistemas de ACS por fácil de comprar	61	104	125	143

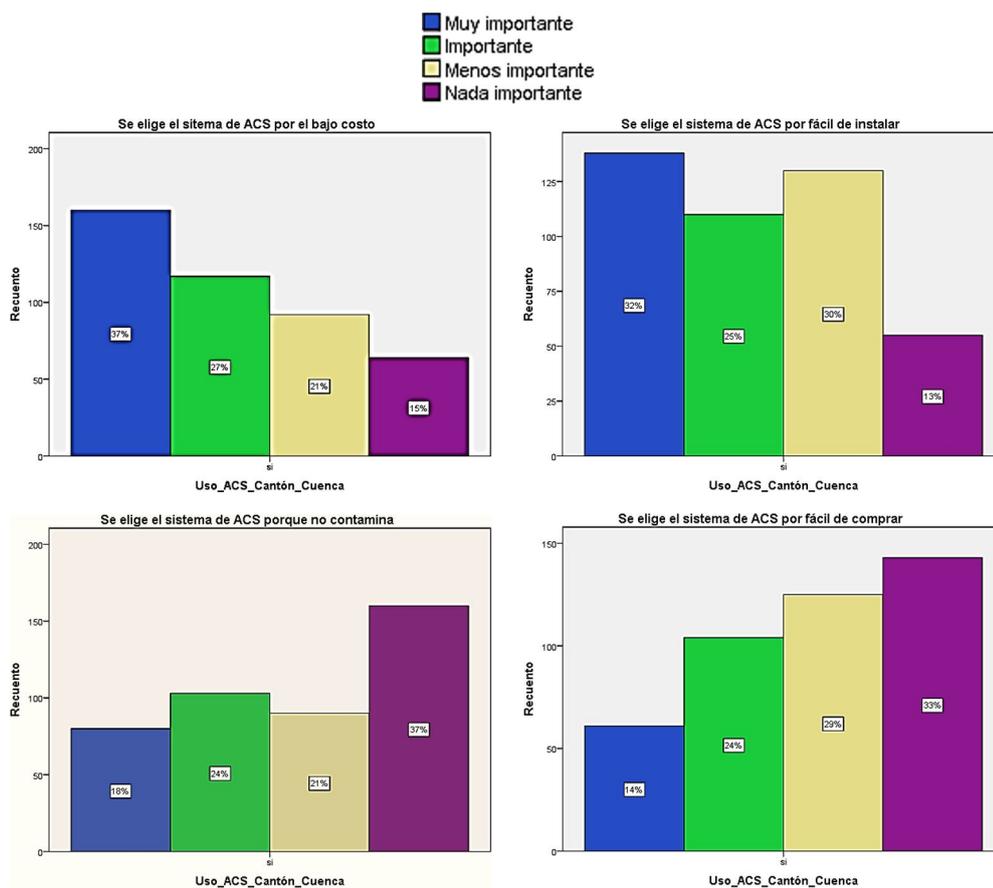


Figura 4.6: Valoración de la condición para elegir el sistema de ACS (Elaboración propia)

En la Tabla 4.13 y la Figura 4.6 se aprecia que los usuarios de ACS consideran para seleccionar el tipo de sistema, en primer lugar el costo del mismo seguido de la facilidad de instalar, en este orden de importancia le sigue la facilidad de comprar el sistema y por último la condición de contaminación ambiental. A partir de la pregunta 4 se determina el valor promedio de consumo de ACS, para esto se calcula los valores promedios de la sumatoria de los tiempos de uso para ducha, lavamanos y fregadero de cocina, en lo que corresponde a lavandería se desprecia ya que el porcentaje de usuarios en esta actividad es mínimo.

Con lo antes indicado se calcula el consumo de ACS, multiplicando el tiempo total empleado por los miembros del hogar por un consumo promedio de $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$ (Afta-asociacion, 2017), y por un factor de coincidencia pues no todos los miembros de la familia utilizan la ducha todos los días, o utilizan ACS en el lavamanos o en el fregadero de cocina, estos valores han sido identificados considerando las costumbres de uso de los habitantes del cantón Cuenca; los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 4.14.

Tabla 4.15: Cálculo del consumo efectivo de ACS por hogar de 5 miembros en el cantón Cuenca

Actividad	Tiempo promedio diario (min)	Factor de coincidencia	Tiempo diario Efectivo (min)	Caudal en tubería (m ³ /min)	Consumo efectivo (m ³ /día)
Ducha	44	0,5	22	0,006	0,13
Lavamanos	30	0,4	12	0,006	0,07
Fregadero de cocina	20	0,4	8	0,006	0,05
Total					0,25

Con el cálculo antes realizado se obtiene que el consumo efectivo de una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca es de 0,25 m³/día, es decir 0,05 m³/día por persona, es decir 50 litros de ACS/ día por persona; más de lo que una persona en la comunidad europea utiliza en este ámbito que es de 30 litros de ACS/ día (ATECYR - IDAE, 2017), esto debido a las costumbres de la población especialmente en lo referido a los tiempos utilizados en la ducha.

Para calcular la demanda de energía mensual se utiliza la ecuación (3.3).

El valor correspondiente a T_{uso} es 60 °C, mientras que para T_{red} es un promedio de 8 °C, el valor de V_{ACS} es 0,32 m³/día, conocidos los valores de los parámetros se reemplaza en la expresión considerando los días de cada mes y se determina el valor mensual y anual de energía requerida para producir ACS; los valores calculados se muestran en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16: Cálculo de la demanda de energía mensual y anual para producir ACS en un hogar de 5 miembros en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Mes	Días	Consumo (m ³ /día)	Consumo total (m ³) mensual	T red (°C)	T uso (°C)	ΔT (°C)	DACS (MJ) por mes
Enero	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Febrero	28	0,25	7,06	8	60	52	1 536,26
Marzo	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Abril	30	0,25	7,56	8	60	52	1 645,99
Mayo	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Junio	30	0,25	7,56	8	60	52	1 645,99
Julio	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Agosto	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Septiembre	30	0,25	7,56	8	60	52	1 645,99
Octubre	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Noviembre	30	0,25	7,56	8	60	52	1 645,99
Diciembre	31	0,25	7,81	8	60	52	1 700,86
Demanda por año							20 026,25

Con el valor determinado de la demanda de energía mensual y anual requerida para obtener ACS para una familia de 5 miembros se calcula la producción de CO₂, multiplicando al valor obtenido por el índice de emisiones que

para el GLP genérico es de 0,234 kg de CO₂ eq/kWh (Estrategia Aragoneza, 2017), obteniendo que se produce 2141,70 kg de CO₂ al año en una familia promedio de 5 miembros en como se muestra en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17: Proyección de la producción de kg de CO₂ al año en una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Mes	D _{ACS} (kWh) por mes	kg eq. de CO ₂
Enero	472,46	181,9
Febrero	426,74	164,29
Marzo	472,46	181,9
Abril	457,22	176,03
Mayo	472,46	181,9
Junio	457,22	176,03
Julio	472,46	181,9
Agosto	472,46	181,9
Septiembre	457,22	176,03
Octubre	472,46	181,9
Noviembre	457,22	176,03
Diciembre	472,46	181,9
Total anual	5 562,85	2 141,70

Con los datos anteriores y considerando que en el cantón Cuenca existe una población de 572 767 habitantes proyectados hasta el año 2016, se tienen entonces 114 553 hogares formados por 5 miembros que producirían un aporte a la contaminación de 245 338 160 kg eq. de CO₂ o 245 338 Tn eq. de CO₂ al año.

Tabla 4.18: Proyección de la producción de Tn eq de CO₂ al año en una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Proyección de la contaminación generada en el cantón Cuenca por concepto de obtención de ACS	245 337 765 kg eq. de CO ₂ al año
	245 338 Tn eq. de CO ₂ al año

4.1.5. Demostración de la hipótesis específica 1

El Agua Caliente Sanitaria en el Cantón Cuenca se obtiene con sistemas que provocan contaminación ambiental.

Para comprobar la hipótesis a) planteada en la matriz de consistencia (Anexo E), en primer lugar, se requiere determinar cuáles son los sistemas de obtención de ACS que se utilizan en la ciudad de Cuenca, considerando que con el cambio propuesto por el gobierno ecuatoriano en el año 2010 los sistemas que más se utilicen deben ser a base de energía eléctrica ya que se propuso un bono en el consumo de este tipo de energía y se dieron ventajas para adquirir este tipo de equipos; para esto se realiza un análisis de frecuencias y se obtiene los datos que se muestran en la Tabla 4.19:

Tabla 4.19: Frecuencias para determinar tipos de sistemas que se utilizan para obtener ACS (Elaboración propia)

Estadísticos					
		Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha	Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos	Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina	Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería
N	Válido	433	180	204	40
	Perdidos	0	253	229	393

Tabla de frecuencia					
Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Gas (GLP)	259	59,8	59,8	59,8
	Resistencia eléctrica (RE)	166	38,3	38,3	98,2
	Inducción eléctrica (IE)	6	1,4	1,4	99,5
	Calentador solar (CS)	2	0,5	0,5	100
	Total	433	100	100	

Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Gas (GLP)	179	41,3	99,4	99,4
	Calentador solar (CS)	1	0,2	0,6	100
	Total	180	41,6	100	
Perdidos	Sistema	253	58,4		
Total		433	100		

Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Gas (GLP)	202	46,7	99	99
	Inducción eléctrica (IE)	1	0,2	0,5	99,5
	Calentador solar (CS)	1	0,2	0,5	100
	Total	204	47,1	100	
Perdidos	Sistema	229	52,9		
Total		433	100		

Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Gas (GLP)	40	9,2	100	100
Perdidos	Sistema	393	90,8		
Total		433	100		

En los resultados se observa que el ACS se utiliza primordialmente en la ducha, seguido del fregadero de cocina y lavamanos, en lo que respecta a la lavandería el porcentaje es mínimo.

Con los resultados se establece que el ACS se obtiene con sistemas a base de GLP o resistencia eléctrica que provocan contaminación ambiental de acuerdo a la calculadora de emisiones establecido por Estrategia Aragona (2017) los factores de emisión que se consideran son: para electricidad

0,385 Kg de CO₂ eq/kWh y para GLP 0,234 Kg de CO₂ eq/kWh utilizando como factor de conversión 12,6389 kWh/Kg de GLP.

■ Comprobación de primera hipótesis 1

Para establecer que los sistemas que se utilizan para obtener ACS producen contaminación se realiza el siguiente análisis:

Determinación de tipos de variables:

1. Sistema de ACS es una variable cualitativa nominal

- a. GLP
- b. Resistencia eléctrica (RE)
- c. Inducción eléctrica (IE)
- d. Calentador solar (CS)
- e. CS – GLP
- f. CS_RE
- g. Otro

2. Tiempo utilizado es una variable cualitativa ordinal

- a. 30-45 – regular.
- b. 45-60 – normal
- c. 60-75 – alto
- d. > 75 - muy alto

3. Planteamiento de hipótesis

H₀ que no existe relación entre el tipo de sistema ACS con el consumo

H₁ que existe relación entre el tipo de sistema de ACS y el consumo

4. Definición de la prueba de hipótesis

Variables	Tipo de prueba
- Ordinal - Ordinal	Spearman
- Ordinal - Cuantitativa discreta	Spearman
- Ordinal - Cuantitativa continua	Spearman
- Cuantitativa discreta - Cuantitativa discreta	Spearman
- Cuantitativa continua - Cuantitativa continua	Distribución no es normal – Spearman Puntos atípicos – Spearman Distribución Normal - Pearson

Para este caso utilizamos el coeficiente Rho de Spearman, como se muestra en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20: Resultados de la aplicación del coeficiente Rho de Spearman para determinar relación entre sistemas para obtener ACS y su frecuencia de uso (Elaboración propia)

			Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha	Tiempo total de uso de agua caliente al día en la ducha
Rho de Spearman	Sistemas utilizados para obtener ACS en la ducha	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1 . 433	,709** 0 433
	Tiempo total de uso de agua caliente al día en la ducha	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	,709** 0 433	1 . 433

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

			Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos	Tiempo total de uso de agua caliente al día en el lavamanos
Rho de Spearman	Sistemas utilizados para obtener ACS en lavamanos	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1 . 180	-0,014 0,853 180
	Tiempo total de uso de agua caliente al día en el lavamanos	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0,014 0,853 180	1 . 180
			Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina	Tiempo total de uso de agua caliente al día en el fregadero de cocina
Rho de Spearman	Sistemas utilizados para obtener ACS en el fregadero de cocina	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1 . 204	-0,049 0,486 204
	Tiempo total de uso de agua caliente al día en el fregadero de cocina	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0,049 0,486 204	1 . 204
			Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería	Tiempo total de uso de agua caliente al día en la lavandería
Rho de Spearman	Sistemas utilizados para obtener ACS en la lavandería	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	. . 40	. . 40
	Tiempo total de uso de agua caliente al día en la lavandería	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	. . 40	1 . 40

Con el análisis ejecutado se puede observar que existe una alta correlación (0,709) entre los sistemas para obtener ACS en la ducha que son a base de GLP y resistencia eléctrica, y la frecuencia con la que se utilizan, es decir el sistema funciona constantemente, para el caso de lavamanos y fregadero de cocina la correlación es negativa y muy baja (- 0,014 y - 0,049 respectivamente) esto implica que aunque el sistema está instalado para estas actividades

no se lo utiliza continuamente, en el caso de la lavandería no existe relación alguna con el tipo de sistema.

Para los cuatro casos anteriores se evidencia en el análisis de frecuencias que el sistema a base de GLP es el que más se utiliza seguido del sistema a base de resistencia eléctrica, en los dos casos los sistemas son contaminantes pues en la ciudad de Cuenca todavía existen plantas termoeléctricas que generan energía eléctrica para cubrir la demanda.

4.1.6. Discusión sobre la situación actual de la demanda y consumo de ACS en Cantón Cuenca

El 81,54 % de los habitantes del cantón Cuenca utilizan ACS para sus labores diarias, ratificando uno de los planteamientos iniciales que decía que la mayoría usa esta condición debido a que Cuenca se encuentra a 2560 msnm, por lo tanto, mantiene un clima frío especialmente durante las noches y en las primeras horas de la mañana que es en donde se realizan la mayor cantidad de actividades mencionadas en el análisis.

También es importante considerar que existe una cobertura del 97 % de agua potable en el cantón (ETAPA EP, 2016) por lo que el 18 % que no utiliza ACS es porque los sistemas son costosos. Se debe recalcar que la contaminación ambiental que producen los sistemas no ha sido considerada como un factor importante para seleccionar un tipo de sistema lo que da a conocer que el concepto de eco-eficiencia no se conoce ni se considera.

El mayor porcentaje de ACS se obtiene con sistemas a base de GLP, seguidos por sistemas de calentamiento a base de energía eléctrica en actividades de ducha, fregadero de cocina y lavamanos, en lavandería la utilización es mínima. Lo antes establecido podríamos decir que es efecto de algunas situaciones; en primer lugar el costo del GLP es bajo y está subsidiado por el estado, una bombona de 15kg tiene un valor de \$1,60 cuando el costo real sería de \$13,5; para el calentamiento con energía eléctrica la situación es similar, también existe un subsidio ya que el proceso de cambio en la matriz energética en el Ecuador incrementó la generación hidráulica y el estado propició el subsidio para fomentar el uso de esta energía tanto para cocción de alimentos como para obtención de ACS.

Otro factor a considerar es que no existe confianza en sistemas alternativos como el que utiliza la fuente solar ya que la percepción de las condiciones atmosféricas no es favorable, en cambio se consideran tanto a los sistemas a base de GLP como con energía eléctrica sistemas confiables y que son accesibles con facilidad para la gran mayoría de la población.

La situación antes mencionada se podría generalizar para todo el Ecuador y también para Latinoamérica como ejemplo podemos tomar a Chile en donde el principal consumo de energía en el sector residencial corresponde a ACS (32 %) y las fuentes de energía para estos fines provienen principalmente de electricidad, gas licuado y gas natural (Cárdenas & Uribe, 2012), otro ejemplo es Argentina en donde la producción de ACS es el segundo mayor consumo de gas, aproximadamente el 33 %; el total de la energía usada para el calentamiento de agua sanitaria equivale al 50 % de las importaciones de gas (Lanelli & Prieto, 2016).

El consumo promedio que alcanza a un valor 50 litros de ACS al día por persona lo podemos establecer como elevado considerando los 30 litros por día por persona que se utilizan en la unión europea (Estrategia Aragoneza, 2017) esto se debe fundamentalmente a costumbres de uso que se podrían modificar para apoyar a la sostenibilidad del líquido vital para las futuras generaciones.

Con el consumo indicado en el párrafo anterior se genera un aporte a la contaminación ambiental de 245 338 Tn eq. de CO₂ al año que significan el 0,61 % de las emisiones anuales del Ecuador y un 15 % aproximadamente de la contaminación que se genera en el cantón Cuenca (Datosmacro, 2016) , el consumo también está ligado a la huella de carbono, que sirve para cuantificar las emisiones de efecto invernadero, particularmente CO₂. En el sector de la edificación, tanto el consumo de energía como las emisiones de dióxido de carbono son relevantes como ejemplo podemos tomar a la Unión Europea, en donde, un 40 % equivale al consumo total de energía y un 36 % a emisiones de CO₂ (Cárdenas & Uribe, 2012).

Si consideramos que la situación analizada para el cantón Cuenca se repite para todo el Ecuador, podríamos compararlo con la situación que se presenta en EEUU que se mencionó en el antecedente, pues el uso de energía solar para obtener ACS toma una porción insignificante del mercado de calentadores de agua esto debido a la mala reputación de los calentadores solares y que no ha podido recuperarse, a la energía comercial con fuentes fósiles comparativamente barata, a un consumo relativamente alto y a que los sistemas tienen que ser híbridos para garantizar las condiciones de confort durante todo el año. (Waide et al., 2015).

El análisis generado permite establecer la necesidad de implementar políticas energéticas de corto y largo plazo que consideren eficiencia energética y la reducción de gases de efecto invernadero para favorecer la eco-eficiencia y disminuir la huella de carbono provocada por el calentamiento de agua de uso sanitario.

4.2. Resultados del monitoreo, procesamiento y análisis de datos de radiación solar global del cantón Cuenca

4.2.1. Emplazamiento de estaciones meteorológicas

4.2.1.1. Recolección de datos de fuentes oficiales

El cantón Cuenca está ubicado en la zona Austral del Ecuador, provincia del Azuay, forma junto con las provincias de Cañar y Morona Santiago la denominada “Zona de planificación 6”; posee una superficie aproximada de 366 533 ha (3 086 km²) (Delgado, 2013), según cifras del censo de población y vivienda realizado por el INEC en 2010.

El cantón Cuenca está dividido en 15 parroquias urbanas y 22 parroquias rurales; en la Figura 4.7 se muestra la división política territorial del cantón.

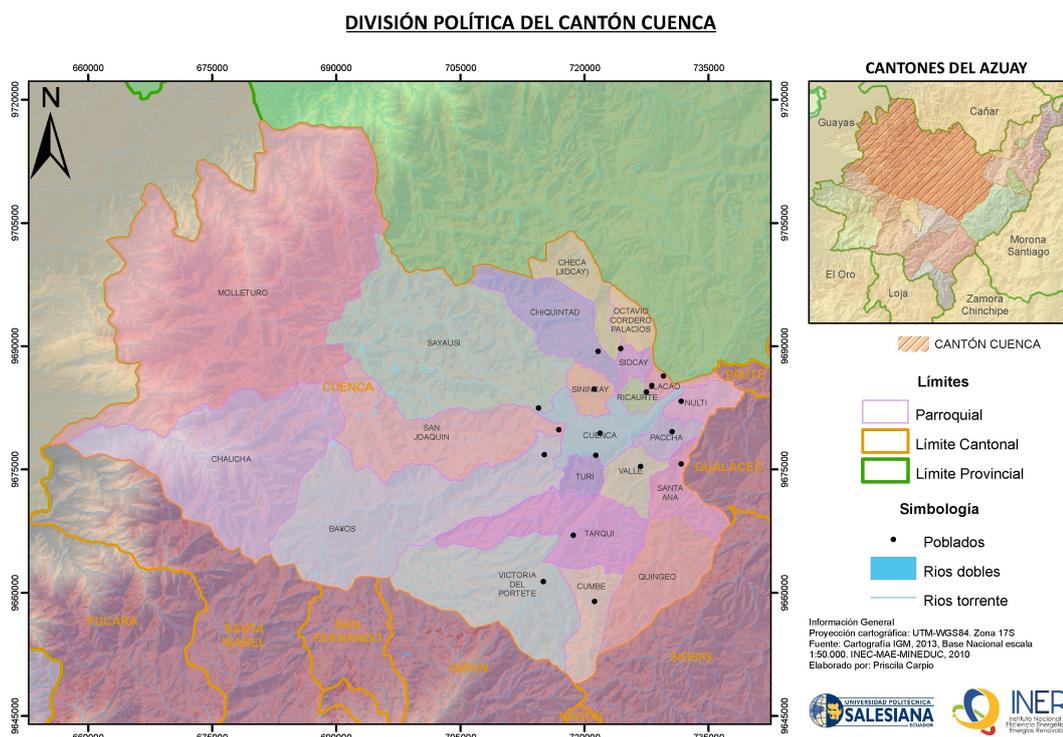


Figura 4.7: División política del cantón Cuenca (UPS - INER, 2013).

Como resultado del trabajo descrito en el acápite 3.3.1.1, en las Tablas 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 se muestra el listado de estaciones meteorológicas, divididas por tipo de estación, institución propietaria entre otros aspectos que se encuentran instaladas en el cantón Cuenca.

Tabla 4.21: Estaciones meteorológicas instaladas por INAMHI y SENAGUA (UPS - INER, 2013)

Nombre	Tipo de estación	Variable de medición	UTM (x)	UTM (y)	Cota (msnm)	Parroquia
El Labrado	CO	CO	714219	9697772	3335	El Labrado
Chanlud - Convenio	CO	CO	718863	9703970	3336	Chanlud
El Cebollar - Cuenca	CP	CP	720462	9681264	2664	Cuenca
Piscicola Chirimicha	PV	PV	703184	9693181	3270	Chirimichacay
Cumbe	PV	PV	720855	9659051	2720	Cumbe
Ricaurte - Cuenca	PV	PV	728036	9684692	2545	Ricaurte
Sayausí (Matadero DJ)	PV	PV	713855	9683057	2780	Sayausí
Surucucho	PV	PV	707684	9687460	2800	Molleturo
Granja Irquis	Meteorológica	Varias ^{1, 2}	713925	9659439	2658	Victoria del Portete

¹Irradiación solar global, radiación neta, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, presión, temperatura, precipitación.

²Estación propiedad de Senagua, ubicada en predio de la Universidad de Cuenca.

Tabla 4.22: Estaciones meteorológicas instaladas por PROMAS (UPS - INER, 2013)

Nombre	Tipo de estación	Variable de medición	UTM (x)	UTM (y)	Cota (msnm)	Parroquia
Baños	Pluviométrica	Precipitación	714632	9673997	2600	Baños
Promas	Pluviométrica	Precipitación	721470	9679550	2610	Cuenca
Huagrahuma	Pluviométrica	Precipitación	720333	9706219	3525	n/d
EMAC	Pluviométrica	Precipitación	730350	9672396	2634	Santa Ana
Marianza	Pluviométrica	Precipitación	708862	9684686	3439	Sayausí
Met Marianza	Meteorológica	Varias ¹	708890	9684605	3454	Sayausí
Met Esmeralda	Meteorológica	Varias ¹	730471	9651481	2638	Molleturo

¹Irradiación solar global, radiación neta, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, presión, temperatura, precipitación.

Tabla 4.23: Estaciones meteorológicas instaladas por CELEC (UPS - INER, 2013)

Nombre	Tipo de estación	Variable de medición	UTM (x)	UTM (y)	Cota (msnm)	Parroquia
Camp. Guarumales	Meteorológica	Varias ¹	778229	9714419	n/d	Amaluza
Cuenca	Meteorológica	Varias ¹	729892	9684082	n/d	Llacao
Presa Mazar	Meteorológica	Varias ¹	764357	9713257	n/d	Sevilla de Oro
Collay	Meteorológica	Varias ¹	762102	9697146	n/d	Sevilla de Oro
Sevilla de Oro	Meteorológica	Varias ¹	761509	9690652	n/d	Sevilla de Oro

¹Irradiación solar global, radiación neta, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, presión, temperatura, precipitación.

Tabla 4.24: Estaciones meteorológicas a instalar por ETAPA (UPS - INER, 2013)

Nombre	Tipo de estación	Variable de medición	UTM (x)	UTM (y)	Cota (msnm)	Parroquia
Izhcayrrumi cabecera	Meteorológica	Varias ¹	693077	9677330	3800	Banos
Chaucha centro	Meteorológica	Varias ¹	721470	9679550	2600	Chaucha
Llaviucu estación científica	Meteorológica	Varias ¹	705561	9685474	3160	Sayausí
Saucay	Meteorológica	Varias ¹	720890	9695101	2960	Chiquintad
Mamamag camping	Meteorológica	Varias ¹	699521	9687483	3620	Sayausí
Labrados	Meteorológica	Varias ¹	714225	9698193	3440	Checa
Soldados (PTAR)	Meteorológica	Varias ¹	696316	9673670	3320	Banos
Ventanas	Meteorológica	Varias ¹	693353	9681789	3360	San Joaquin
Culebrillas	Meteorológica	Varias ¹	697811	9692554	3920	Sayausí
Planta del Cebollar	Meteorológica	Varias ¹	705897	9674428	2920	Cuenca
Planta de Tixán	Meteorológica	Varias ¹	721998	9688148	2720	Chiquintad
Planta de Ucubamba	Meteorológica	Varias ¹	728994	9682400	2440	Sidcay

¹Irradiación solar global, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, presión, radiación neta, temperatura, precipitación.

4.2.1.2. Visitas de campo

En la Figura 4.8, se muestra un extracto fotográfico de los lugares visitados. La Tabla 4.25, muestra las coordenadas geográficas de los lugares visitados y la Figura 4.9 ubica en el mapa los probables lugares para el emplazamiento.



Figura 4.8: Ejemplo de lugares visitados (UPS - INER, 2013)

Tabla 4.25: Coordenadas geográficas de lugares visitados con posibilidad de emplazamiento (UPS - INER, 2013)

Nombre / Lugar	Propietario	UTM (x)	UTM (y)	Cota (msnm)	Parroquia
Molleturo	Sr. Lautaro Muevecela	679708	9692232	3705	Molleturo
Vía Paredones	n/d	676004	9694080	3550	Molleturo
Dalanloma, pie de Cochapamba	Macario Morales	677643	9692155	3530	Molleturo
Shobshi alto	n/d	674499	9694178	3586	Molleturo
Archaquín	ETAPA	678036	9693784	2562	Molleturo
El Cedro	Sr. Trinidad Encalada	674131	9679340	2050	Chaucha
Loma Don Vega	Sr. Gilberto Vega	674131	9679340	1940	Chaucha
Tanque de agua potable	ETAPA	715996	9682046	2736	Sayausí
Tanque de agua potable - San Miguel	ETAPA	715864	9682680	2799	Sayausí
Tanque de agua potable - Sector Santa Teresa	ETAPA - Proyecto Yanuncay	714386	9680795	2774	San Joaquín
Tanque Junta Parroquial Baños - planicie	JP Baños	714307	9676489	2845	Baños
Tanque Junta Parroquial Baños	JP Baños	714324	9676483	2842	Baños
Universidad de Cuenca / Granja Agropecuaria Nero	Universidad de Cuenca	710542	9672996	3213	Baños
Proyecto Agua Potable Nero - Pileta	Proyecto Agua Potable Nero	712814	9672861	3076	Baños
Granja Agropecuaria Iruis	SENAGUA	713918	9659431	2667	Victoria del Portete
Tanque de Agua Gobierno Provincial Tarqui - Entrada Al Verde	Gobierno Provincial Tarqui	721733	9671726	2947	Tarqui
MTOP - Campamento Turi	MOP	721134	9674894	2766	Tarqui
Planta de Tratamiento de Agua - Comunidad	JP Cumbe	719343	9656501	3112	Cumbe
Planta Tratamiento de Agua	ETAPA / JP Cumbe	719178	9656256	3193	Cumbe
Loma Cruz - Loma de Guamán	Sr. Guamán	730259	9664403	2926	Quingeo
Pichacay - Cumbre Terraza 7 Fase 1 norte	EMAC	730154	9672127	2680	Santa Ana
Ecoparque	EMAC	727472	9674878	2703	El Valle
Planta de Tratamiento de Agua - Cancha de Jaizhi	ETAPA	729738	9682477	2631	Nulti
Mirador Paccha	JP Paccha	730355	9679600	2789	Paccha
Cooperativa Agropecuaria - Sector Sambopamba	JP Sinincay	718642	9686866	3213	Sinincay
Planta Tixan	ETAPA	723103	9686749	2717	Chiquintad
Torres de Luces de aeropuerto	DAC	727771	9683175	2612	Ricaurte
Torres de Luces de aeropuerto - medio	DAC	727564	9683333	2600	Ricaurte
Celec - Liacao	CELEC	729582	9683640	2418	Liacao
Cerro Pachamama Sector el Tablon	DAC	731493	9686694	2768	Liacao
Escuela Ignacio Escandón - Terraza	EMOV	718544	9677447	2600	Cuenca - Sur
Yanuncay	Colegio Técnico Salesiano	720604	9677510	2540	Cuenca - Sur
El Vecino	Universidad Politécnica Salesiana	723420	9680833	2530	Cuenca - Norte
Colegio Carlos Arizaga Vega	EMOV	724564	9681443	2532	Cuenca - Norte
Bellavista	Sr. Mario Pesántez	729059	9664595	2893	Quingeo

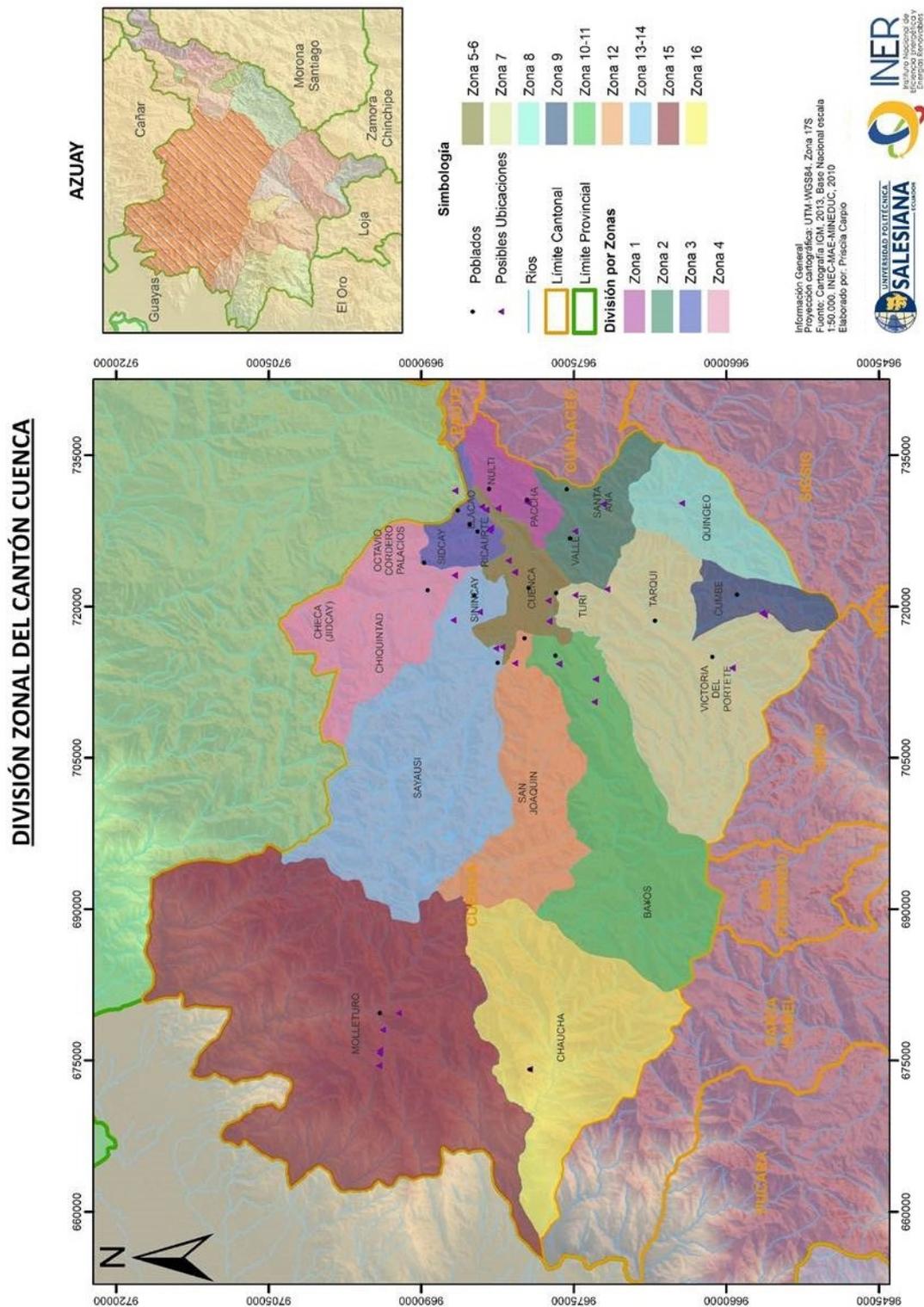


Figura 4.9: Posibilidad de lugares para emplazamiento de estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013).

4.2.1.3. Selección de criterios y ponderación

Para realizar la ponderación de los diferentes criterios se consideran los parámetros de la Tabla 4.26.

Tabla 4.26: Criterios de ponderación para selección de lugares para emplazamientos (UPS - INER, 2013)

Criterio	Grado	Valoración
Señal de celular	Lugar con señal de celular	10
	Lugar sin señal de celular	0
Ubicación en zonas de protección ambiental	Fuera de zonas protegidas	10
	Dentro de zonas protegidas	0
Distancias a estaciones meteorológicas existentes	Sector sin estación meteorológica completa	10
	Sector con estación meteorológica completa	0
Tendido eléctrico	Cuenta con electricidad	10
	No cuenta	0
Seguridad	Cerramiento y guardianía	10
	Cerramiento	5
	No cuenta con cerramiento ni guardianía	0
Distancia a cuerpos de agua	Distancia de 400 a 500 m en línea recta a cuerpos de agua	10
	Distancia de 300 a 400 m en línea recta a cuerpos de agua	7.5
	Distancia de 200 a 300 m en línea recta a cuerpos de agua	5
	Distancia de 100 a 200 m en línea recta a cuerpos de agua	2.5
	Distancia de 0 a 100 m en línea recta a cuerpos de agua	0
Pendiente	Pendiente de 0 a 5 grados (pendiente baja)	10
	Pendiente de 5 a 10 grados	7.5
	Pendiente de 10 a 20 grados	5
	Pendiente de 20 a 40 grados	2.5
	Pendiente de 40 grados y mayores (pendiente alta)	0
Convenio con Instituciones (terreno público o privado)	Terreno público	10
	Terreno de Juntas Parroquiales	5
	Terreno privado	0
Distancia a poblaciones	0 a 400 m	10
	400 a 800 m	7.5
	800 a 1200 m	5
	1200 a 1600 m	2.5
	1600 en adelante	0
Tamaño del terreno	Aprox. 100 m ²	10
	Aprox. 80 m ²	5
	Aprox. 40 m ²	0

Los resultados de la ponderación ejecutada en los lugares antes seleccionados se muestran en la Tabla 4.27.

4.2.1.4. Análisis espacial

Se ejecuta el Modelo Digital de Terreno (MDT) que se muestra en la Figura 4.10.

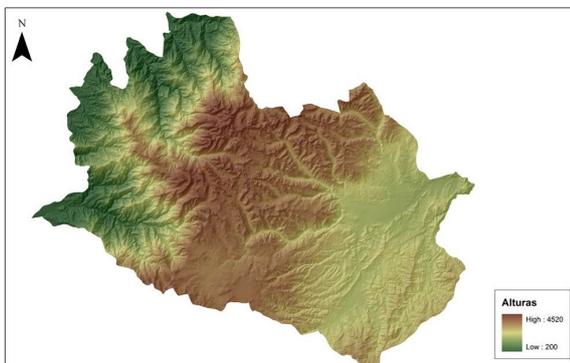


Figura 4.10: MDT – Sombras del cantón Cuenca (UPS - INER, 2013).

Mediante las curvas del MDT se elabora el mapa de pendientes que se muestra en la Figura 4.11.

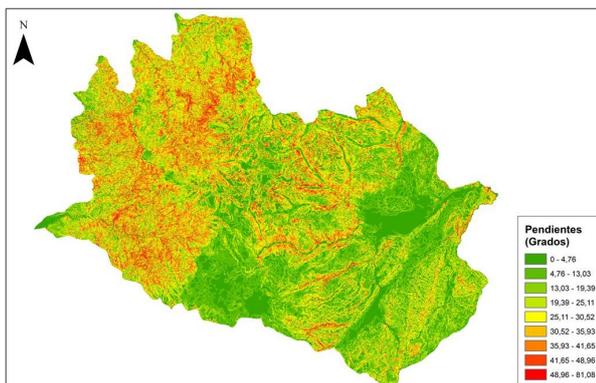


Figura 4.11: MDT – Pendientes del cantón Cuenca (UPS - INER, 2013).

Con los datos de fuentes oficiales y el MDT se obtiene el mapa con las distancias a ríos y cuerpos de agua que se muestra en la Figura 4.12.

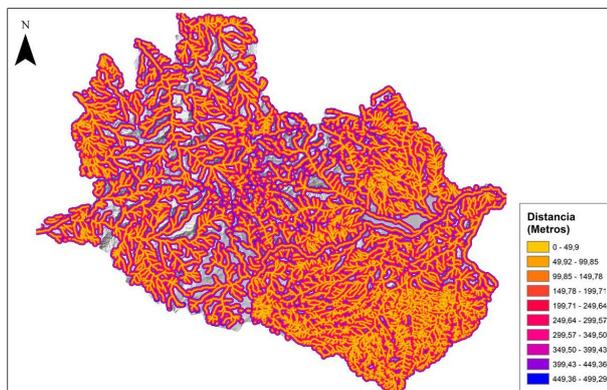


Figura 4.12: MDT – Distancia a ríos y cuerpos de agua (UPS - INER, 2013).

4.2.1.5. Elección de lugares para emplazamiento

Luego de aplicados los criterios de ponderación y de realizar las visitas correspondientes se definen colocar las estaciones en los lugares mostrados en la Tabla 4.28.

Tabla 4.28: Lugares seleccionados para el emplazamiento de las estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013)

Código	Tipo	Nombre	Parroquia	UTM (x)	UTM (y)	Cota (msnm)	Provincia / Cantón	Estado
MUI1	PC	UPS	El Vecino	723420	9680833	2530	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI2	PC	Colegio Técnico	Yanuncay	720604	9677510	2540	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI3	PC	Mayancela	Sinincay	722344	9685277	2722	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI4	AP	Nulti	Nulti	729738	9682477	2631	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI5	AP	Tixán	Chiquintad	723103	9686749	2717	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI6	AP	San Miguel	Sayausí	715996	9682046	2736	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI7	AP	Santa Teresa	San Joaquín	714386	9680795	2774	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI8	AP	Cumbe	Cumbe	719178	9656256	3193	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI9	AP	Pichacay	Santa Ana	730154	9672127	2680	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI10	AP	Llacao	Llacao	729582	9683640	2418	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI11	AP	Turi	Turi	721134	9674894	2766	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI12	AP	Nero	Baños	712814	9672861	3076	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI13	AP	Irquis	Victoria del Portete	713918	9659431	2667	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI14	AP	El Cedro	Chauca	674131	9679340	1940	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI15	AP	Cochapamba	Molleturo	677643	9692155	3530	Azuay / Cuenca	Por instalar
MUI16	AP	Quingeo	Quingeo	729059	9664595	2893	Azuay / Cuenca	Por instalar

PC: Planta colectora de datos. AP: Agrometeorológica. Coordenadas UTM WGS84.

En la Figura 4.13 se muestra el mapa del cantón Cuenca con los puntos definidos para el emplazamiento de las estaciones meteorológicas.

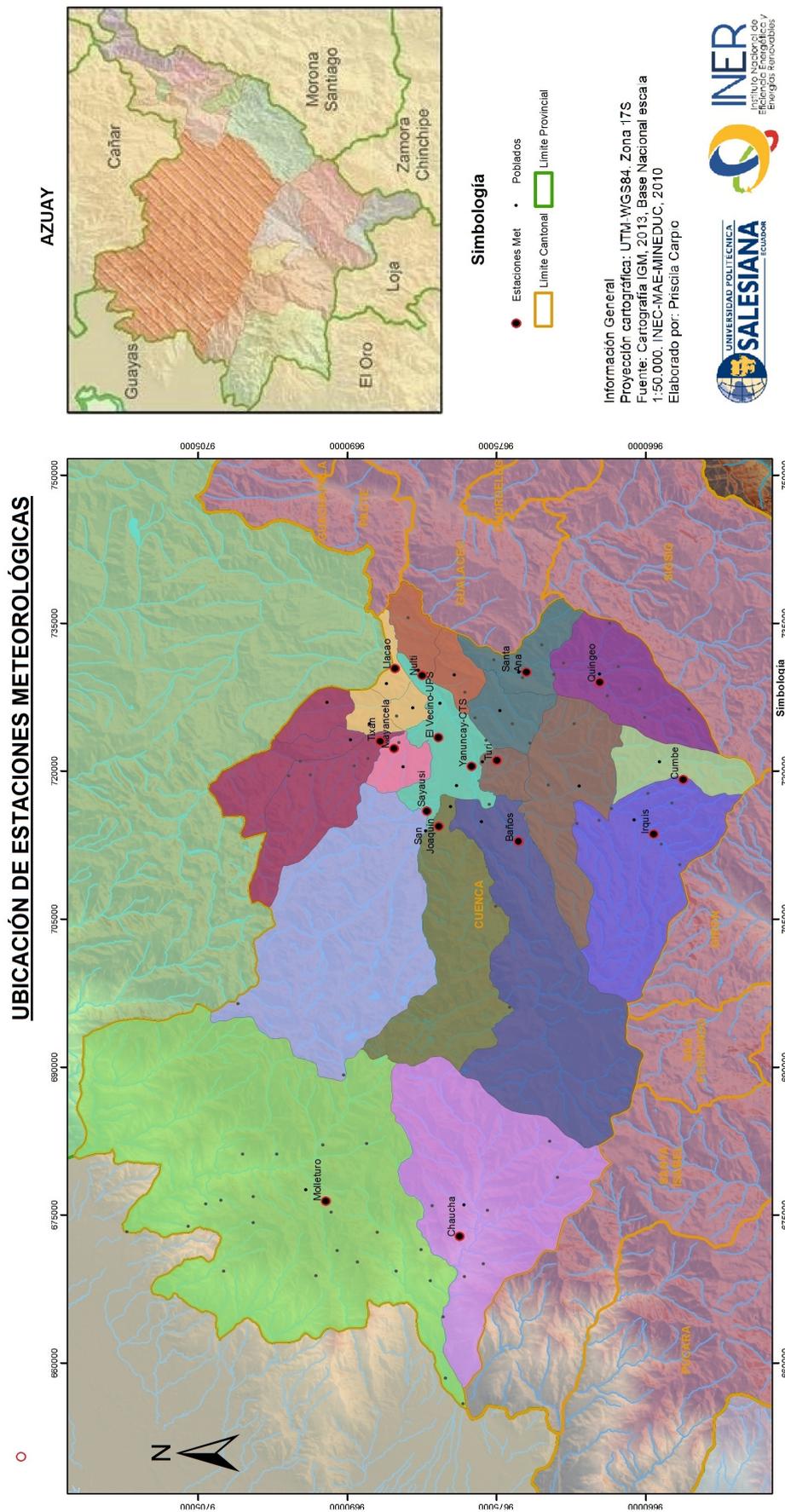


Figura 4.13: Lugares seleccionados para emplazamiento de estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013).

4.2.1.6. Selección y emplazamiento de estaciones meteorológicas

Se define utilizar estaciones agrometeorológicas de la marca Vaisala en donde se medirán las siguientes variables:

- Presión barométrica
- Velocidad de viento
- Radiación solar Global
- Radiación solar difusa
- Temperatura
- Humedad
- Temperatura de suelo
- Precipitación (lluvia)

Los equipos instalados en cada estación se muestran en la Tabla 4.29.

Tabla 4.29: Equipos a instalar en las estaciones meteorológicas (UPS - INER, 2013)

Nombre equipo	Marca	Modelo	Serial
Estación meteorológica	n/d	Maws100DCP	J34207
Módulo	ABB	QMI118	J301040
Datalogger	Vaisala	QML201C	J0710138
Sensor de presión barométrica	Vaisala	HMP155	J2450085
Regulador	n/d	QBR101C	20078126
Modem	Fastrack	n/d	BH3320002708101
Sensor de viento	Young	2500	UB4652
Sensor de radiación solar global	Hukseflux	SR11	7895
Sensor de radiación solar difusa	Hukseflux	SR10	7955
Sensor de temperatura / humedad	Vaisala	HMP155	J3650007
Sensor de temperatura de suelo	Vaisala	QMT107	J37303
Pluviómetro	Texas Electronics	TR-525M	58066-1013
Panel solar	n/d	n/d	121205204025010033
Batería	Power Sonic	PS-12180 NB	813340010543
Anillo de sombra	n/d	n/d	n/d
Torre metálica	n/d	n/d	n/d

Un ejemplo de estación instalada se muestra en la Figura 4.14, se pueden observar la obra civil, los sensores y el sistema de control.



Figura 4.14: Estación meteorológica instalada (UPS - INER, 2013).

4.2.2. Resultados de la caracterización de la radiación solar durante los años 2014 – 2015

De las 16 estaciones meteorológicas instaladas 7 presentan datos faltantes para el año 2014 como se presenta en la Tabla 4.30

Tabla 4.30: Estaciones meteorológicas con datos faltantes (Elaboración propia)

Estación	Año	Mes	Días faltantes
CTS	2014	Enero	01-09
	2014	Marzo	19-24
Chaucha	2014	Noviembre	27-30
	2014	Diciembre	09-15
Cumbe	2014	Enero	01-08
Irquis	2014	Enero	01-03
Santa Ana	2014	Enero	01-03
Turi	2014	Enero	01-07
UPS	2014	Enero	01-07

4.2.2.1. Control de calidad y complementación de datos faltantes

Utilizando la ecuación de Angström – Prescott modificada por Page que se indica en el apartado 3.3.2.1 se complementan y se analizan datos con variaciones no comunes para realizar la corrección correspondiente, se aplican las fórmulas como en el ejemplo que se muestra en la Tabla 4.31, para el día 9 de diciembre del 2014.

Los valores considerados para el cálculo se muestran a continuación:

$$I_{sc} = 1366 \left[\frac{\text{julios}}{\text{m}^2 \times \text{s}} \right]$$

$$z = 343, \phi = -2.89^\circ, n_{\text{real}} = 12 \text{ horas}, a = 0.18 \text{ y } b = 0.62$$

Tabla 4.31: Ejemplo de cálculo para la radiación diaria global del día 9 de diciembre del 2014 para la estación de Chaucha (Elaboración propia)

Formula	Aplicación
$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$ $\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \frac{284+z}{365}\right)$	$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan -2,89 \cdot \tan -22,97)$ $\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \frac{284+343}{365}\right) = -22,97$ $N = 12,16$
$H_e = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \frac{360 \times z}{365} \right] \cdot [\cos \delta \cdot \cos \delta \cdot \sin h_s + \frac{2\pi h_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \delta]$	$H_e = \frac{24}{\pi} 1366 \left[1 + 0,033 \cos \frac{360 \times 343}{365} \right] \cdot [\cos -22,97 \cdot \cos -22,97 \cdot \sin 91,22 + \frac{2\pi 91,22}{360} \sin 2,89 \cdot \sin -22,97]$ $H_e = 11383$
$H_0 = H_e \left(a + b \frac{n_{\text{reales}}}{N} \right)$	$H_0 = 11383 \left(0,18 + 0,62 \frac{12}{12,16} \right)$ $H_0 = 9014 \text{ kJ} \approx 2504 \text{ W}$

Una vez determinada la radiación global diaria para complementar los datos faltantes horarios se calcula en función de la media del porcentaje de radiación horaria determinada en los meses del año (Tabla 4.32).

Tabla 4.32: Ejemplo de cálculo para la radiación horaria global del día 9 de diciembre del 2014 para la estación de Chaucha (Elaboración propia)

Hora/Dia	09-dic-14	
07H00	7	0,28 %
08H00	72	2,88 %
09H00	255	10,18 %
10H00	309	12,34 %
11H00	355	14,18 %
12H00	569	22,72 %
13H00	453	18,09 %
14H00	224	8,95 %
15H00	67	2,68 %
16H00	57	2,28 %
17H00	85	3,39 %
18H00	47	1,88 %
19H00	4	0,16 %
	2504	100 %

Los resultados obtenidos con el proceso de complementación mostrado en el ejemplo, se presentan en la Tabla 4.33 para la estación de Chaucha.

Tabla 4.33: Datos complementados para la estación de Chaucha en el mes de diciembre del 2014 (Elaboración propia)

Hora/Día	diciembre 14								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07H00	13	7	13	13	24	9	14	3	5
08H00	59	72	67	81	112	89	72	64	76
09H00	123	255	267	495	292	217	151	305	279
10H00	569	309	500	739	331	504	191	633	465
11H00	955	355	719	941	570	719	387	1071	902
12H00	1123	569	940	1085	923	783	555	1054	1187
13H00	1114	453	922	1129	798	536	651	1063	1022
14H00	975	224	670	1128	1004	664	419	325	686
15H00	1059	67	226	432	399	394	790	69	216
16H00	173	57	96	89	383	389	241	78	86
17H00	50	85	31	90	184	177	68	51	57
18H00	11	47	6	54	8	71	62	53	73
19H00	1	4	2	4	1	7	6	5	9
20H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con el proceso dado a conocer en el ejemplo se complementan los datos faltantes de las 7 estaciones para el año 2014.

4.2.2.2. Radiación incidente mensual y anual para el cantón Cuenca en los años 2014 – 2015

La irradiancia total global por año para los 16 puntos de medición se presenta en la tabla 4.34.

Tabla 4.34: Irradiancia global total, anual en el cantón Cuenca (Elaboración propia)

Estación	Irradiancia global total	
	kWh/m ²	
	2014	2015
Baños	1 359,11	1 349,73
Chaucha	1 454,31	1 372,09
CTS	1 527,98	1 551,79
Cumbe	1 457,39	1 525,81
Irquis	1 466,93	1 509,14
Llacao	1 609,21	1 665,49
Molleturo	1 823,05	1 968,17
Nulti	1 691,23	1 781,70
Quingeo	1 472,95	1 570,64
San Joaquin	1 414,30	1 364,51
Santa Ana	1 431,65	1 482,57
Sayausi	1 435,70	1 440,54
Sinincay	1 523,17	1 552,78
Tixan	1 462,79	1 472,53
Turi	1 441,54	1 515,15
UPS	1 640,31	1 679,48

Con los datos completos se generan las gráficas de radiación mensual para los 16 puntos establecidos, como ejemplo se presenta en la Figura 4.15 la gráfica de radiación solar global para el sector de Chaucha y en la Figura 4.16 se presenta la gráfica de los valores medios de radiación solar global para el cantón Cuenca; el resto de gráficas se presentan en los Anexos B, C y D.

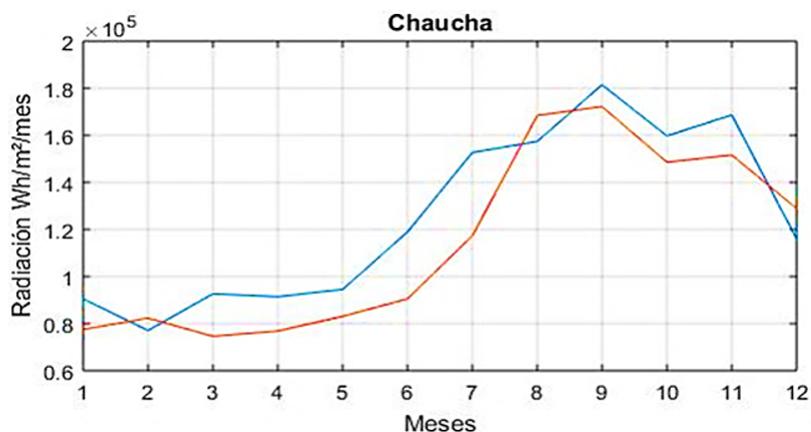


Figura 4.15: Radiación solar Global para estación de Chaucha (Elaboración propia)

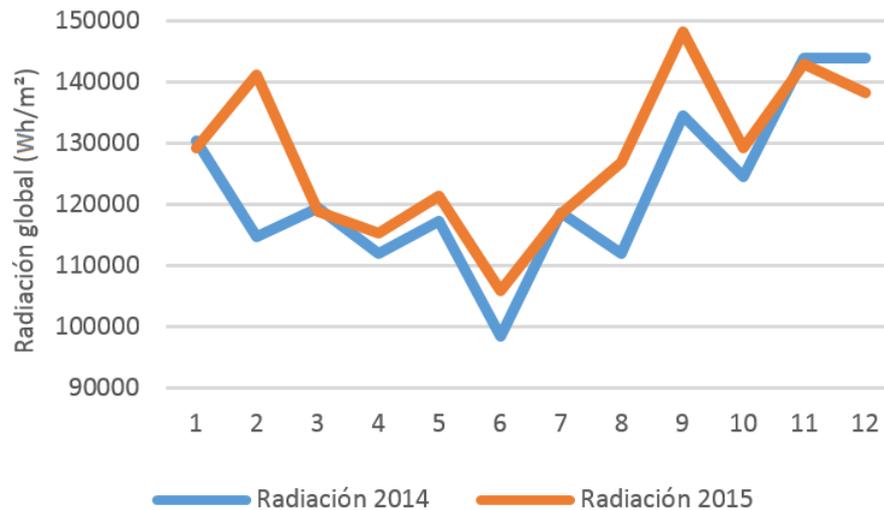


Figura 4.16: Radiación solar Global del Cantón Cuenca (Elaboración propia)

4.2.3. Demostración de la hipótesis específica 2

Los datos de radiación solar medidos y analizados en un intervalo mínimo de un año permiten establecer la energía térmica útil para la aplicación de sistemas solares para obtener agua caliente sanitaria permanente.

Se plantea que no es posible utilizar en el análisis el dato de radiación solar promedio medido por el CONELEC, debido a que, para producción de ACS la radiación se suma para obtener la cantidad, diaria, mensual y anual. Para demostrar la hipótesis 2 establecida en el Anexo E se realiza un análisis estadístico utilizando la prueba ANOVA.

Se requiere evaluar la cantidad de radiación solar que llega a cada sector en donde se encuentran emplazadas las estaciones y si las condiciones atmosféricas y geográficas hacen que la radiación sea diferente para cada sector, se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_3$ todas las medias de las mediciones de radiación son iguales.

H_1 : al menos una es diferente.

Considerando los datos medidos en 16 estaciones meteorológicas se realizan aleatoriamente 4 grupos de cuatro estaciones y se ejecuta la prueba ANOVA (Tabla 4.35).

Tabla 4.35: Radiación solar por grupo de estaciones en los años 2014 y 2015

		Año 2014				Año 2015			
		Grupos de estaciones				Grupos de estaciones			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Radiación solar medida		1 359,11	1 466,93	1 472,95	1 523,17	1 349,73	1 509,14	1 570,64	1 552,78
		1 454,31	1 609,21	1 414,30	1 462,79	1 372,09	1 665,49	1 364,51	1 472,53
		1 527,98	1 823,05	1 431,65	1 441,54	1 551,79	1 968,17	1 482,57	1 515,15
		1 457,39	1 691,23	1 435,70	1 640,31	1 525,81	1 781,70	1 440,54	1 679,48

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.36:

Tabla 4.36: ANOVA para establecer influencia de agentes externos en la radiación solar en los años 2014 y 2015 en las 16 estaciones meteorológicas**Descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
RADIACIÓN 2014	1	4	1 449,70	69,317	34,659	1 339,40	1 560,00	1 359	1 528
	2	4	1 647,61	149,222	74,611	1 410,16	1 885,05	1 467	1 823
	3	4	1 438,65	24,679	12,339	1 399,38	1 477,92	1 414	1 473
	4	4	1 516,95	89,212	44,606	1 375,00	1 658,91	1 442	1 640
	Total	16	1 513,23	120,443	30,111	1 449,05	1 577,41	1 359	1 823
RADIACION 2015	1	4	1 449,86	103,654	51,827	1 284,92	1 614,79	1 350	1 552
	2	4	1 731,13	193,506	96,753	1 423,21	2 039,04	1 509	1 968
	3	4	1 464,57	85,954	42,977	1 327,79	1 601,34	1 365	1 571
	4	4	1 554,99	89,237	44,618	1 412,99	1 696,98	1 473	1 679
	Total	16	1 550,13	161,505	40,376	1 464,07	1 636,19	1 350	1 968

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
RADIACIÓN2014	2,211	3	12	0,14
RADIACIÓN2015	1,569	3	12	0,25

Pruebas de normalidad

AÑO	Shapiro-Wilk			AÑO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.		Estadístico	gl	Sig.
R1_2014	0,943	4	0,671	R3_2014	0,919	4	0,533
R1_2015	0,839	4	0,192	R3_2015	0,699	4	0,011
R2_2014	0,999	4	0,999	R4_2014	0,901	4	0,435
R2_2015	0,998	4	0,993	R4_2015	0,923	4	0,554

Los datos presentan normalidad

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
RADIACIÓN 2014	Entre grupos	110 676,21	3	36 892,07	4,141	0,031
	Dentro de grupos	106 919,882	12	8 909,99		
	Total	217 596,092	15			
RADIACION 2015	Entre grupos	200 636,823	3	66 878,941	4,21	0,03
	Dentro de grupos	190 619,584	12	15 884,965		
	Total	391 256,407	15			

Considerando los resultados en la prueba de homogeneidad de varianzas los valores de significancia tanto para el año 2014 como para el 2015 son mayores que 0,05 por lo que se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas, esto

implica que en condiciones atmosféricas y geográficas similares la radiación se mantiene similar para estos sectores.

Con los resultados de la prueba de ANOVA se obtiene que los valores de significancia para los años 2014 y 2015 son menores que 0,05 esto implica que se rechaza la igualdad de medias por lo que, las medidas de radiación presentan diferencias significativas para cada sector y esto se puede verificar con las gráficas de los Anexos B, C y D.

Otro aspecto es determinar si el comportamiento de la radiación es similar para el año 2014 como para el 2015 en cada uno de los lugares en donde se encuentran emplazadas las estaciones meteorológicas, se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_3$ todas las medias de las mediciones de radiación del año 2014 y 2015 son iguales.

H_1 : al menos dos medidas poblacionales son distintas.

Para este caso se tiene la sumatoria de radiación global para los años 2014 y 2015 para cada lugar en donde se encuentra emplazada una estación meteorológica (Tabla 4.37):

Tabla 4.37: Radiación global anual para estaciones meteorológicas para los años 2014 – 2015

		Baños	Chaucha	CTS	Cumbe	Irquis	Llacao	Molleturo	Nulti
AÑO	2014	1359,11	1454,31	1527,98	1457,39	1466,93	1609,21	1823,05	1691,23
	2015	1349,73	1372,09	1551,79	1525,81	1509,14	1665,49	1968,17	1781,7

		Quingeo	San Joaquín	Santa Ana	Sayausi	Sinincay	Tixan	Turi	UPS
AÑO	2014	1472,95	1414,3	1431,65	1435,7	1523,17	1462,79	1441,54	1640,31
	2015	1570,64	1364,51	1482,57	1440,54	1552,78	1472,53	1515,15	1679,48

Los resultados de la aplicación de la prueba ANOVA se presentan en la Tabla 4.38.

Tabla 4.38: ANOVA para establecer el comportamiento de la radiación global en los años 2014 – 2015

Descriptivos
Radiación

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	2	1 354,42	6,633	4,69	1 294,83	1 414,01	1 350	1 359
2	2	1 413,20	58,138	41,11	890,85	1 935,55	1 372	1 454
3	2	1 539,89	16,836	11,905	1 388,62	1 691,15	1 528	1 552
4	2	1 491,70	48,515	34,305	1 055,81	1 927,58	1 457	1 526
5	2	1 637,35	39,796	28,14	1 279,80	1 994,90	1 609	1 665
6	2	1 895,61	102,615	72,56	973,65	2 817,57	1 823	1 968
7	2	1 736,47	63,972	45,235	1 161,70	2 311,23	1 691	1 782
8	2	1 521,80	69,077	48,845	901,16	2 142,43	1 473	1 571
9	2	1 389,41	35,207	24,895	1 073,08	1 705,73	1 365	1 414
10	2	1 457,11	36,006	25,46	1 133,61	1 780,61	1 432	1 483
11	2	1 438,12	3,422	2,42	1 407,37	1 468,87	1 436	1 441
12	2	1 537,98	20,937	14,805	1 349,86	1 726,09	1 523	1 553
13	2	1 467,66	6,887	4,87	1 405,78	1 529,54	1 463	1 473
14	2	1 478,35	52,05	36,805	1 010,69	1 946,00	1 442	1 515
15	2	1 659,90	27,697	19,585	1 411,04	1 908,75	1 640	1 679
16	2	1 488,00	29,698	21	1 221,17	1 754,83	1 467	1 509
Total	32	1 531,68	141,392	24,995	1 480,71	1 582,66	1 350	1 968

Prueba de homogeneidad de varianzas

RADIACIÓN

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
99454437235	15	16	0
32198,000			

ANOVA

RADIACIÓN

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	585 313,431	15	39 020,895	18,133	0,000
Dentro de grupos	34 430,714	16	2 151,92		
Total	619 744,145	31			

Para este caso el valor de significancia obtenido tanto en la prueba de homogeneidad de varianza como en la el ANOVA es menor que 0,05 entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que da a conocer que al menos dos medidas poblacionales son distintas, es decir no se puede considerar que el valor de radiación es igual en todo el cantón Cuenca, por esta razón es de gran importancia medir los valores anuales continuamente ya que mientras más datos se tienen mejor será la precisión en el análisis.

4.2.4. Discusión sobre datos de radiación solar del cantón Cuenca

La cuantificación de la radiación solar global constituye un procedimiento necesario cuando se requiere evaluar el recurso para aplicación con fines energéticos, considerando este postulado la implementación de la red meteorológica en el cantón Cuenca aporta de manera significativa para evaluar de forma eficiente la integración de tecnología solar para la obtención de ACS. Los datos medidos por las estaciones requieren de un control de calidad esto debido a que se pueden provocar daños en el equipo o que por otros motivos se tengan datos faltantes; estos deben ser complementados con procedimientos eficientes; para este caso se utiliza el modelo de Angstrom-Prescott que es uno de los más aceptados en la comunidad científica.

Raichijk et al. (2005) establecen que en Argentina dado que el número de estaciones de medición de la radiación solar global se ha visto reducido especialmente por problemas de financiamiento, el uso de los métodos de interpolación espacial como los empleados para posibilitar, con unas pocas estaciones que presenten una adecuada distribución espacial y en donde se hubiesen determinado localmente los coeficientes de Angstrom-Prescott a partir de mediciones simultáneas de horas de brillo solar e irradiación global, son una alternativa eficiente teniendo presente que se puede generar un error estimado hasta del 10 %.

Díaz (2012), realiza un análisis para México en donde da a conocer que la calidad de los datos registrados por las estaciones meteorológicas no es satisfactoria, ya que la mayoría de los años tienen datos faltantes, más del 10 %, o en algunos casos no se miden todas las variables, y recomienda algunos procedimientos para realizar la complementación, entre ellos Angstrom-Prescott como uno de los más confiables.

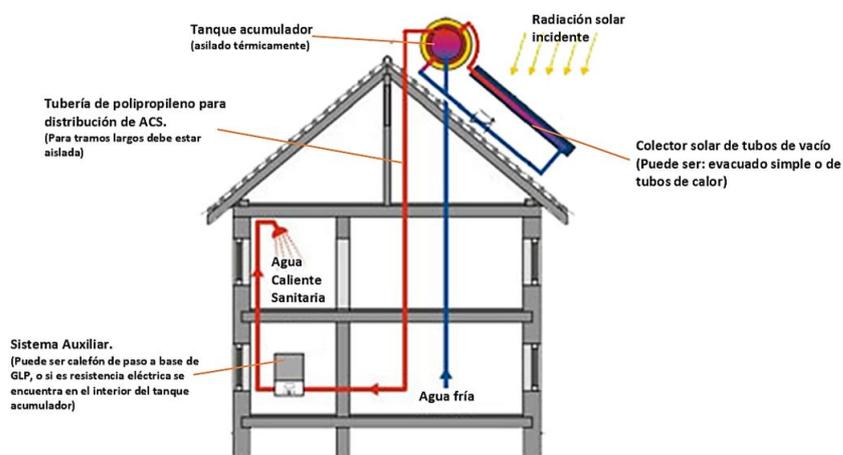
Con los datos complementados y con su correspondiente control de calidad se procede a calcular la radiación solar diaria, mensual y anual que permitirá determinar la cantidad de energía que se puede aportar para el calentamiento de agua sanitaria en las diferentes localidades del cantón, demostrando a través de la prueba estadística ANOVA que es necesario realizar las diferentes mediciones ya que, por la variabilidad de condiciones meteorológicas y geográficas del sector la radiación incidente varía considerablemente de un lugar a otro, esta realidad se puede confirmar con el estudio realizado por Hernández et al. (2014) que dan a conocer que:

“Los sistemas que utilizan la energía solar como fuente primaria para transformarla en otro tipo de energía, como los solares térmicos o los fotovoltaicos,

presentan el inconveniente de que los parámetros meteorológicos que la caracterizan (irradiancia y temperatura ambiente) presentan un comportamiento aleatorio fuera del control humano, lo que hace que una predicción del funcionamiento de estos sistemas no pueda hacerse de manera determinística.”

4.3. Resultados de la caracterización de colectores solares de tubos de vacío y tubo de calor

Para caracterizar los calentadores o colectores solares se realiza una instalación piloto, como se muestra en la Figura 4.17.



Esquema de implementación de colectores solares de tubos de vacío para viviendas piloto



Colector solar de tubos de vacío evacuados simple instalado en la parroquia el Vecino en la zona urbana del cantón Cuenca

Colector solar de tubos de vacío con tubo de calor instalado en la parroquia Baños en la zona urbana del cantón Cuenca

Figura 4.17: Instalación de colectores solares de tubos de vacío (Elaboración propia)

En el primer caso se instala el calentador de tubos de vacío evacuados simple en una vivienda habitada por 5 miembros, ubicada en la parroquia el Vecino perteneciente al área urbana del cantón Cuenca, y para el colector solar de tubos de vacío con tubo de calor la instalación se realiza en una vivienda habitada por 5 miembros en la parroquia Baños perteneciente a la zona rural.

El calentador de tubos de vacío evacuados simples presenta los datos técnicos de la Tabla 4.39:

Tabla 4.39: Datos técnicos del calentador de tubos de vacío

Tanque acumulador	
Capacidad del tanque acumulador	200 lts
Longitud	1 730 mm
Diámetro exterior	470 mm
Tanque interior de acero inoxidable	2 mm espesor
Aislamiento de poliuretano	50 mm espesor
Cubierta de acero dulce	1 mm espesor
Tubos de vacío	
Número de tubos	20
Espesor	3 mm
Diámetro exterior	58 mm
Diámetro interior	50 mm espesor
Longitud	1 800 mm
Longitud útil	1 750mm

Para el calentador de tubos de vacío con tubos de calor se complementa los datos en la Tabla 4.40

Tabla 4.40: Datos técnicos del calentador de tubos de calor

Tubo de calor	
Diámetro del condensador	14 mm
Longitud del condensador	60 mm
Longitud del tubo evaporador	1 750 mm
Diámetro del tubo de cobre	8,25 mm
Espesor	1,5 mm
Fluido	Acetona

Para los cálculos se utilizan los datos correspondientes a tubos de vidrio de borosilicato recubiertos de nitrato de aluminio: $\tau = 0,74$; $\alpha = 0,88$; $\rho_D = 0.16$; $\varepsilon_1 = 0,91$; $\varepsilon_2 = 0,88$. Para las temperaturas se tiene: $T_a = 15\text{ }^\circ\text{C}$; $T_c = 17\text{ }^\circ\text{C}$; $T_r = 70$; $F_{12} = 1$; $T_i = 60\text{ }^\circ\text{C}$. Los coeficientes de conductividad térmica K utilizados son: para plancha de acero inoxidable $K = 15,75\text{ [W/(m }^\circ\text{C)]}$; para

poliuretano expandido 0,023 [W/(m°C)]; para plancha negra 58,6 [W/(m°C)]. Las propiedades del aire utilizadas son: Conductividad térmica $K = 0,02416$ [W/(m°C)]; Viscosidad cinemática $\nu = 1,3996 \times 10^{-5}$; Numero de prandtl $Pr = 0,734$.

Utilizando las ecuaciones desde la (3.4) hasta la (3.23) se puede determinar la eficiencia teórica para cada tipo de calentador, en ejemplo de esto se presenta en la Tabla 4.41, con las mediciones tomadas y aplicando los datos en la ecuación (3.24) se tiene la eficiencia práctica; estos valores se presentan en la Tabla 4.42 y en la Figura 4.18.

Tabla 4.41: Ejemplo de cálculo de eficiencia para calentadores solares de tubos de vacío para el mes de enero

Eficiencia del calentador de tubos de vacío evacuados simple (sector el Vecino)		
N°	Formula	Aplicación
3.4	$Q_u = Q_{inc} - Q_{per}$	$Q_u = Q_{inc} - Q_{per}$ $Q_u = 554,794 \text{ W}$
3.5	$\eta = \frac{Q_u}{Q_{inc}}$	$\eta = \frac{554,794}{704,764}$ $\eta = 0,78 \approx 78 \%$
3.6	$Q_{inc} = I_p \times \alpha_s \times A$ $I_p = 350,57 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$Q_{inc} = 350,57 \times 0,7337 \times 2,74$ $Q_{inc} = 704,764$
3.7	$\alpha_s = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d}$	$\alpha_s = \frac{0,74 \times 0,99}{1-(1-0,99)0,16}$ $\alpha_s = 0,733$
3.8	$A = \frac{d_i \times \pi \times L \times \text{número de tubos}}{2}$	$A = \frac{0,05 \times \pi \times 1,75 \times 20}{2}$ $A = 2,74 \text{ m}^2$
3.9	$Q_{per} = Q_{p-tubos} + Q_{p-tanque}$	$Q_{per} = 26,13 + 123,84$ $Q_{per} = 149,97 \text{ W}$
3.10	$Q_{p-Tubos} = U_{lr} \times A(T_c - T_a)$	$Q_{p-Tubos} = 4,77 \times 2,74(290 - 288)$ $Q_{p-Tubos} = 26,13 \text{ W}$
3.11	$U_{ir} = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r,c-a} \times A_c} + \frac{1}{h_{r,r-c}} \right]^{-1}$	$U_{ir} = \left[\frac{0,05}{16,31 + 4,7 \times 0,058} + \frac{1}{5,94} \right]^{-1}$ $U_{ir} = 4,77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$
3.12	$h_w = Nu \times \frac{K}{D}$	$Reynolds - R_e = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$ $R_e = \frac{1,16 \times 0,8 \times 0,058}{1,86 \times 10^{-5}}$ $R_e = 2893,76$ Si $1000 < R_e < 50000$, entonces $Nusselt - Nu = 0,30 \times R_e^{0,6}$ $Nu = 0,30 \times 2893,76^{0,6}$ $Nu = 35,8096$ $h_w = 35,8096 \times \frac{0,0265}{0,058}$ $h_w = 16,31 \times \frac{w}{m^2 C}$
3.13	$h_{r,r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2)(T_r + T_c)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\epsilon_2 \times A_r}{\epsilon_2 \times A_c}}$	$h_{r,r-c} = \frac{5,67 \times 10^{-8} (343^2 + 288^2) \times (343 + 288)}{\frac{1-0,91}{0,91} + \frac{1}{1} + \frac{1-0,88 \times 0,05}{0,88 \times 0,058}}$ $h_{r,r-c} = 5,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$
3.13	$h_{r,r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2)(T_r + T_c)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\epsilon_2 \times A_r}{\epsilon_2 \times A_c}}$	$h_{r,r-c} = \frac{5,67 \times 10^{-8} (343^2 + 288^2) \times (343 + 288)}{\frac{1-0,91}{0,91} + \frac{1}{1} + \frac{1-0,88 \times 0,05}{0,88 \times 0,058}}$ $h_{r,r-c} = 5,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$
3.14	$Q_{p-Tanque} = Q_{p-cond} + Q_{p-conv} + Q_{p-rad}$	$Q_{p-Tanque} = 48,59 + 29,85 + 45,40$ $Q_{p-Tanque} = 123,84 \text{ W}$

3.15	$Q_{p-cond} = \frac{T_i - T_a}{R_{Total}}$	$Q_{p-cond} = \frac{60-15}{0,9615}$ $Q_{p-cond} = 46,80 \text{ W Periferia}$ $Q_{p-cond} = \frac{60-15}{27,0756}$ $Q_{p-cond} = 1,79 \text{ W Tapas}$ $Q_{p-cond} = 46,80 + 1,79 = 48,59 \text{ W Total}$
3.16	$R_{Total} = R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3}$	$R_{Total} = 7 \times 10^{-6} + 0,961511 + 6,4 \times 10^{-5}$ $R_{Total} = 0,9615 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$
3.17	$R_{cond} = \frac{\ln \frac{D}{d}}{2 \times \pi \times L \times K}$	$R_{cond1} = \frac{\ln \frac{0,47}{0,368}}{2 \times \pi \times 1,730 \times 58,6} = 7 \times 10^{-6} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ $R_{cond2} = \frac{\ln \frac{0,468}{0,368}}{2 \times \pi \times 1,730 \times 0,023} = 0,961511 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ $R_{cond3} = \frac{\ln \frac{0,368}{0,364}}{2 \times \pi \times 1,730 \times 15,75} = 6,4 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$
3.18	$R = \frac{e}{K \times A}$ (Para las tapas laterales)	$A = \pi \times 0,235^2$ $A = 0,1734 \text{ m}^2$ $R = \frac{2 \times 10^{-3}}{15,75 \times 0,1734} = 7,32 \times 10^{-4} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ $R = \frac{0,05}{0,023 \times 0,1734} = 12,53 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ $R = \frac{1 \times 10^{-3}}{58,6 \times 0,1734} = 9,8 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ $R_{Total} = 7,32 \times 10^{-4} + 12,53 + 9,8 \times 10^{-5}$ $R_{Total} = 12,5378 \times 2 = 25,0756 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$
3.19	$Q_{p-cond} = hA_t(T_t - T_a)$	$T_f = \frac{T_t - T_a}{2} = \frac{25-11}{2} = 7^{\circ}\text{C} \sim 280\text{K}$ $Q_{p-cond} = 0,7353 \times 2,90(25 - 11)$ $Q_{p-cond} = 29,85\text{W}$
3.20	$h = \frac{N_u \times K}{D}$	$N_u = \left\{ 0,6 \frac{0,387 R_a^{1/6}}{[1 + (\frac{0,559}{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$ $R_a = G_r Pr = \frac{g \beta (T_t - T_a) L_c^3 Pr}{\nu^2}$ $\beta = \frac{1}{T_f} = 3,571 \times 10^{-3} \text{K}$ $R_a = \frac{9,81 \times 3,571 \times 10^{-3} (298 - 284) 0,47^3}{1,3996 \times 10^{-5}^2} = 0,7344$ $R_a = G_r Pr = 1,90 \times 10^8$ $N_u = \left\{ 0,6 \frac{0,387 \times 3,571 \times 10^8^{1/6}}{[1 + (\frac{0,559}{0,7344})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$ $N_u = 14,305$ $\frac{14,305 \times 0,02416}{0,47}$ $0,7353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$
3.21	$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_t (T_t^4 - T_a^4)$	$Q_{rad} = 0,2 \times 5,8 \times 10^{-8} \times 2,9(298^4 - 284^4)$ $Q_{rad} = 45,40\text{W}$
<p>Eficiencia del calentador de tubos de vacío con tubo de calor. (Sector de Baños)</p> <p>El cálculo de las pérdidas de calor en este sistema es similar al del calentador solar de tubos de vacío evacuados simple, con la diferencia del análisis matemático del tubo de calor, por lo tanto al ser de similares características físicas se tomarán algunos datos obtenidos en la sección anterior.</p>		
3.4	$Q_u = Q_{inc} - Q_{per}$	$Q_u = 625,303 - 129,04$ $Q_u = 496,259\text{W}$
3.5	$\eta = \frac{Q_u}{Q_{inc}}$	$\eta = \frac{496,259}{625,303}$ $\eta = 0,80 \approx 80\%$
3.22	$U_l = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r,c-a} \times A_c} + \frac{1}{h_{r,r-c}} + \frac{1}{h_{r,tc-r}} \right]^{-1}$	$U_l = \left[\frac{0,05}{16,31 + 4,7 \times 0,058} + \frac{1}{5,94} + \frac{1}{0,22998} \right]^{-1}$ $U_l = 0,21689 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$
3.23	$h_{r,tc-r} = \frac{\sigma \times 4 \times T^3}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + 1 + \frac{(1-\varepsilon_2)A_1}{\varepsilon_2 A_2}}$	$h_{r,tc-r} = \frac{5,68 \times 10^{-8} \times 4 \times 343^3}{\frac{1-0,025}{0,025} + 1 + \frac{(1-0,091)0,0825}{0,091 \times 0,05}}$ $h_{r,tc-r} = 0,22998 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$

3.10	$Q_{p-Tubos} = U_{lr} \times A(T_c - T_a)$	$Q_{p-Tubos} = 0,21689 \times 2,74(293 - 284)$ $Q_{p-Tubos} = 5,25W$
3.9	$Q_{per} = Q_{p-tubos} + Q_{p-tanque}$	$Q_{per} = 5,2 + 123,84$ $Q_{per} = 129,04W$
3.6	$Q_{inc} = I_p \times \alpha_s \times A$ $I_p = 312,62 \frac{W}{m^2}$ Sector Baños	$Q_{inc} = 312,62 \times 0,73 \times 2,74$ $Q_{inc} = 625,303W$

Tabla 4.42: Eficiencia teórica y eficiencia real de calentadores de tubos de vacío

Mes	Calentador solar de tubos de vacío		Calentador solar de tubos de vacío con tubos de calor	
	Eficiencia Real (%)	Eficiencia Teórica (%)	Eficiencia Real (%)	Eficiencia Teórica (%)
Enero	78	82	83	84
Febrero	76	81	83	84
Marzo	77	81	82	83
Abril	74	81	80	82
Mayo	72	78	79	82
Junio	74	77	78	81
Julio	73	78	72	75
Agosto	68	74	74	79
Septiembre	72	75	79	81
Octubre	74	79	80	83
Noviembre	76	80	83	83
Diciembre	78	82	82	84
Promedio	74	79	80	82

4.3.1. Demostración de la hipótesis 3

La determinación de la eficiencia práctica de los colectores de tubos de vacío a través de la instalación piloto permiten optimizar el cálculo teórico para disminuir errores en la determinación de la energía útil que produce el colector.

Para comprobar esta hipótesis se comparan los datos obtenidos de manera teórica con los datos obtenidos de la instalación piloto, y se determina si existe igual tendencia de los mismos para poder posteriormente realizar la corrección del error que se pudiera presentar.

En primer lugar, se realiza el análisis de correlación lineal de Pearson como se muestra en la Tabla 4.43.

Tabla 4.43: Correlación lineal de Pearson para datos de calentadores solares (Elaboración propia)

Correlaciones				Pruebas de normalidad				
		EFICIENCIA REAL	EFICIENCIA TEÓRICA	TIPO	Shapiro-Wilk			
					Estadístico	Estadístico	gl	Sig.
EFICIENCIA REAL TUBOS DE VACÍO	Correlación de Pearson	1	,906**	1	0,134	0,934	12	0,426
	Sig. (bilateral)		0,000					
	N	12	12					
					2	0,190	0,911	12
EFICIENCIA TEÓRICA TUBO DE VACÍO	Correlación de Pearson	,906**	1	1	0,185	0,862	12	0,051
	Sig. (bilateral)	0,000						
	N	12	12					
					2	0,220	0,806	12
EFICIENCIA REAL TUBO DE CALOR	Correlación de Pearson	1	,953**	1				
	Sig. (bilateral)		0,000					
	N	12	12					
EFICIENCIA TEÓRICA TUBO DE CALOR	Correlación de Pearson	,953**	1	1				
	Sig. (bilateral)	0,000						
	N	12	12					

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Los datos presentan normalidad.

Se determina que existe una alta correlación lineal de Pearson en los datos para los dos tipos de calentadores como puede verse en la Figura 4.18, esto implica que el cálculo teórico en tendencia lineal es muy aproximado a los valores medidos en la instalación piloto.

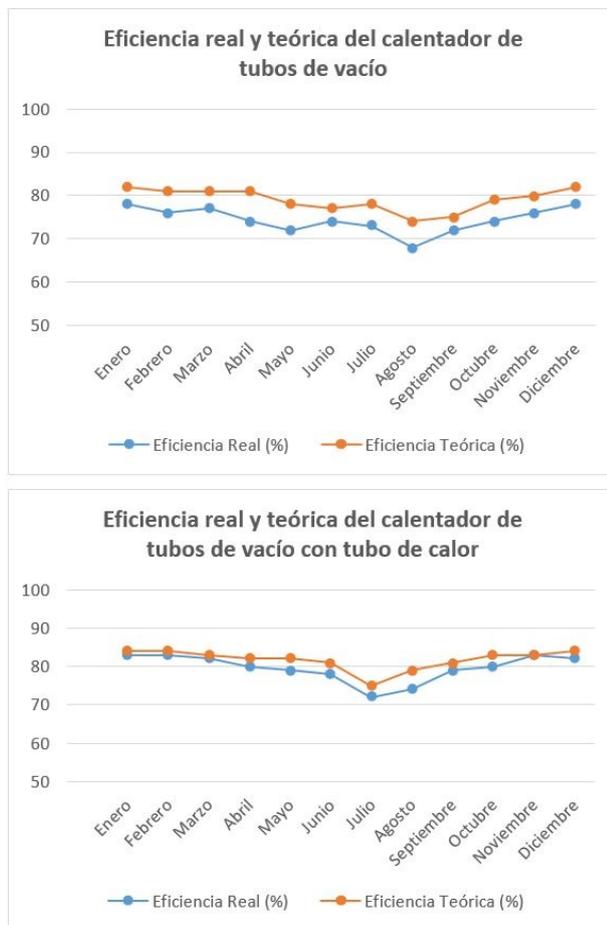


Figura 4.18: Eficiencia teórica y real de calentadores solares

Para determinar si la variación existente entre los valores calculados y los medidos es significativa se realiza el análisis de igualdad de medias aplicando la prueba T de student como se muestra en la Tabla 4.44

Tabla 4.44: Aplicación de la prueba T de student a los datos de eficiencia de los calentadores solares (Elaboración propia)

	EFICIENCIA CSTV	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
EFICIENCIA	EFICIENCIA REAL	12	74,33	2,902	0,838
	EFICIENCIA TEORICA	12	79,58	3,554	1,026

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95 % de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
EFICIENCIA	Se asumen varianzas iguales	0,28	0,6	-3,96	22	0,001	-5,25	1,325	-7,997	-2,503	
	No se asumen varianzas iguales			-3,96	21,16	0,001	-5,25	1,325	-8,003	-2,497	

Estadísticas de grupo– calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

	EFICIENCIA CSTV_TC	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
EFICIENCIA	EFICIENCIA REAL	12	79,58	3,554	1,026
	EFICIENCIA TEORICA	12	81,75	2,598	0,75

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95 % de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
EFICIENCIA	Se asumen varianzas iguales	1	0,33	-1,71	22	0,102	-2,167	1,271	-4,802	0,469	
	No se asumen varianzas iguales			-1,71	20,15	0,104	-2,167	1,271	-4,816	0,483	

En lo referente a la igualdad de varianzas considerando la prueba de Levene aceptamos la hipótesis nula ya que la significancia es mayor a 0.05, esto implica que las varianzas son iguales; con esto se ratifica la tendencia igual en las curvas.

Para el análisis de igualdad de medias aplicando la prueba T de student para el calentador solar de tubos de vacío evacuados simple se rechaza la hipótesis nula ya que el valor de significancia es menor a 0,05 y se acepta la hipótesis alternativa que indica que existe una diferencia significativa entre los valores calculados y los medidos por lo que no se deberían utilizar los datos calculados en el análisis teórico sin realizar la corrección correspondiente con los datos obtenidos de manera práctica ya que esto produciría un error significativo en los resultados. Para el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor el valor de significancia es mayor a 0,05, esto implica que se acepta la hipótesis nula es decir los valores obtenidos en el cálculo son muy aproximados a los medidos en la instalación piloto por lo que se podría trabajar directamente con ellos, pero es conveniente también realizar la corrección correspondiente para disminuir el error.

4.3.2. Discusión sobre la caracterización de colectores solares de tubos de vacío

La comparación de los datos medidos en los colectores de tubo de vacío evacuados simple y de tubo de vacío con tubo de calor con los generados permiten garantizar la confiabilidad del análisis, ya que como se puede observar el procedimiento teórico genera un error significativo por lo que es pertinente utilizar un factor de corrección y establecer el valor real para utilizarlo en los cálculos correspondientes.

Para el calentador de tubos de vacío evacuados simple el valor teórico genera un error significativo en cambio para el calentador de tubos de vacío con tubo de calor el error es mínimos; en los dos casos para disminuir la incertidumbre es conveniente corregirlos de acuerdo a los datos generados de manera práctica en la instalación piloto.

El proceso de validación realizado ha sido ejecutado en otros países ya que el análisis teórico no considera algunas variables y genera un error significativo en los resultados como se puede identificar en la investigación realizada por (Soproni et al., 2015) desarrolla en Rumania el análisis de parámetros de una instalación térmica con colector solar del tubo de vacío con tubo de calor y determina la eficiencia del colector solar parametrizándolo en las diferentes épocas del año. Otro ejemplo que ratifica la necesidad de caracterizar los

colectores lo presenta Porras en el 2015 en su tesis Doctoral titulada “Evaluación de un sistema de energía solar térmica basado en colectores de tubos de vacío para suministro de agua a alta temperatura” en donde los rendimientos y la rentabilidad están determinados por el tipo de calentador, la irradiación de la zona, la temperatura de agua requerida y la curva de demanda.

Con los equipos instalados se pueden identificar algunas realidades que no se consideran en el análisis teórico, una de ellas es que el calentador solar de tubos de vacío evacuados simple es más sensible a la subida de temperatura y puede provocar en algún instante la rotura de algún tubo, en cambio el calentador de tubo de vacío con tubos de calor es más robusto y el riesgo de rotura del tubo por la elevación de temperatura es mínimo; además este último es más eficiente (80 % comparado con el 74 % del de tubo de vacío) que compensaría el incremento en el costo del equipo frente al de tubo de vacío.

4.4. Modelo analítico para establecer factibilidad de implementación de sistemas solares para obtención de ACS y determinar la disminución de la contaminación ambiental

Para establecer el modelo analítico se considera en primer lugar los datos de radiación solar, medidos y con el correspondiente control de calidad, los tipos de calentadores solares con el área de captación incidente (Q_{incid}), y la demanda energética establecida para el sector de intervención (Q_{req}); considerando la eficiencia real de los calentadores, sus pérdidas (Q_{perd}) y el calor incidente en el colector se calcula el calor útil (Q_u) para aportar a la obtención de ACS.

Con la demanda energética establecida en función del número de habitantes del sector de intervención se puede calcular el porcentaje de CO_2 que se emite al ambiente utilizando combustibles fósiles o energía eléctrica para obtener ACS multiplicando por el factor de emisión que para Electricidad es de 0,385 kg eq de CO_2/kWh y para Gas Licuado de Petróleo (GLP Genérico) es 0,234 kg eq de CO_2/kWh ; posteriormente restando la energía útil antes establecida se obtiene la energía faltante (Q_{falt}) que se debe compensar con otra fuente de energía que para el caso de estudio puede ser GLP o electricidad y de acuerdo a ese volumen se determina el porcentaje de CO_2 que se deja

de emitir al ambiente (Figura 4.19). Además, se considera factible implementar un sistema cuando su aporte es mínimo el 40% del valor total requerido (Saavedra Palma, 2014).

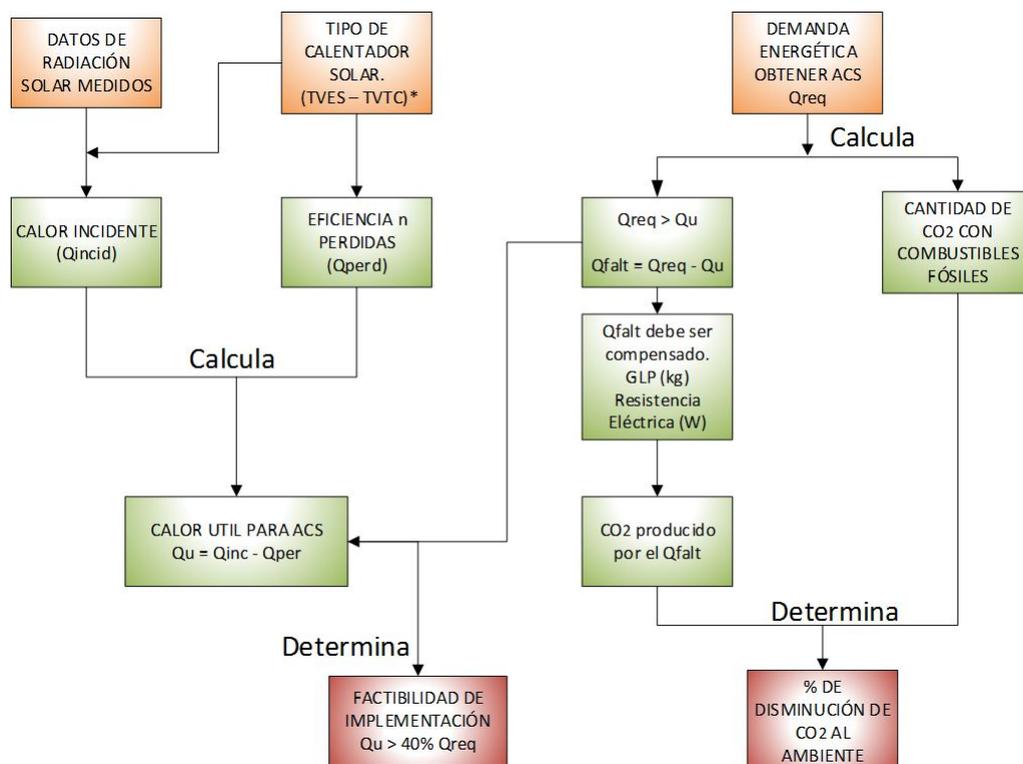


Figura 4.19: Modelo analítico para establecer factibilidad de implementación de sistemas solares y determinación de % de CO₂ emitido al ambiente

Con los datos de radiación solar medidos, complementados y con el control de calidad correspondiente para las diferentes zonas se aplica la ecuación (3.6) para determinar el Calor incidente (Q_{inc}) en función del tipo de calentador seleccionado. El porcentaje de calor perdido (Q_{per}) está también en función del tipo de calentador y se calcula en función de la eficiencia real determinada en el punto 4.3. Aplicando la Ecuación (3.4) se determina el calor útil en cada sector y este se compara con la demanda energética establecida en el trabajo de campo para definir la cobertura de energía para calentamiento en función de la demanda. El análisis del porcentaje de cobertura con energía solar para obtener ACS para los años 2014 y 2015 en cada zona se presenta en las Figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 y en las Tablas 4.45 y 4.46.

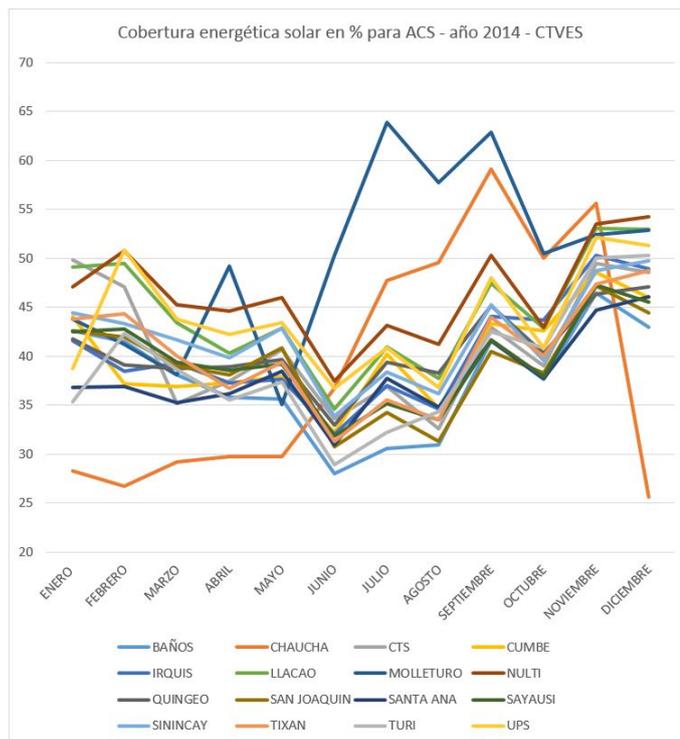


Figura 4.20: Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2014 con calentador solar de tubo de vacío evacuado simple (Elaboración propia)

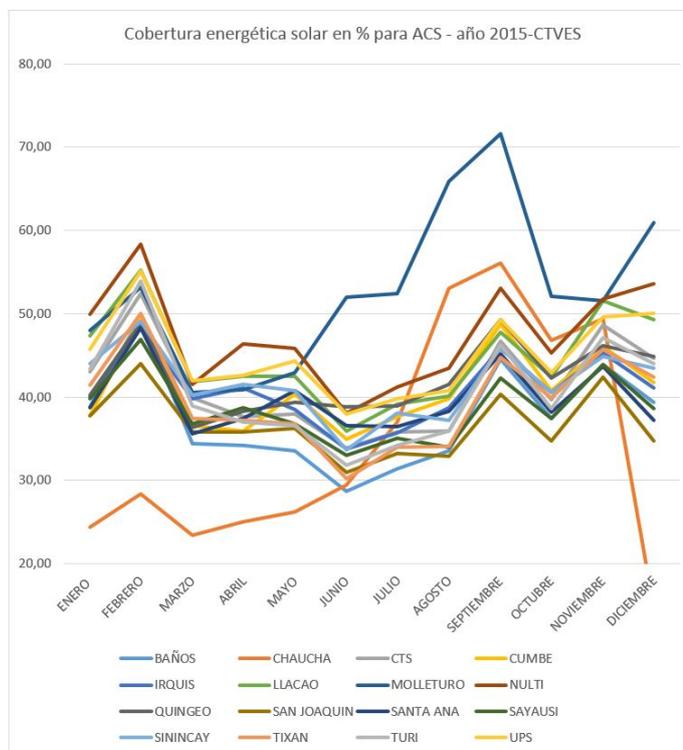


Figura 4.21: Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2015 con calentador solar de tubo de vacío evacuado simple (Elaboración propia)

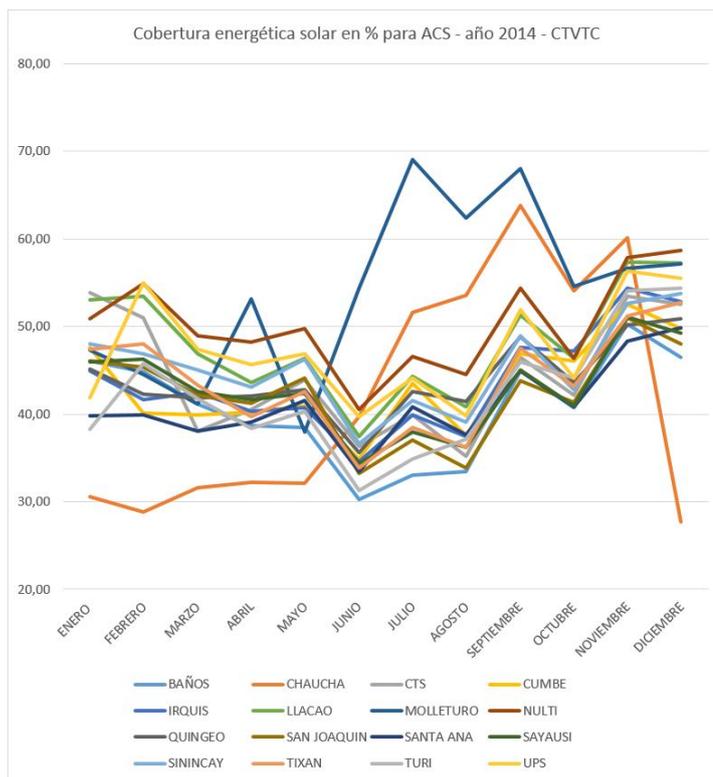


Figura 4.22: Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2014 con calentador solar de tubo de vacío con tubo de calor (Elaboración propia)

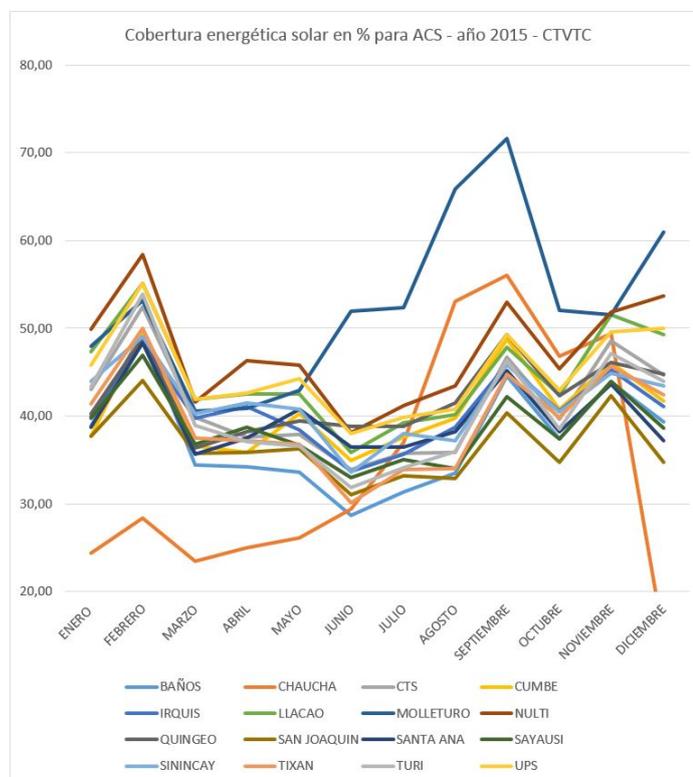


Figura 4.23: Porcentaje de aporte con energía solar para ACS en el cantón Cuenca para el año 2015 con calentador solar de tubo de vacío con tubo de calor (Elaboración propia)

Tabla 4.45: Análisis de cobertura de energía solar para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío evacuados simple

Estación	Irradiancia		Energía Incidente		Energía Perdida		Energía Útil		Demanda		Energía Faltante	
	promedio		kWh		kWh		kWh		Energía		kWh	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Baños	1359,11	1349,73	2729,67	2710,82	709,71	704,81	2019,96	2006	5562,85	5562,85	3542,89	3556,85
Chaucha	1454,31	1372,09	2920,86	2755,73	759,42	716,49	2161,43	2039,24	5562,85	5562,85	3401,42	3523,61
CTS	1527,98	1551,79	3068,82	3116,64	797,89	810,33	2270,93	2306,31	5562,85	5562,85	3291,92	3256,54
Cumbe	1457,39	1525,81	2927,04	3064,46	761,03	796,76	2166,01	2267,7	5562,85	5562,85	3396,84	3295,15
Irquis	1466,93	1509,14	2946,2	3030,99	766,01	788,06	2180,19	2242,93	5562,85	5562,85	3382,66	3319,92
Llacao	1609,21	1665,49	3231,97	3345,01	840,31	869,7	2391,66	2475,31	5562,85	5562,85	3171,19	3087,54
Molleturo	1823,05	1968,17	3661,44	3952,91	951,97	1027,76	2709,47	2925,15	5562,85	5562,85	2853,38	2637,7
Nulvi	1691,23	1781,7	3396,7	3578,4	883,14	930,38	2513,56	2648,01	5562,85	5562,85	3049,29	2914,84
Quingeo	1472,95	1570,64	2958,31	3154,51	769,16	820,17	2189,15	2334,34	5562,85	5562,85	3373,7	3228,51
San Joaquin	1414,3	1364,51	2840,51	2740,51	738,53	712,53	2101,98	2027,98	5562,85	5562,85	3460,87	3534,87
Santa Ana	1431,65	1482,57	2875,36	2977,62	747,59	774,18	2127,76	2203,44	5562,85	5562,85	3435,09	3359,41
Sayausi	1435,7	1440,54	2883,49	2893,2	749,71	752,23	2133,78	2140,97	5562,85	5562,85	3429,07	3421,88
Simincay	1523,17	1552,78	3059,17	3118,64	795,38	810,85	2263,79	2307,79	5562,85	5562,85	3299,06	3255,06
Tixan	1462,79	1472,53	2937,9	2957,45	763,85	768,94	2174,04	2188,51	5562,85	5562,85	3388,81	3374,34
Turi	1441,54	1515,15	2895,23	3043,06	752,76	791,2	2142,47	2251,86	5562,85	5562,85	3420,38	3310,99
UPS	1640,31	1679,48	3294,43	3373,09	856,55	877	2437,88	2496,09	5562,85	5562,85	3124,97	3066,76
Valores promedio										3313,85	3259	3286,42

Tabla 4.46: Análisis de cobertura de energía solar para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío con tubo de calor

Estación	Irradiancia		Energía Incidente		Energía Perdida		Energía Útil		Demanda		Energía Faltante	
	promedio		kWh		kWh		kWh		kWh		kWh	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Baños	1359,11	1349,73	2729,67	2710,82	545,93	542,16	2183,74	2168,65	5562,85	5562,85	3379,11	3394,2
Chaucha	1454,31	1372,09	2920,86	2755,73	584,17	551,15	2336,69	2204,58	5562,85	5562,85	3226,16	3358,27
CTS	1527,98	1551,79	3068,82	3116,64	613,76	623,33	2455,06	2493,31	5562,85	5562,85	3107,79	3069,54
Cumbe	1457,39	1525,81	2927,04	3064,46	585,41	612,89	2341,64	2451,57	5562,85	5562,85	3221,21	3111,28
Irquis	1466,93	1509,14	2946,2	3030,99	589,24	606,2	2356,96	2424,79	5562,85	5562,85	3205,89	3138,06
Llacao	1609,21	1665,49	3231,97	3345,01	646,39	669	2585,58	2676,01	5562,85	5562,85	2977,27	2886,84
Molleturo	1823,05	1968,17	3661,44	3952,91	732,29	790,58	2929,15	3162,33	5562,85	5562,85	2633,7	2400,52
Nulvi	1691,23	1781,7	3396,7	3578,4	679,34	715,68	2717,36	2862,72	5562,85	5562,85	2845,49	2700,13
Quingeo	1472,95	1570,64	2958,31	3154,51	591,66	630,9	2366,65	2523,61	5562,85	5562,85	3196,2	3039,24
San Joaquin	1414,3	1364,51	2840,51	2740,51	568,1	548,1	2272,41	2192,41	5562,85	5562,85	3290,44	3370,44
Santa Ana	1431,65	1482,57	2875,36	2977,62	575,07	595,52	2300,29	2382,09	5562,85	5562,85	3262,56	3180,76
Sayausi	1435,7	1440,54	2883,49	2893,2	576,7	578,64	2306,79	2314,56	5562,85	5562,85	3256,06	3248,29
Simincay	1523,17	1552,78	3059,17	3118,64	611,83	623,73	2447,34	2494,91	5562,85	5562,85	3115,51	3067,94
Tixan	1462,79	1472,53	2937,9	2957,45	587,58	591,49	2350,32	2365,96	5562,85	5562,85	3212,53	3196,89
Turi	1441,54	1515,15	2895,23	3043,06	579,05	608,61	2316,18	2434,45	5562,85	5562,85	3246,67	3128,4
UPS	1640,31	1679,48	3294,43	3373,09	658,89	674,62	2635,54	2698,47	5562,85	5562,85	2927,31	2864,38
Valores promedio											3131,49	3072,2
3101,85												

Con los valores establecidos se determina que con el calentador solar de tubos de vacío evacuados simple existe una cobertura promedio con energía

solar del 40,92 % o una demanda que debe ser cubierta con otra fuente energética que equivale al 59,08 % y para el calentador de tubos de vacío con tubo de calor la cobertura es del 44,24 %, o una demanda que debe ser cubierta del 55,76 % con otra fuente energética; esto implica una reducción promedio en el primer caso de **100 397,17 Tn eq. CO₂** y en el segundo caso de **108 537,24 Tn eq. CO₂** considerando que al utilizar calentadores a base de GLP se generan **245 338 Tn eq. CO₂** al año (Figura 4.24).

Tabla 4.47: Porcentaje de energía solar faltante para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío evacuados simple

Energía Faltante kWh		Energía Faltante kg (GLP)		Energía Faltante %	
2014	2015	2014	2015	2014	2015
3542,89	3556,85	280,32	281,42	63,69 %	63,94 %
3401,42	3523,61	269,12	278,79	61,15 %	63,34 %
3291,92	3256,54	260,46	257,66	59,18 %	58,54 %
3396,84	3295,15	268,76	260,72	61,06 %	59,23 %
3382,66	3319,92	267,64	262,67	60,81 %	59,68 %
3171,19	3087,54	250,91	244,29	57,01 %	55,50 %
2853,38	2637,7	225,76	208,7	51,29 %	47,42 %
3049,29	2914,84	241,26	230,62	54,82 %	52,40 %
3373,7	3228,51	266,93	255,44	60,65 %	58,04 %
3460,87	3534,87	273,83	279,68	62,21 %	63,54 %
3435,09	3359,41	271,79	265,8	61,75 %	60,39 %
3429,07	3421,88	271,31	270,74	61,64 %	61,51 %
3299,06	3255,06	261,02	257,54	59,31 %	58,51 %
3388,81	3374,34	268,13	266,98	60,92 %	60,66 %
3420,38	3310,99	270,62	261,97	61,49 %	59,52 %
3124,97	3066,76	247,25	242,64	56,18 %	55,13 %
3313,85	3259	262,19	257,85	59,57 %	58,59 %
3286,42		260,02		59,08 %	

Tabla 4.48: Porcentaje de energía solar faltante para obtener ACS, utilizando un calentador de tubos de vacío con tubos de calor

Energía Faltante kWh		Energía Faltante kg (GLP)		Energía Faltante %	
2014	2015	2014	2015	2014	2015
3379,11	3394,2	267,36	268,55	60,74 %	61,02 %
3226,16	3358,27	255,26	265,71	57,99 %	60,37 %
3107,79	3069,54	245,89	242,86	55,87 %	55,18 %
3221,21	3111,28	254,87	246,17	57,91 %	55,93 %
3205,89	3138,06	253,65	248,29	57,63 %	56,41 %
2977,27	2886,84	235,56	228,41	53,52 %	51,89 %
2633,7	2400,52	208,38	189,93	47,34 %	43,15 %
2845,49	2700,13	225,14	213,64	51,15 %	48,54 %
3196,2	3039,24	252,89	240,47	57,46 %	54,63 %
3290,44	3370,44	260,34	266,67	59,15 %	60,59 %
3262,56	3180,76	258,14	251,66	58,65 %	57,18 %
3256,06	3248,29	257,62	257,01	58,53 %	58,39 %
3115,51	3067,94	246,5	242,74	56,01 %	55,15 %
3212,53	3196,89	254,18	252,94	57,75 %	57,47 %
3246,67	3128,4	256,88	247,52	58,36 %	56,24 %
2927,31	2864,38	231,61	226,63	52,62 %	51,49 %
3131,49	3072,2	247,77	243,07	56,29 %	55,23 %
3101,85		245,42		55,76 %	

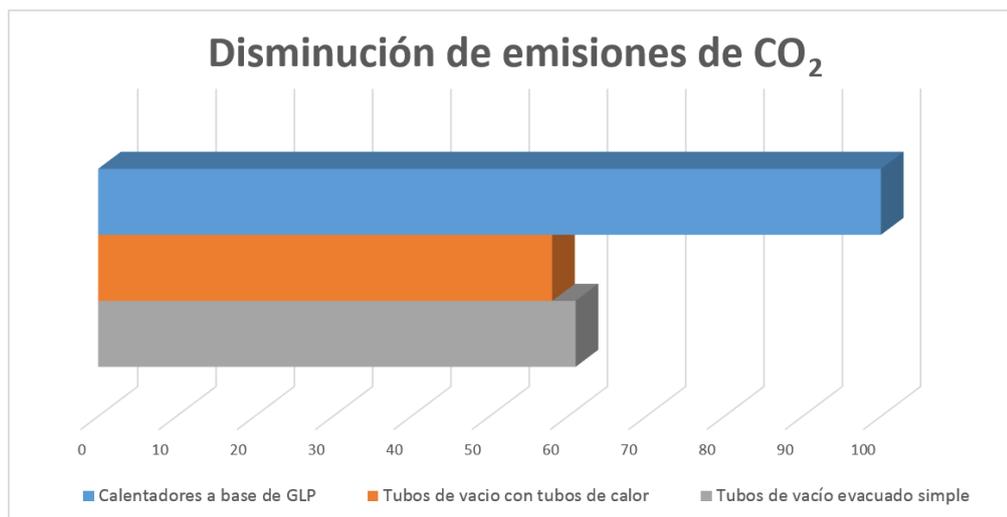


Figura 4.24: Disminución de emisiones de CO₂ en la obtención de ACS con calentadores híbridos con tecnología solar respecto a calentadores a base de GLP

4.4.1. Discusión sobre el modelo analítico.

El modelo analítico propuesto garantiza una implementación eficiente ya que considera todos los elementos requeridos para este propósito.

En primer lugar, la caracterización de radiación solar para las diferentes zonas en donde es posible emplazar calentadores solares define que es necesaria la red de estaciones ya que existen variaciones debido a la geografía y condiciones atmosféricas de los diferentes sectores y que es necesario recopilar de manera constante los datos pues por las condiciones del planeta cada año existen variaciones que pueden afectar los valores de radiación medidos.

En segundo lugar, determina las eficiencias de dos tipos de calentadores, el de tubo de vacío y el de tubo de vacío con tubo de calor, equipos que se comercializan en el Ecuador y que por su tecnología es la alternativa que presenta menores pérdidas, también se podrían incluir otros tipos de calentadores como el de placa plana siempre que se conozca su eficiencia, con estos valores establecidos es posible cuantificar el calor útil para producir ACS.

En tercer lugar, se debe conocer la demanda de ACS de la población de intervención, en este caso se realizó el trabajo de campo para el Cantón Cuenca y se define que este parámetro depende de las costumbres del consumidor, este aspecto es de gran importancia ya que para este caso en particular el consumo de agua por persona es elevado, de 50 litros de ACS/día por persona, esto comparado con otras localidades como la comunidad europea en la que utilizan 30 litros de ACS/ día por persona (ATECYR - IDAE, 2017). De este análisis se prevé que para lograr una inserción eficiente de los sistemas

será necesario trabajar en la concientización de la población para que modifique algunas costumbres de uso de agua caliente especialmente el tiempo que destinan al aseo personal en la ducha.

Integrando los datos de radiación medidos y complementados, con los parámetros de eficiencia de los colectores solares y la demanda de energía para cubrir el requerimiento de ACS se puede cuantificar de una manera eficiente la cantidad de energía que aporta la radiación solar y determinar el faltante energético que debe ser cubierto con una energía alternativa que puede ser sistemas a base de GLP o resistencia eléctrica; con estos datos se calcula también la disminución en la producción de contaminación ambiental por emisiones de CO₂.

Muchos investigadores se han preocupado por analizar las aplicaciones de diferentes tipos de colectores solares; Kalogirou (2004) da a conocer el análisis para varios tipos y establece que los sistemas de energía solar se pueden utilizar para una amplia gama de aplicaciones y proporcionan beneficios significativos, por lo tanto, deben utilizarse siempre que sea posible. Métodos que utilizan procedimientos similares al presentado en el modelo se han desarrollado considerando que los sistemas a base de energía solar dependen del clima y exhiben una dependencia no lineal. Esto hace que sea difícil analizar con precisión su desempeño simplemente observando su respuesta a las condiciones climáticas a corto plazo o promedio. El trabajo que presenta Okafor & Akubue (2012) analiza el uso del método f-chart¹ en el diseño de sistemas solares de calefacción solar considerando su simplicidad y capacidad para estimar la fracción de la carga total de calefacción suministrada por el sistema de calefacción solar, realizan el análisis para la comunidad de Nsukka en Nigeria y determinan que para una familia promedio de seis personas el 44 % de energía requerida para obtener ACS se puede obtener con calentadores solares, describen un error de -1 % a -5 % entre las predicciones con el f-chart y los rendimientos experimentales. Los datos obtenidos con el modelo desarrollado en esta tesis consigue un error de +1 % a +5 % entre los rendimientos calculados y los rendimientos experimentales que se pueden considerar como válidos.

También en el sector agrícola e industrial se han realizado modelos para establecer la capacidad de colectores solares como el desarrollado por de los Mozos Hernando (2017), en su tesis Doctoral: "Evaluación de un sistema de energía solar térmica para suministro de agua caliente en industrias cáрни-

¹F-chart es el programa autorizado de análisis y diseño de sistemas solares desarrollado por S.A. Klein y W.A. Beckman. Proporciona un medio para determinar fácilmente el rendimiento térmico de los sistemas de calefacción de energía solar (utilizando líquido o aire como fluido de trabajo).

cas” en donde se pretende contribuir al fomento y utilización de las energías renovables en el sector agroindustrial a través del estudio de los sistemas solares térmicos con captadores de tubos de vacío para suministrar parte de la demanda de agua caliente en las industrias cárnicas. Para ello se han establecido patrones de demanda típicos de las industrias (temperatura y volúmenes demandados y horarios en los que se requieren); a través de una instalación experimental se ha caracterizado el potencial de producción de este tipo de sistemas solares a lo largo del año; se ha cuantificado la energía útil que el sistema solar es capaz de suministrar a lo largo del año, en diferentes industrias y escenarios; finalmente se ha determinado la rentabilidad del sistema solar como sistema complementario de suministro. La energía anual suministrada por un sistema solar termico optimizado varía entre el 29% y el 73% del total de la energía necesaria; el gasto energético anual se reduce entre un 25% y 68%.

Capítulo 5

Impactos

El problema planteado en la presente investigación radica fundamentalmente en la emisión de CO₂ al ambiente y la no consideración de sistemas alternativos a base de energía solar para obtener ACS que aporten de manera significativa a la reducción de la huella de carbono que se produce a nivel doméstico y que es importante por las magnitudes que va alcanzando, esto debido al desconocimiento por parte de los usuarios de que tan eficientes puede ser estos sistemas y si garantizan una dotación constante del fluido para sus necesidades cotidianas.

Con los análisis planteados en los capítulos anteriores se evidencia que se puede realizar una disminución significativa de la contaminación como se muestra en la Tabla 5.1, al cubrir con el calentador de tubos de vacío evacuados simple el 40,92 % de la demanda y con el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor el 44,24 %, esto implica que para dar soporte a la demanda total se requieren de sistemas híbridos que funcionen con energía solar y una fuente auxiliar que utilice otro tipo de fuente energética.

Tabla 5.1: Proyección de la reducción de contaminación ambiental generada en el cantón Cuenca para el año 2016 por producción de ACS

Reducción de la contaminación ambiental generada en el cantón Cuenca por concepto de obtención de ACS utilizando energía solar	Calentador solar de tubos de vacío evacuados simple	100 397,17 Tn eq. CO ₂ al año 6.7 % de las emisiones totales del cantón Cuenca
	Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor	108 537,24 Tn eq. CO ₂ al año 7.3 % de las emisiones totales del cantón Cuenca

Actualmente en el mercado ecuatoriano se pueden conseguir calentadores híbridos con la siguiente integración:

- Calentador solar de tubos de vacío evacuados simples y calentador eléctrico

- Calentador solar de tubos de vacío con tubos de calor y calentador a base de GLP.

5.1. Análisis económico para la implementación de calentadores híbridos para obtención de ACS

Para realizar el análisis se consideran dos escenarios; el primero que parte de la situación actual en el Ecuador en donde se genera un subsidio para el GLP y un segundo en donde se eliminaría dicho subsidio. El costo real para el usuario del GLP actualmente es de \$ 0,167 el Kg (EP PetroEcuador, 2015), para determinar este costo real se considera un costo de \$ 1,60 la bombona de 15 kg y a esto se le debe sumar 0,90 del transporte; el costo real sin subsidio es de \$ 0,90 el kg de GLP lo que implica una bombona de 15 kg a un costo de \$ 12,6 y de igual manera un transporte \$ 0,90.

Se realiza el análisis para cuatro tipos de calentadores que se venden en el Ecuador:

- **C-GLP:** Calentador a base de GLP.
- **C-E:** Calentador a base de energía eléctrica.
- **C-TVES/E:** Calentador de tubos de vacío evacuado simple y calentador auxiliar eléctrico.
- **C-TVTC/GLP:** Calentador de tubo de vacío con tubo de calor con calentador auxiliar a base de GLP.

El instrumento de análisis financiero que posibilitará la toma de decisión adecuada para este caso es el Costo Actual Uniforme Equivalente (CAUE) que consiste en convertir todos los costos integrados en la adquisición, instalación, mantenimiento en una serie uniforme de pagos que permite comparar y establecer cuál es el que menor costo tendrá en un lapso de tiempo establecido.

Para la aplicación del CAUE se debe tener en cuenta los siguientes factores que dan aplicación a su estructura funcional.

- **C:** Costo inicial o inversión inicial que para este caso será el valor del equipo más el costo de instalación.

- **K:** Vida útil en años que de acuerdo a los fabricantes en todos los tipos de calentadores es de 15 años .
- **S:** Valor de salvamento que será considerado cero (0), ya que luego de los 15 años de uso el calentador se debe desechar.
- **CAO:** Costo anual de operación que considera el costo del combustible o energía utilizada.
- **CAM:** Costo anual de mantenimiento que de acuerdo a los fabricantes se realiza una vez al año y es preventivo.
- **IA:** Ingresos anuales que en este caso será el 15 % tomando en cuenta la inflación y el premio al riesgo de inversión.

5.1.1. Escenario con subsidio del estado para el GLP

5.1.1.1. Calentador a base de GLP

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 420 y un costo de instalación de \$ 50, para el costo de operación se tiene a \$ 0,167 el kg de GLP con un desperdicio de 5 % durante el uso; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 25, con esto se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Cálculo CAUE para calentador a base GLP

C	470	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	77,02	dólares
CAM	25	dólares
IA	15 %	
Costo por kg	0,167	dólares
Demanda	440,14	kg de GLP al año
Desperdicio	0,05	
CAUE	182,56	

5.1.1.2. Calentador Eléctrico C-E

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 280 y un costo de instalación de \$ 50, para el costo de operación se tiene a \$ 0,12 el kWh de energía eléctrica (ARCONEL, 2015); también se prevé un mantenimiento de

limpieza anual de \$ 25, con esto se obtienen los resultados, mostrados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3: Cálculo CAUE para calentador Eléctrico

C	330	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	677,54	dólares
CAM	25	dólares
IA	15 %	
Costo por kwh	0,120	dólares
Demanda	5 562,85	kwh al año
CAUE	748,98	

5.1.1.3. Calentador de tubos de vacío evacuados simple y calentador eléctrico. C-TVES/E

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 1042,05 y un costo de instalación de \$ 400, para el costo de operación se tiene a \$ 0,12 el kWh de energía eléctrica; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 25, con esto se obtienen los resultados presentados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Cálculo CAUE para C-TVES/E

C	1 442,05	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	372,22	dólares
CAM	10	dólares
IA	15 %	
Costo por kwh	0,120	dólares
Demanda	3 101,85	kw al año
CAUE	628,84	

5.1.1.4. Calentador de tubos de vacío con tubo de calor y calentador a base de GLP. C-TVTC/GLP

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 1 356,98 y un costo de instalación de \$ 400, para el costo de operación se tiene a \$ 0,167 el kg de GLP con un desperdicio de 5 % durante el uso; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 10, con esto se obtienen los resultados de la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Cálculo CAUE para C-TVTC/GLP

C	1 756,98	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	43,03	dólares
CAM	10	dólares
IA	15 %	
Costo por kg	0,167	dólares
Demanda	245,42	kg de GLP al año
Desperdicio	0,05	
CAUE	354,28	

En resumen, para el escenario actual con subsidio del estado para el GLP el CAUE de los cuatro tipos de calentadores evaluados presenta los siguientes valores (Tabla 5.6).

Tabla 5.6: CAUE según tipo de calentador escenario 1

Tipo de calentador	CAUE (\$)
C-GLP	182,56
C-E	748,98
C-TVES/CE	628,84
C-TVTC/GLP	354,28

Con los datos obtenidos anteriormente se puede decir que económicamente es más beneficioso el sistema a base de GLP en las condiciones actuales del Ecuador.

5.1.2. Escenario sin subsidio del estado para el GLP

5.1.2.1. Calentador a base de GLP

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 420 y un costo de instalación de \$ 50, para el costo de operación se tiene a \$ 0,90 el kg de GLP con un desperdicio de 5 % durante el uso; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 25, con esto se obtienen los resultados de la Tabla 5.7.

Tabla 5.7: Cálculo CAUE para calentador a base GLP

C	470	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	415,93	dólares
CAM	25	dólares
IA	15 %	
Costo por kg	0,9	dólares
Demanda	440,14	kg de GLP al año
Desperdicio	0,05	
CAUE	553,66	

5.1.2.2. Calentador eléctrico C-E

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 280 y un costo de instalación de \$ 50, para el costo de operación se tiene a \$ 0,12 el kWh de energía eléctrica; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 25, con esto se obtienen los resultados de la Tabla 5.8.

Tabla 5.8: Cálculo CAUE para calentador eléctrico

C	330	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	667,54	dólares
CAM	25	dólares
IA	15 %	
Costo por kwh	0,120	dólares
Demanda	5 562,85	kWh al año
CAUE	748,98	

5.1.2.3. Calentador de tubos de vacío evacuados simple y calentador eléctrico. C-TVES/E

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 1042,05 y un costo de instalación de \$ 400, para el costo de operación se tiene a \$ 0,12 el kWh de energía eléctrica; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 10, con esto se obtienen los resultados de la Tabla 5.9.

Tabla 5.9: Cálculo CAUE para C-TVES/E

C	1 442,05	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	372,22	dólares
CAM	10	dólares
IA	15 %	
Costo por kw	0,120	dólares
Demanda	3 101,85	kWh al año
CAUE	624,84	

5.1.2.4. Calentador de tubos de vacío con tubo de calor y calentador a base de GLP. C-TVTC/GLP

Para este caso se considera un costo de equipo de \$ 1356,98 y un costo de instalación de \$ 400, para el costo de operación se tiene a \$ 0,90 el kg de GLP con un desperdicio de 5 % durante el uso; también se prevé un mantenimiento de limpieza anual de \$ 10, con esto se obtienen los resultados de la Tabla 5.11.

Tabla 5.10: Cálculo CAUE para C-TVTC/GLP

C	1 756,98	dólares
K	15	años
S	0	dólares
CAO	231,92	dólares
CAM	10	dólares
IA	15 %	
Costo por kg	0,90	dólares
Demanda	245,42	kg de GLP al año
CAUE	560,43	

En resumen, para el escenario sin subsidio del estado para el GLP el CAUE de los cuatro tipos de calentadores evaluados presenta valores de la Tabla 5.11.

Tabla 5.11: CAUE según tipo de calentador escenario 2

Tipo de calentador	CAUE (\$)
C-GLP	553,66
C-E	748,98
C-TVES/CE	628,84
C-TVTC/GLP	560,43

Con los datos obtenidos anteriormente se puede decir que económicamente los sistemas más beneficiosos si se elimina el subsidio al GLP en el Ecuador son el sistema a base de GLP y el sistema C-TVTC/GLP en donde el CAUE mantiene valores muy cercanos.

Si el segundo escenario se presenta, la implementación del proyecto sería viable económicamente y además se generaría un beneficio adicional que es el de eliminar la contaminación ambiental, de esto se verían beneficiados todos quienes viven en el cantón Cuenca, pues tendrían un aire menos contaminado para respirar lo que aportaría significativamente en la salud de los habitantes.

Es importante considerar que el Ecuador a incrementado su deuda por lo que requiere acciones urgentes para disminuir su gasto corriente, esto implica dos aspectos fundamentales, la reducción de personal en las entidades gubernamentales y la eliminación parcial o total de los subsidios que actualmente se generan entre estos el definido para el GLP de uso domestico; hay que tener presente que el estado gasta alrededor de \$1566000 dólares diarios en el subsidio al gas, esto implica un presupuesto de \$571590 millones de dólares al año de acuerdo al informe presentado en el 2013 por el Ministerio de finanzas del Ecuador.

Conclusiones

En el cantón Cuenca un hogar promedio está compuesto por 5 integrantes, llegándose a estimar que para el año 2016 existieron alrededor de 114 553 hogares, de los cuales el 82 % emplean agua caliente para sus actividades diarias, el 18 % restante no disponen de agua caliente debido al alto costo de los sistemas de calentamiento de agua, la contaminación que estos generan, la dificultad presente a la hora de adquirir e instalar un nuevo sistema de calentamiento de agua.

En el cantón Cuenca para obtener ACS sus habitantes utilizan fundamentalmente sistemas a base de GLP, provocando una contaminación aproximada de 245 337 Tn CO₂ eq al año, este valor aporta a la huella de carbono y determina que no existe el criterio de eco-eficiencia aplicado a los procesos domésticos en los que se utiliza energía.

La cantidad de agua caliente utilizada para las diferentes actividades que corresponde a 50L por persona al día, es excesiva comparándola con los 30 L diarios que se utiliza en España (ATECYR - IDAE, 2017), de acuerdo a las ordenanzas impuesta en este país. Si las costumbres del consumidor cambian o se regula el uso de ACS se obtendría una disminución adicional del 29,54 % con calentador de tubos de vacío evacuados simple y del 33,5 % para el calentador de tubos de vacío con tubos de calor en lo que respecta a emisiones de CO₂ al ambiente.

Para favorecer un modelo analítico eficiente se deben contar con datos reales de radiación solar medidos en los lugares de intervención, para esto es fundamental contar con una red meteorológica que aporte con estos datos.

La energía útil que un calentador transmite al fluido depende de la eficiencia del calentador híbrido que se emplee y del recurso solar, el cual varía de una zona a otra, para el cantón Cuenca las zonas de Nulti, Molleturo, UPS y Llaaco aportan los rangos más altos de energía solar mientras que Sayausi, San Joaquín, Chaucha y Baños en menor proporción, pero todas están sobre un 40 % anual lo que las convierte en alternativas eficientes para instalar sistemas híbridos para obtener ACS.

La radiación promedio en las diferentes parroquias del cantón Cuenca varía entre 1 359 kWh/m² y 1 968 kWh/m² dependiendo de las diferentes condiciones geográficas del sector, la misma utilizada en calentadores solares de tubos de vacío produce un aporte energético para obtener ACS que va desde el 40,92 % al 44,23 %.

Para garantizar una dotación constante de ACS los calentadores deben ser híbridos, es decir deben trabajar con energía solar y tener un sistema auxiliar que puede ser a base de GLP o resistencia eléctrica.

Si se realiza la implementación de sistemas híbridos con tecnología solar se obtiene una disminución de contaminación de CO₂ que esta alrededor del 44 % esto implica dejar de emitir al ambiente 108 537,24 tn CO₂ eq al año, que serían aproximadamente el 7 % de la contaminación ambiental total generada en el cantón Cuenca.

En las condiciones actuales en el Ecuador, es decir, manteniendo el subsidio al GLP los sistemas híbridos con energía solar y GLP o energía eléctrica económicamente no son rentables, pues el valor del equipo y el costo de implementación son elevados.

Si el subsidio al GLP se elimina, los sistemas híbridos a base de energía solar y GLP se vuelven competitivos con los sistemas únicamente a base de GLP, esto provocaría que el usuario tenga una ventaja en el primer caso ya que dejaría de producir emisiones de CO₂ que son dañinas para la salud de las personas, además eliminaría procesos energéticos riesgosos de la vivienda que atentan contra la salud y el bienestar de las personas que habitan en la misma.

El uso de calentadores solares híbridos para la obtención de ACS representa una solución eco-eficiente, puesto que se reducen de forma considerable las emisiones de CO₂ responsables de la huella de carbono, sin embargo actualmente no son económicamente viables debido a la presencia del subsidio del GLP lo cual hace que los calentadores que funcionan con este combustible económicamente sean rentables y los más utilizados.

Recomendaciones

Es necesario concientizar a la población de lo que significa la huella de carbono y las repercusiones que estas presentan para las futuras generaciones, de tal manera que se identifique como alternativa trabajar con sistemas ecoeficientes y para este caso en particular el uso de energía solar para obtener ACS sería un aporte muy importante.

El agua es un recurso que se agota, debería considerarse la posibilidad de regular el uso de la misma ya que las costumbres de los ciudadanos provocan un desperdicio considerable de este líquido vital.

Los datos de radiación son cambiantes por lo que es recomendable mantener a la red meteorológica funcionando de manera eficiente para poder predecir con mayor confiabilidad la posibilidad de utilización de esta energía limpia.

La contaminación ambiental es una preocupación de todos, por lo que se debería pensar en posibilitar ordenanzas municipales que obliguen el uso de fuentes alternativas para cubrir la demanda energética de los ciudadanos y de esta manera favorecer el buen vivir.

El Estado, encargado de velar por el bienestar de los ciudadanos podría subsidiar una parte del costo del equipo para favorecer la integración de esta tecnología en la producción de ACS como se hace en otros países.

Bibliografía

- Afta-asociacion (2017). *Dimensionado de instalaciones*. Afta-asociacion. Disponible en: <https://goo.gl/74g1Zd>.
- Álvarez, F. J. (2008). *Filosofía moderna*. Andamio. Disponible en: <https://goo.gl/mfZ5qo>.
- Alzugaray, J. J. (1999). *Reflexiones de un Ingeniero*. Encuentro. Disponible en: <https://goo.gl/vv1wW7>.
- Andrade, J. & Ochoa, P. (2013). *Reducción del consumo de energía eléctrica residencial, mediante la aplicación de sistemas termo-solares para el calentamiento de agua sanitaria en viviendas domiciliarias en el cantón Cuenca*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/9otXK6>.
- ARCH (2017). *Subsidio y precio de gas licuado de petróleo se mantienen*. Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/9woAcp>.
- ARCONEL (2015). *Pliego y cargos tarifarios*. Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/7QyYsd>.
- ARCONEL (2017). *Planilla Eléctrica*. Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/EnMbRE>.
- ATECYR - IDAE (2017). *Documento Básico, HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. Disponible en: <https://goo.gl/w8EDQS>.
- Bernard, C. (2005). *Introducción al estudio de la medicina experimental*. Grupo Planeta. Disponible en: <https://goo.gl/XM5APU>.
- Bunge, M. (2006). *A la casa de la realidad*. Gedisa.

- Cárdenas, L. & Uribe, P. (2012). ACCESO SOLAR A LAS EDIFICACIONES. el eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de urbanismo*, (26):21–42. DOI: <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2012.20922>.
- CONELEC (2008). Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Technical report, Consejo Nacional de Electricidad. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/HcL7Ei>.
- Creus Solé, A. (2010). *Energía Termosolar*. Cano Pina S. L. Disponible en: <https://goo.gl/WNhzQZ>.
- Datosmacro (2016). Descienden las emisiones de CO₂ en Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/Tyef4F>.
- de los Mozos Hernando, V. (2017). *Evaluación de un sistema de energía solar térmica para suministro de agua caliente en industrias cárnicas*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Delgado, O. (2013). Plan de ordenamiento y desarrollo territorial del cantón Cuenca. In *Memorias del II Congreso Binacional de Investigación, Ciencia y Tecnología de las Universidades*, pages 721–729. Disponible en: <https://goo.gl/S3WixM>.
- Díaz, G. (2012). *Ocho modelos para estimar la cantidad de irradiación solar global en la República Mexicana*. Tesis. Universidad Veracruzana. México.
- Díaz, J. F. (2017). Eficiencia Energética y Utopía. Blog relacionado con energía, climatización y eficiencia energética. Disponible en: <https://goo.gl/J2u8bQ>.
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Inc. Disponible en: <https://goo.gl/rjjMtJ>.
- EcolInventos (2014). Uno de los primeros calentadores solares de la historia. EcolInventos Green Technology. Disponible en: <https://goo.gl/NV1TYS>.
- ENERWORK (2017). Colectores de placa plana. Enerwork, Energía Solar: Equipo, Consultoría y Aplicaciones. Disponible en: <https://goo.gl/5PV5Uk>.
- Entrena, F. (2013). *Determinación del potencial solar UF0212*. IC editorial. Disponible en: <https://goo.gl/9PsoEw>.
- EP PetroEcuador (2015). Costos de glp. Disponible en: <https://goo.gl/bqM3HW>.

- Estrategia Aragonesa (2017). Calculadora de emisiones. Estrategia aragonesa de cambio climático, Fondo Europeo de Desarrollo Regional, Gobierno de Aragón, Cámaras de Aragón. Disponible en: <https://goo.gl/uiEK4r>.
- ETAPA EP (2016). Mapa de cobertura. Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Ilustre Municipalidad de Cuenca. Disponible en: <https://goo.gl/i8Cj96>.
- Euroserv'ER (2017). Solar thermal and concentrated solar power barometer 2017. Disponible en: <https://goo.gl/2XFMc8>.
- Gamarra, G., Wong, T., & Pujay, O. (2015). *Estadística e investigación con aplicaciones de SPSS*. Editorial San Marcos.
- González Marmol, J. M. (2012). Tipos de radiaciones del Sol. Astrociencia. Disponible en: <https://goo.gl/2XFMc8>.
- GREENPEACE (2017). Un plan para un futuro energético renovable y global. Disponible en: <https://goo.gl/3JiQmp>.
- Hernández, H. & Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de la Construcción*, 10(1):53–63. Disponible en: <https://goo.gl/Jk8Avx>.
- Hernández, J., Trujillo, C., & Vallejo, W. (2014). Modelamiento de la irradiancia y la temperatura ambiente utilizando funciones de probabilidad. *Tecnura*, 18(39):128–137. DOI: <https://doi.org/10.14483/issn.2248-7638>.
- Houssay, B. A. (1941). Claude Bernand y el Metodo Experimental. *Revista de la Universidad Nacional de Córdoba*, (9–10):1282–1295. Disponible en: <https://goo.gl/bnwjaJ>.
- INEC (2010). *Resultados del Censo 2010*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/4SsCmJ>.
- INEC (2016). *Ecuador en cifras*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/ndFaJA>.
- Instituto Geográfico Militar (2017). Geoportal. Disponible en: <https://goo.gl/B51zDf>.
- IRENA (2015). *Energías Renovables en América Latina 2015: Sumario de Políticas*. Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Disponible en: <https://goo.gl/Yvtcrj>.

- Jiménez, J., Llivichuzca, H., & Calle, J. (2014). Diseño, implementación y monitoreo de calentadores híbridos con energía solar - glp y energía solar - calentadores eléctricos para la obtención de agua caliente sanitaria. In *Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador*. Disponible en: <https://goo.gl/GPbEsZ>.
- Kalogirou, S. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3):231–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.
- Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I., & Seker, U. (2009). *Cultivos energéticos alternativos*, chapter Determinación de emplazamientos adecuados para estaciones meteorológicas en la provincia de Imbabura utilizando sistemas de información geográficos, pages 75–87. Clittol España. Disponible en: <https://goo.gl/a8b2ZB>.
- Lanelli, L. & Prieto, R. (2016). Eficiencia en el calentamiento de agua, consumos pasivos en sistemas convencionales y solares híbridos. *Petrotecnia*, pages 86–95. Disponible en <https://goo.gl/UHhpnX>.
- Lévy, D. (2003). *Guía celeste*. Ediciones AKAL. Disponible en: <https://goo.gl/vkZEJf>.
- Lombardero, J. L. (2008). *Manual para la formación en medio ambiente*. Lex Nova. Disponible en: <https://goo.gl/THiGTd>.
- Martínez Aguirre, J. & Asitimbay Chávez, J. (2015). Caracterización y análisis estadístico de la radiación solar directa para aplicaciones de media y alta temperatura en áreas circundantes al ocp. Master's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas. Disponible en: <https://goo.gl/X4RgVK>.
- Ministerio del Ambiente (2017). Portal web. República del Ecuador. Disponible en: <https://goo.gl/XP5AgD>.
- Okafor, I. F. & Akubue, G. (2012). F-chart method for designing solar thermal water heating systems. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(9.):Disponible en: <https://goo.gl/v29egy>.
- OMS (2018). Centro de prensa: Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://goo.gl/5oz9iw>.

- OMS-OPS (2016). Detección, verificación y evaluación de riesgos. archivos por año 2016. Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud. Disponible en: <https://goo.gl/aVeh2n>.
- Pérez Tamayo, R. (2012). *La Revolución Científica*. Fondo de cultura económica USA. Disponible en: <https://goo.gl/byqZh9>.
- Popper, K. P. (1980). *La Lógica de la Investigación Científica*. Editorial Tecnos.
- Raichijk, C., Grossi Gallegos, H., & Righini, R. (2005). Evaluación de un método alternativo para la estimación de valores medios mensuales de irradiación global en argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9:11.05–11.08. Disponible en: <https://goo.gl/j1iS36>.
- Ríos Jiménez, G. (2016). Métodos para calcular la población futura. SCRIBD. Disponible en: <https://goo.gl/FqEq9X>.
- Rodriguez, R. A., Martinez, A. B., & Udaquiola, S. M. (2014). Gestión ambiental empresarial: cálculo de la huella de carbono en la industria vitivinícola. *Gestión y Ambiente*, 17(1):159–172. Disponible en: <https://goo.gl/46bXgA>.
- Saavedra Palma, R. S. (2014). Rendimiento y estrategias de funcionamiento de un sistema solar híbrido para suministrar energía térmica de procesos. In *Tesis de grado, Universidad de Chile*.
- Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill, México, 5^{ta} edition.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). Sistema nacional de información. Disponible en: <https://goo.gl/FqEq9X>.
- SENSOVANT (2014). Instrumentos para medir la radiación solar. Sensovant Smart Sensing. Disponible en: <https://goo.gl/MhkFyj>.
- SOPELIA (2017). Colectores de tubos de vacío. SOPELIA Solar Platform America Latina. Disponible en: <https://goo.gl/zNr888>.
- Soproni, D., Molnar, C., Arion, M., & Hathazi, F. (2015). Parameters analysis of a thermal installation with heat pipe vacuum tube solar collector. *Nonconventional Technologies Review*, pages 43–48. Disponible en: <https://goo.gl/gSgX8Q>.
- Tarrío, J. M. (2016). *Historia de la Filosofía*. Editex. Disponible en: <https://goo.gl/crGY95>.

UNESCO (1999). *Centro histórico de Santa Ana de los Ríos de Cuenca, Patrimonio Cultural de la Humanidad*. UNESCO World Heritage Centre. Disponible en: <https://goo.gl/1o6pVB>.

UPS - INER (2013). Métodos para el control de calidad y complementación de datos faltantes en parámetros meteorológicos relacionados con la utilización de energías renovables. Disponible en: <https://goo.gl/1JLb9m>.

Waide, P., Munro, K., Lutz, J., Riviere, P., Perret-Gentil, M., Patankar, M., Bhargava, P., & Bo, H. (2015). *Policy Opportunities for More Efficient Residential Water Heating*. Waide Strategic Efficiency. Disponible en: <https://goo.gl/REwZiR>.

Anexos

Anexo A

Encuesta realizada en la zonas urbana y rural

La presente encuesta tiene objeto conocer los métodos empleados por las familias cuencanas para obtener agua caliente de uso sanitario. La información recolectada será utilizada para el desarrollo de proyectos académicos. Le solicitamos de la manera más comedida que responda con la mayor veracidad posible a las siguientes preguntas:

1-a) Utiliza agua caliente para sus actividades regulares como bañarse, lavado de manos, lavado de vajilla, lavado de ropa, etc. (Marque con una "X" su respuesta)

SI **NO**

1-b) Si su respuesta es **NO**, escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante para finalizar la encuesta. Le agradecemos por su tiempo

Muy costoso Contamina el ambiente Difícil de comprar Difícil de instalar

Si su respuesta fue **SI**, continúe con las siguientes preguntas.

2. ¿Incluido Ud. cuantas personas habitan en su casa?

..... personas

3. Indique el tipo de sistema de calentamiento de agua que utiliza en su hogar para las siguientes actividades. (Marque con una "X" solamente en los que utiliza agua caliente)

Actividad	Ducha	Lavamanos	Fregadero de cocina	Lavandería
Sistema				
A gas (GLP)				
Resistencia eléctrica				
Inducción eléctrica				
Calentador solar				
Solar y Gas(GLP)				
Solar – Resistencia eléctrica				
Otro				

4. Considerando lo marcado en la tabla anterior estime el tiempo total diario para cada actividad sumando el tiempo ocupado por cada miembro de familia.

Tiempo	De 30 a 45 min	De 45 a 60 min	De 60 min a 75 min	Mayor a 75 min
Actividad				
Ducha				
Lavamanos				
Fregadero de cocina				
Lavandería				

5. ¿Cómo califica el actual sistema de calentamiento de agua que Ud. dispone? (Marque con una "X" la respuesta correspondiente, la misma que es única).

Muy Bueno..... Bueno..... Regular..... Malo.....

6. ¿Cuáles son los factores que consideró al momento de elegir su actual sistema de calentamiento de agua? (Escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante).

Bajo costo Fácil de instalar No contamina Fácil de comprar

Anexo B

Radiación solar global mensual por estación meteorológica

B.1. Estación Baños

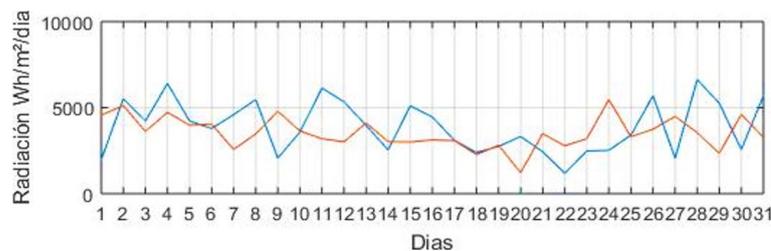
Enero



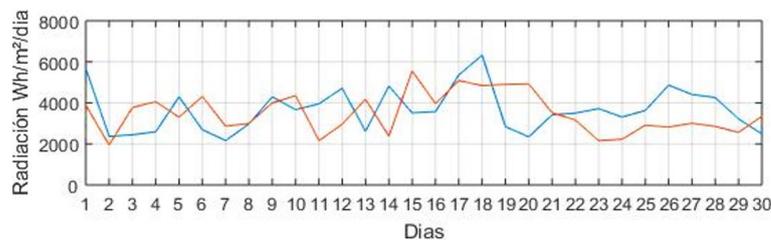
Febrero



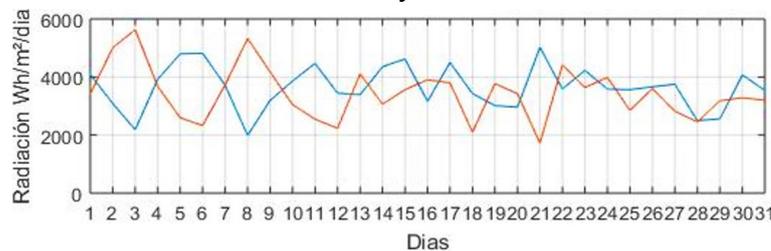
Marzo



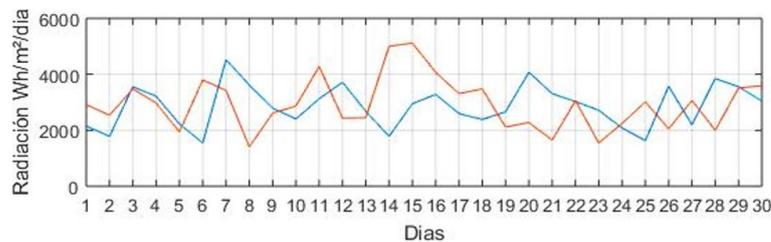
Abril



Mayo



Junio



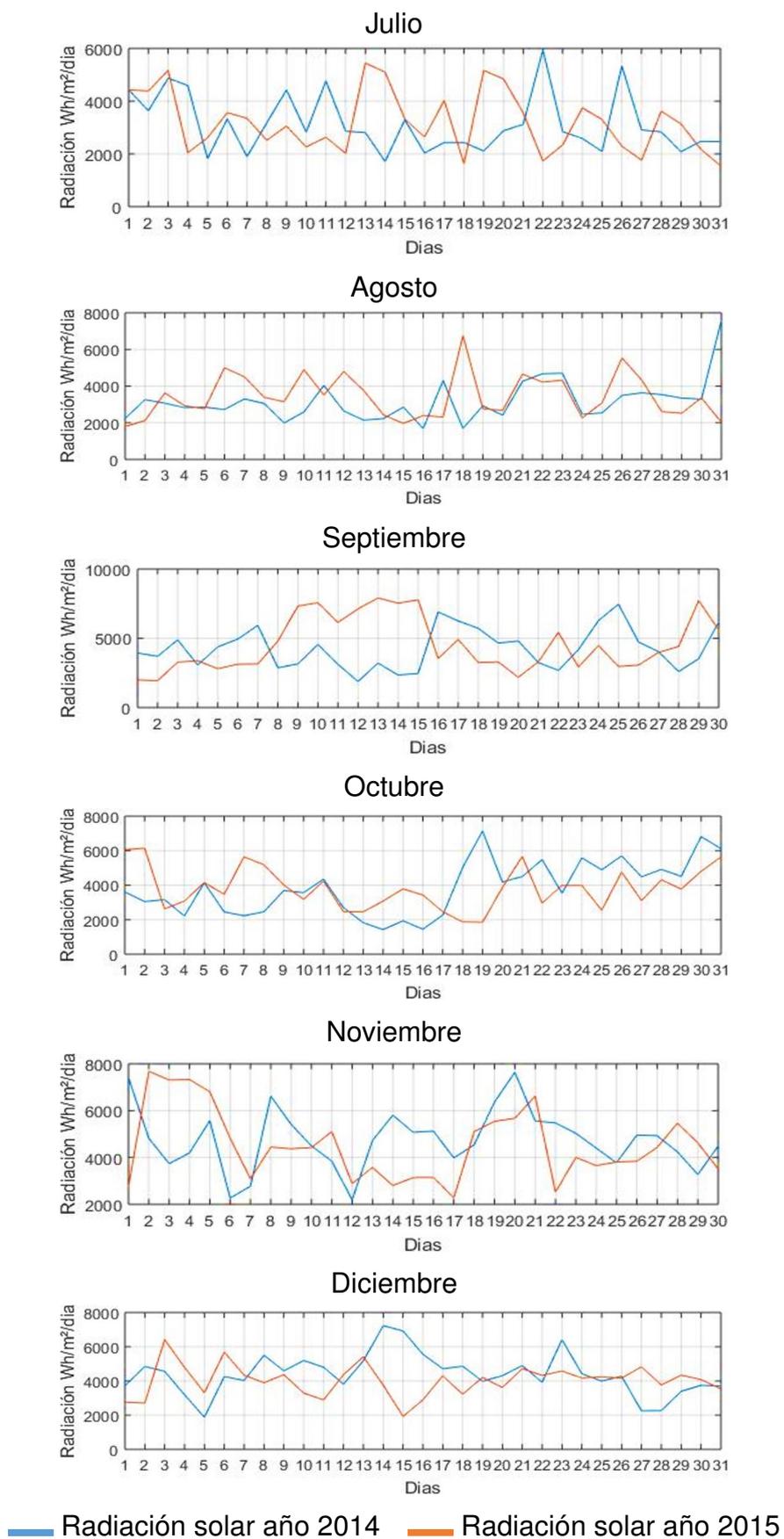
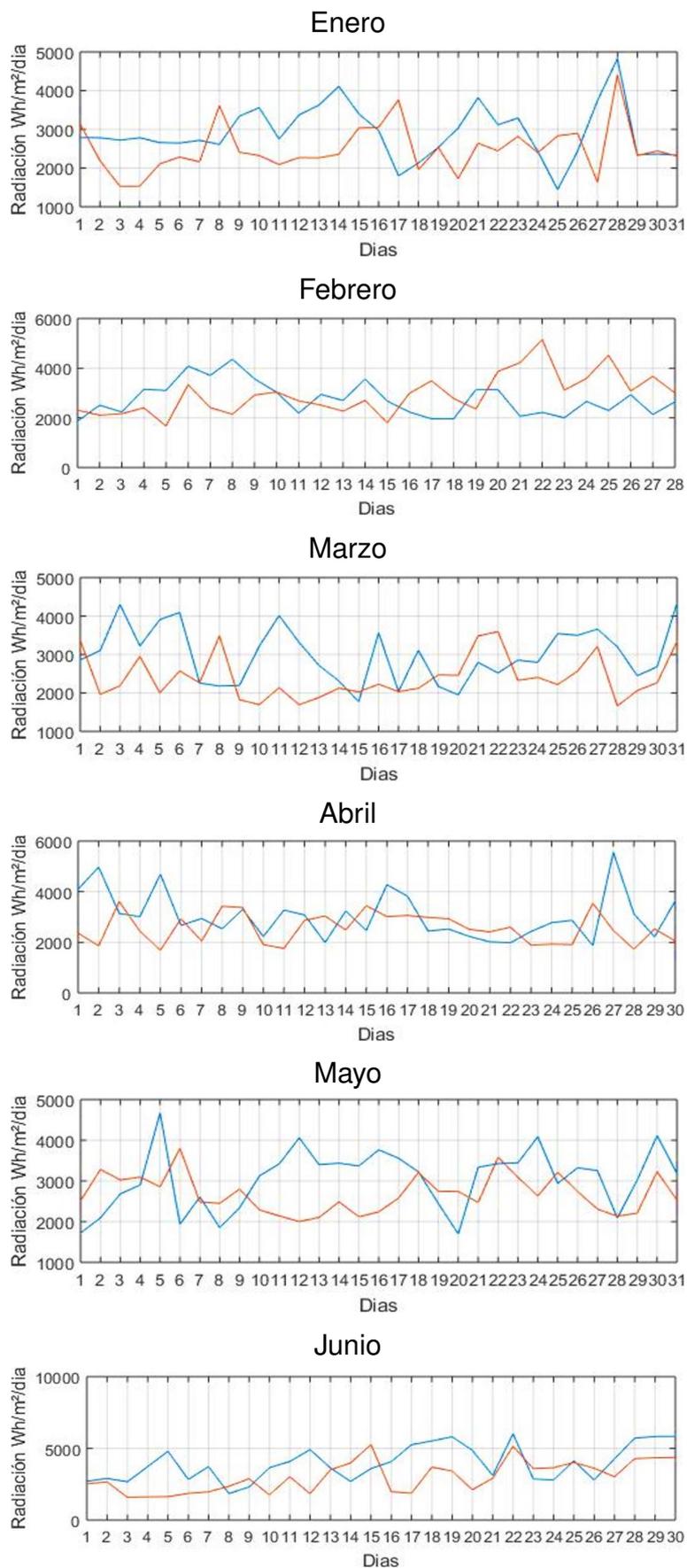


Figura B.1: Radiación global de la estación Baños

B.2. Estación Chaucha



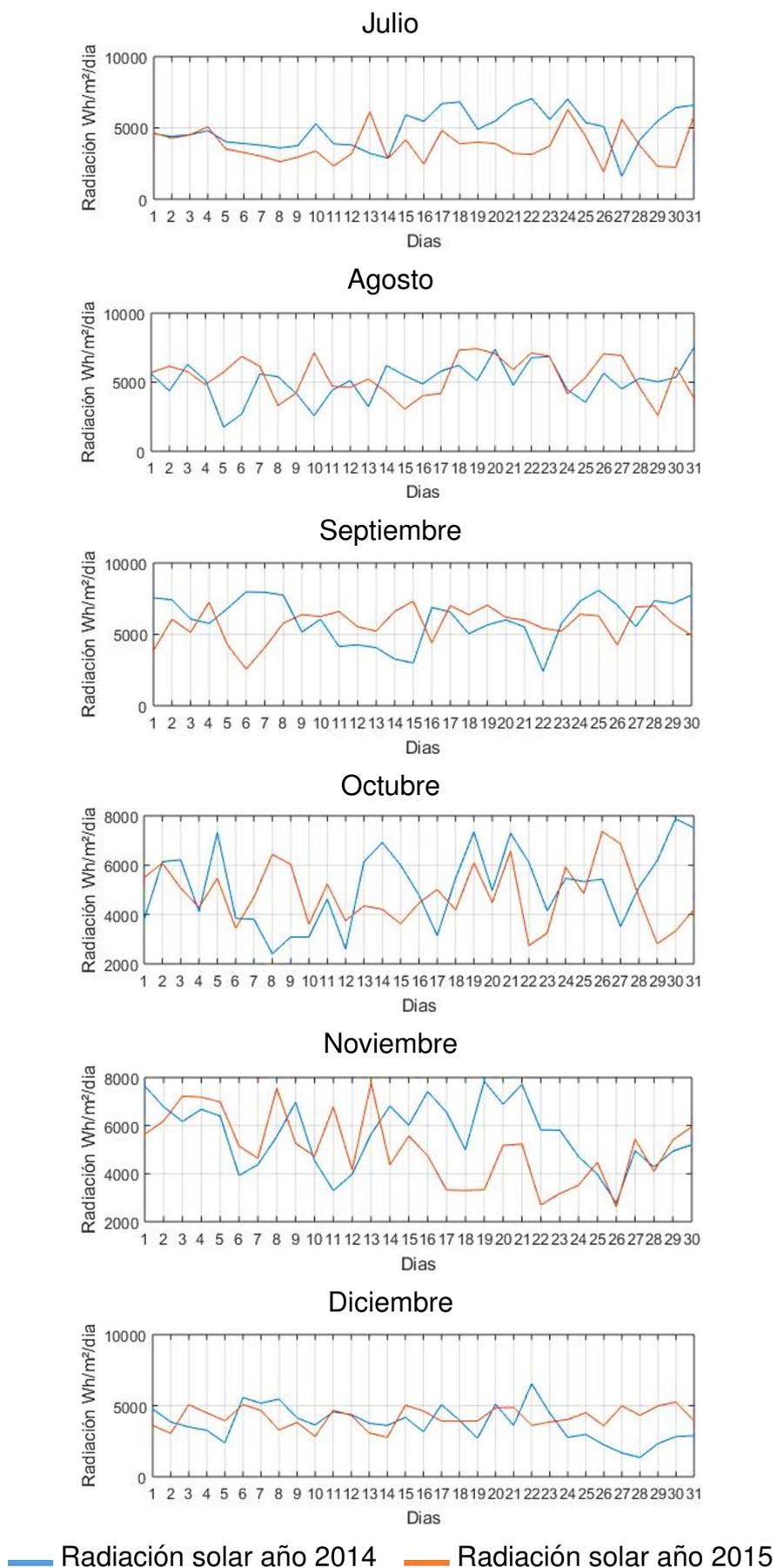
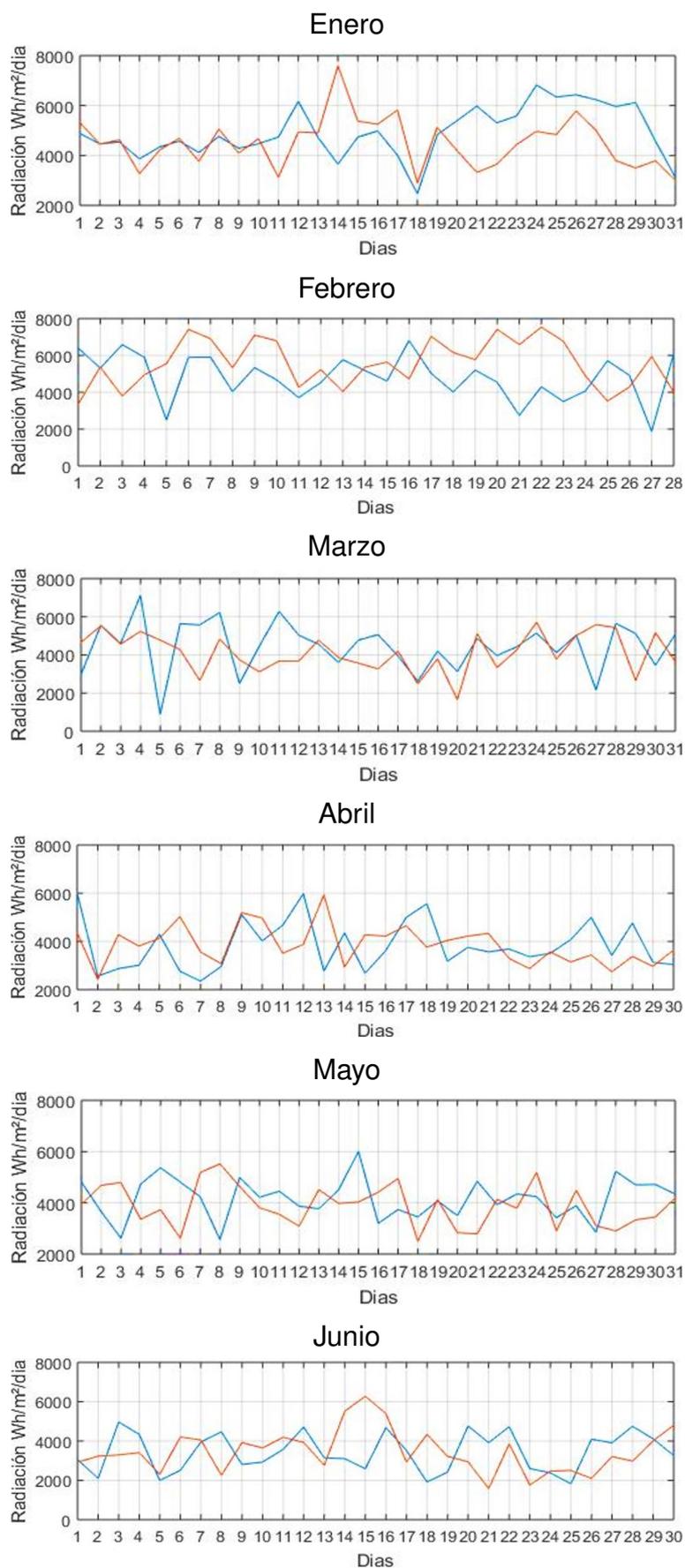


Figura B.2: Radiación global de la estación Chaucha

B.3. Estación Colegio Técnico Salesiano (CTS)



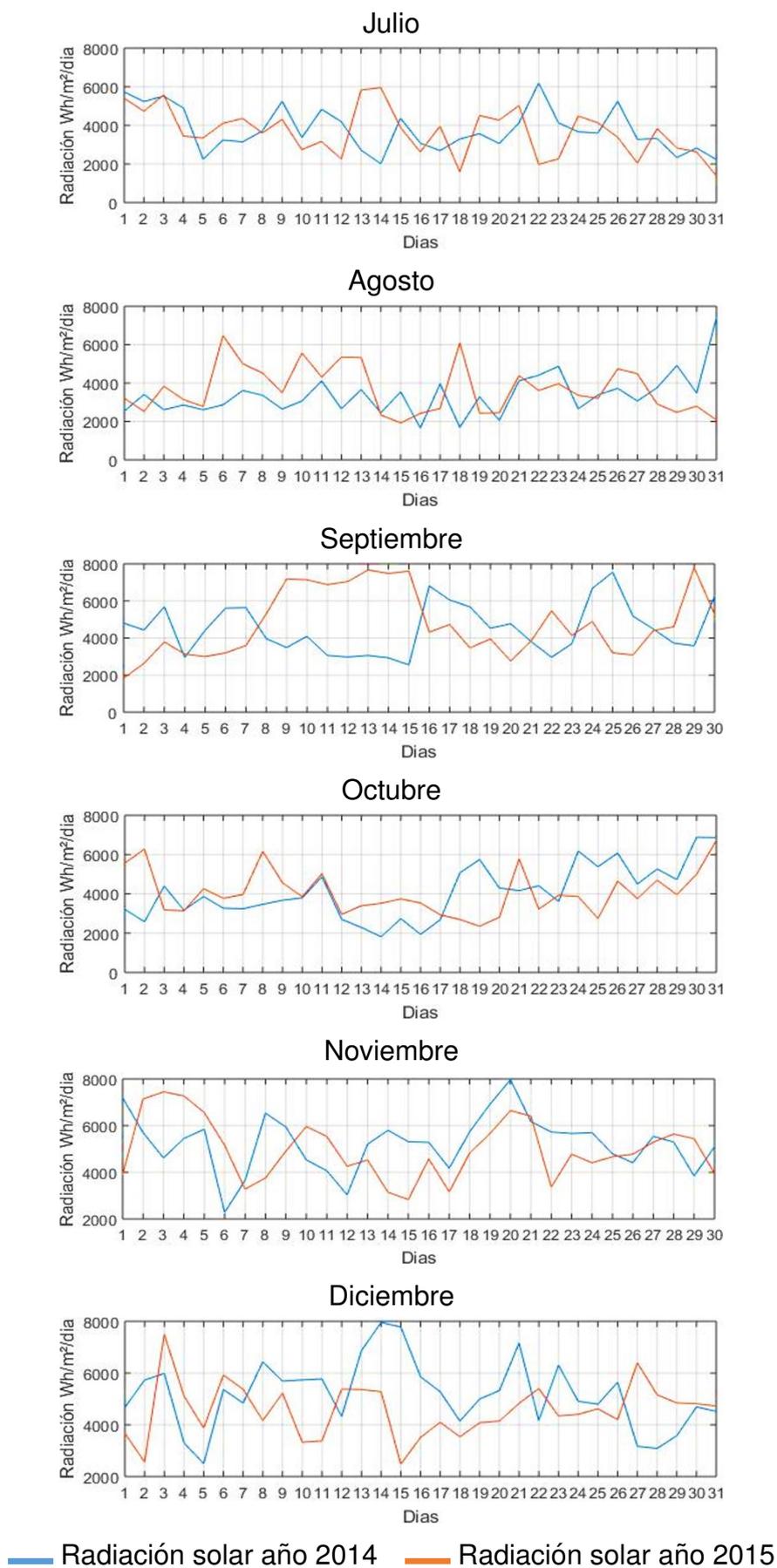
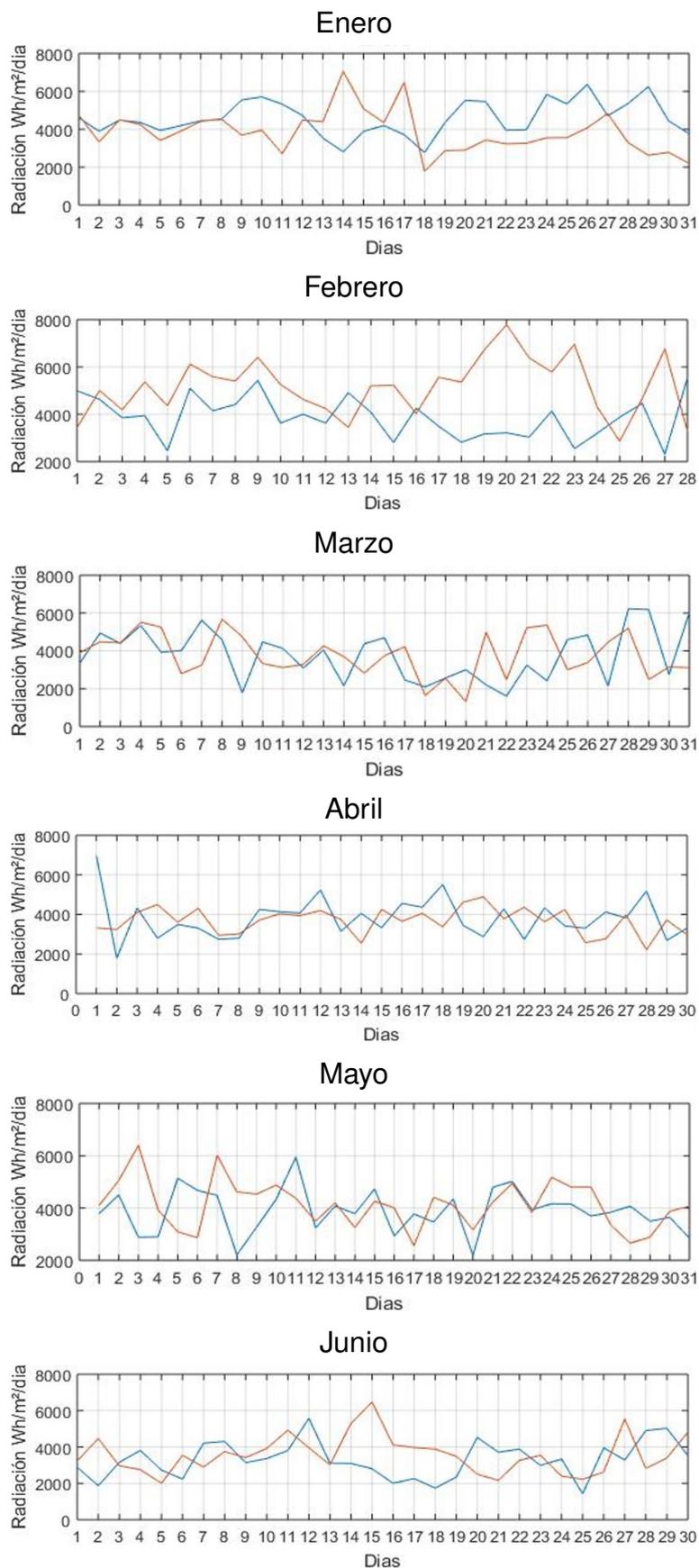


Figura B.3: Radiación global de la estación CTS

B.4. Estación Cumbe



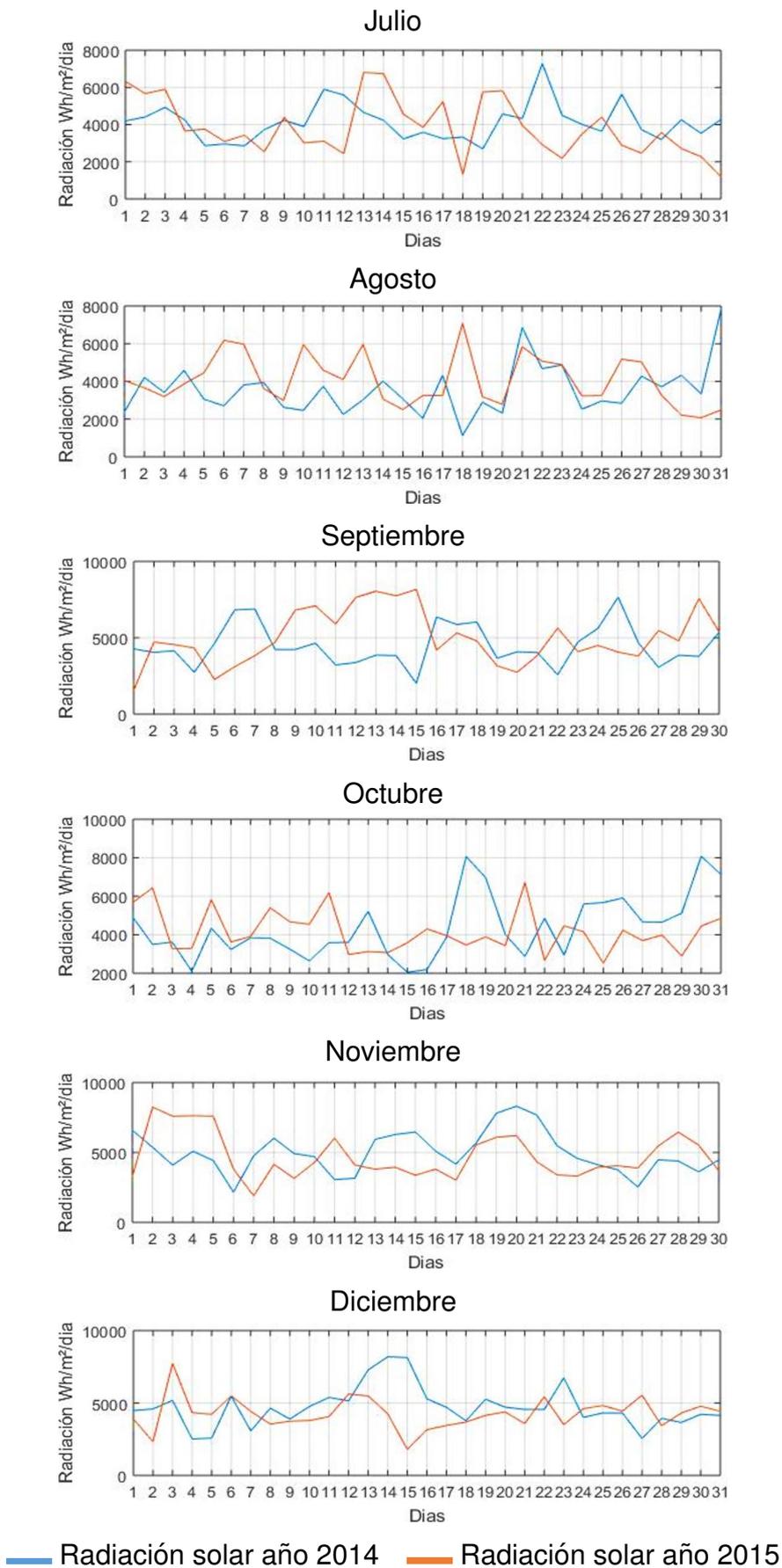
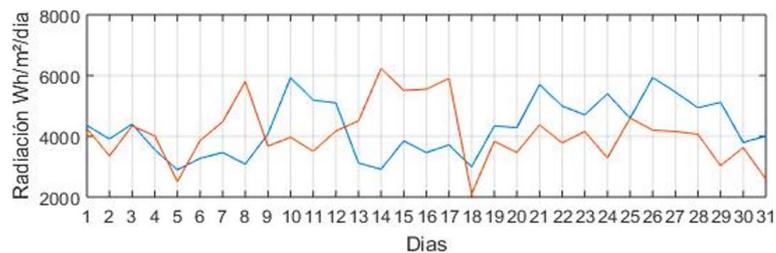


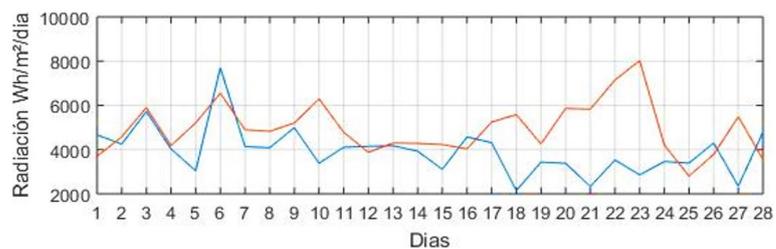
Figura B.4: Radiación global de la estación Cumbe

B.5. Estación Irquis

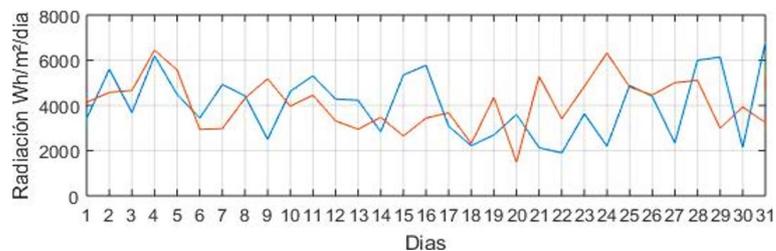
Enero



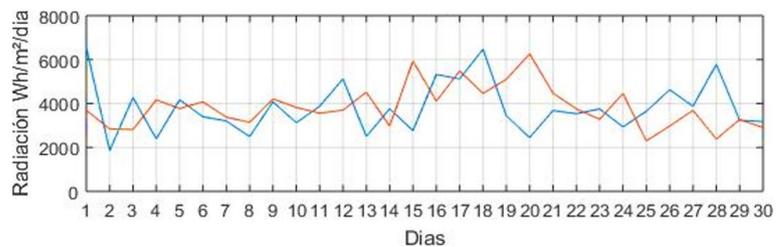
Febrero



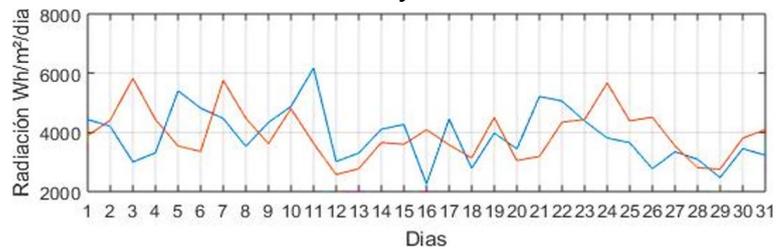
Marzo



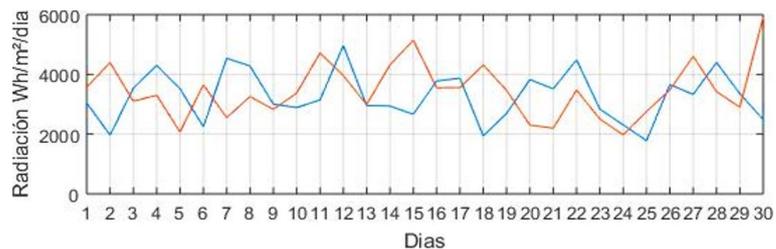
Abril



Mayo



Junio



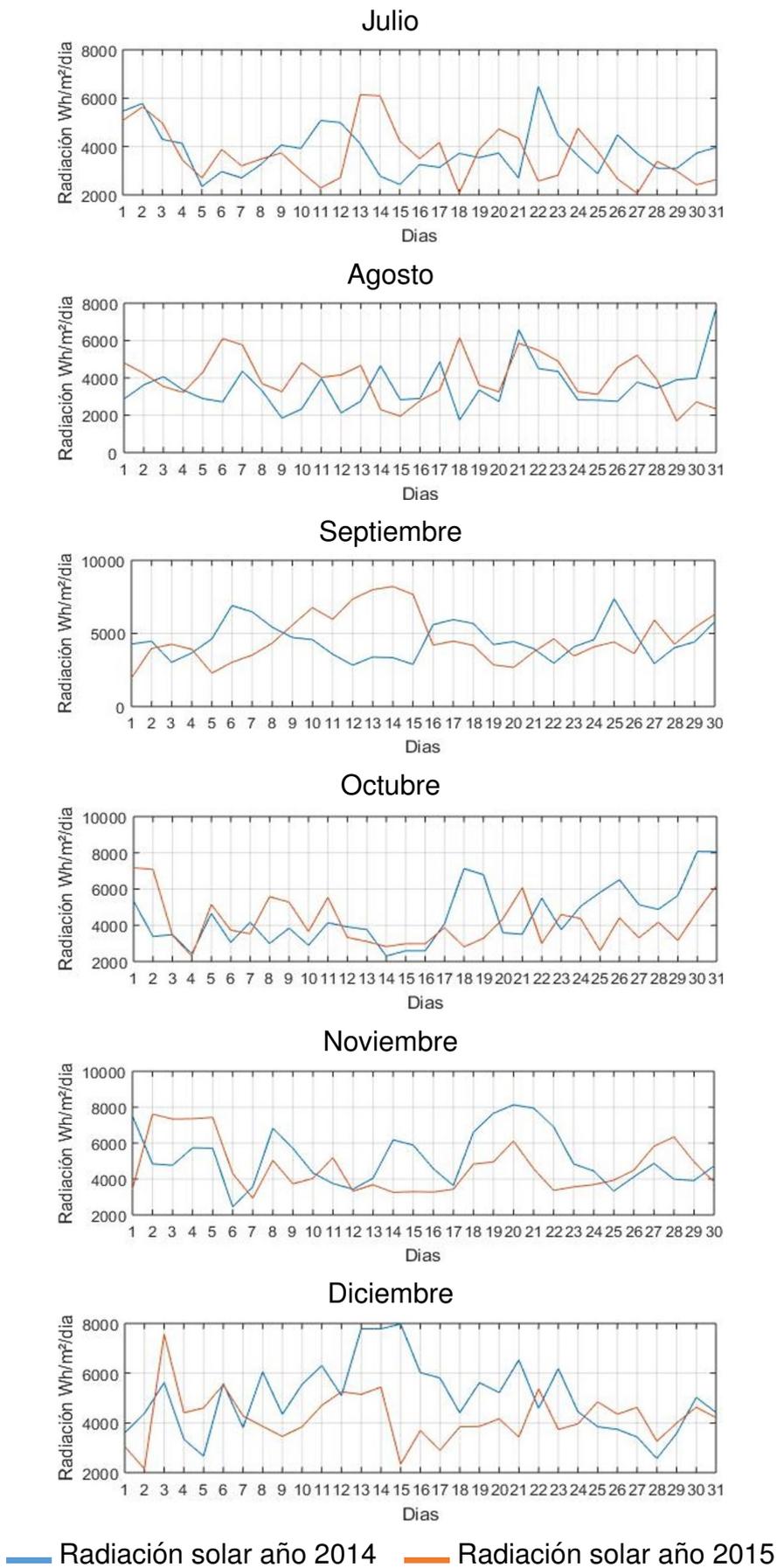
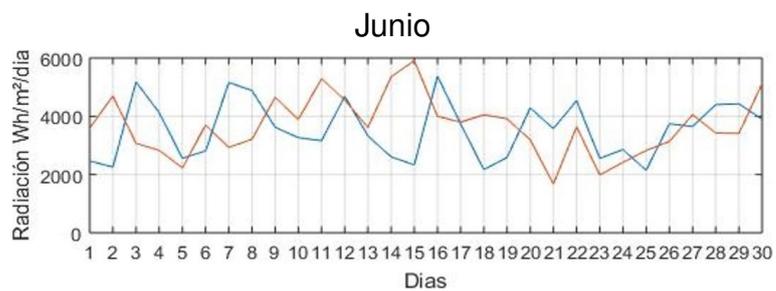
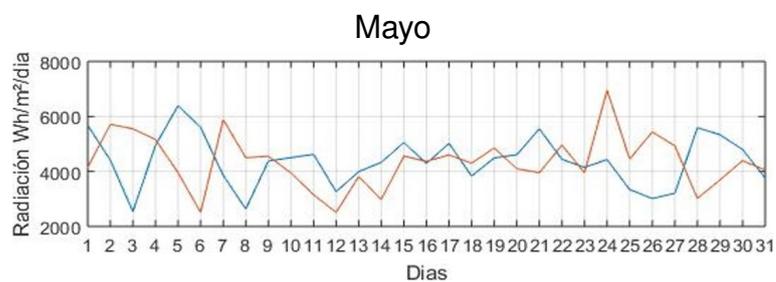
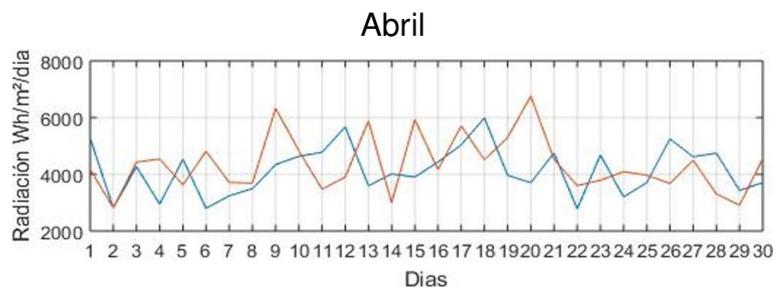
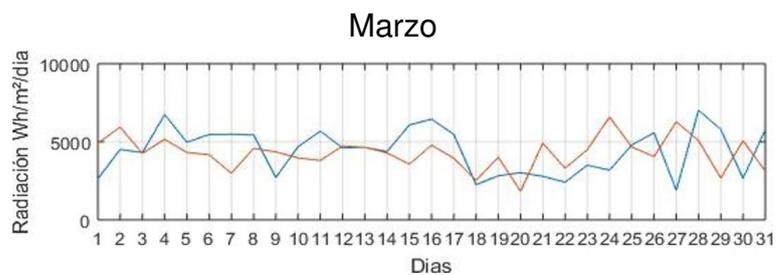
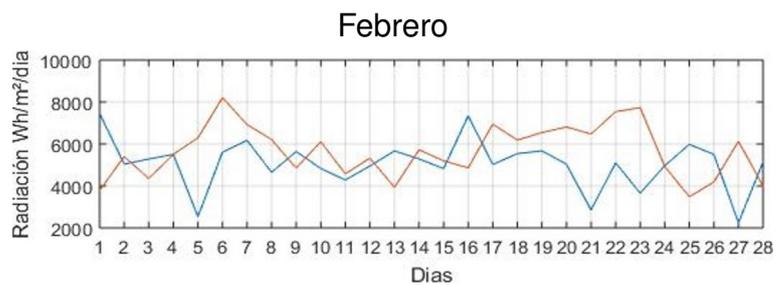
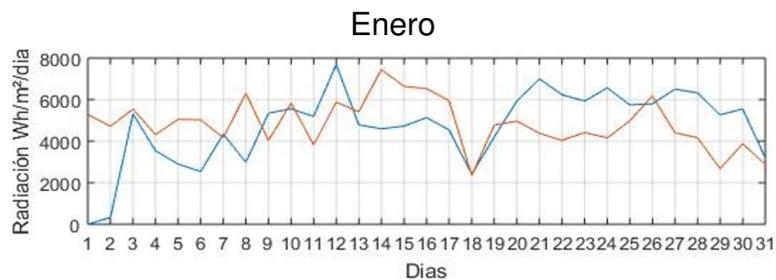


Figura B.5: Radiación global de la estación Irquis

B.6. Estación Llacao



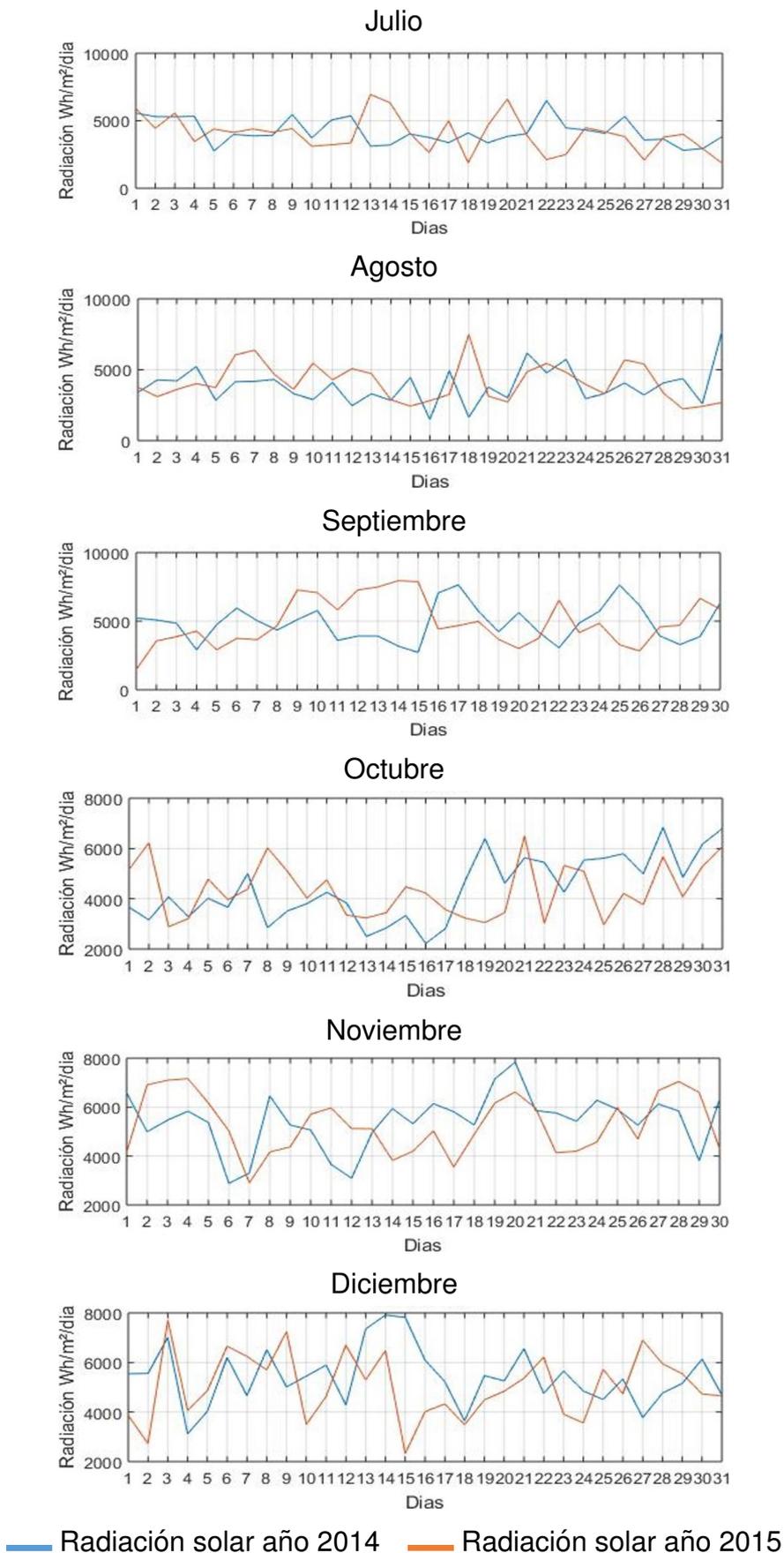
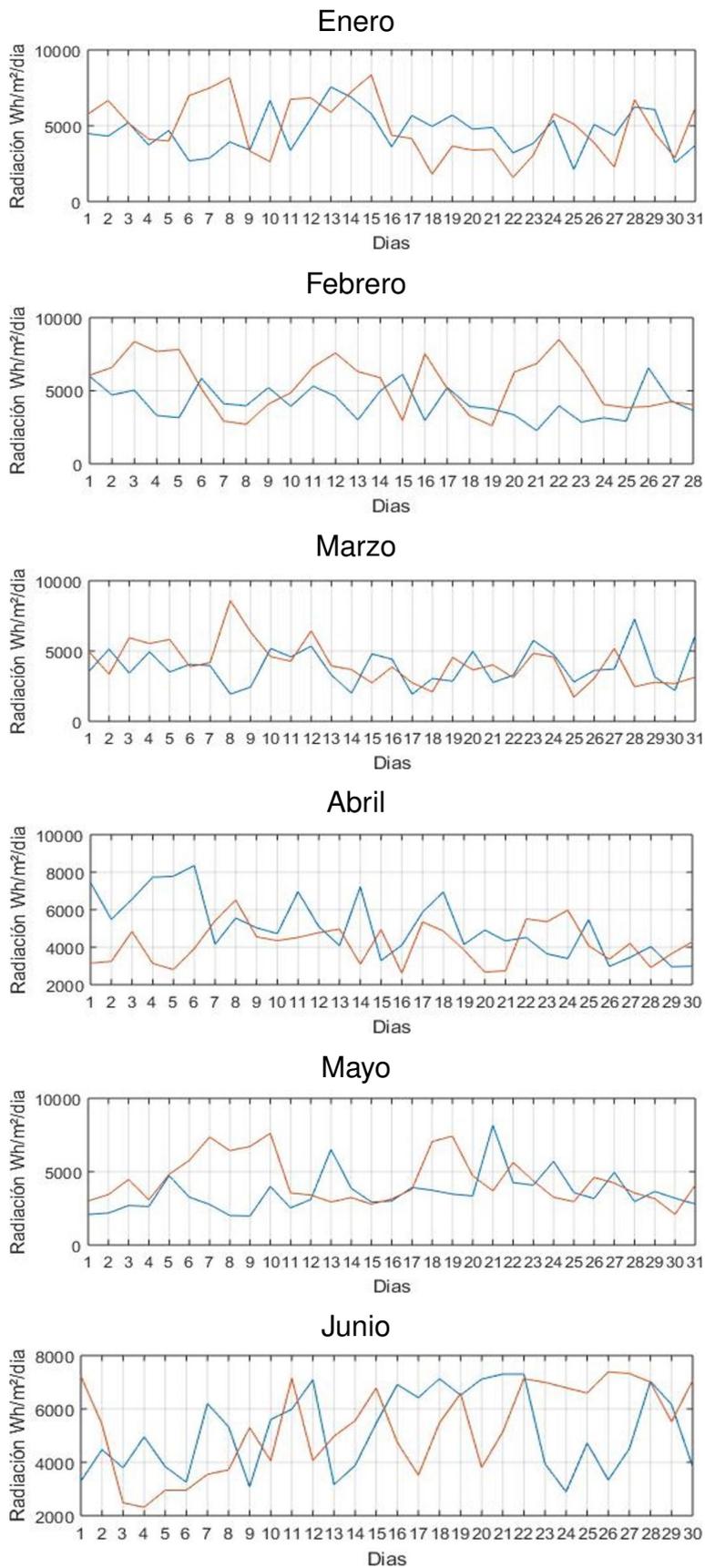


Figura B.6: Radiación global de la estación Llacao

B.7. Estación Molleturo



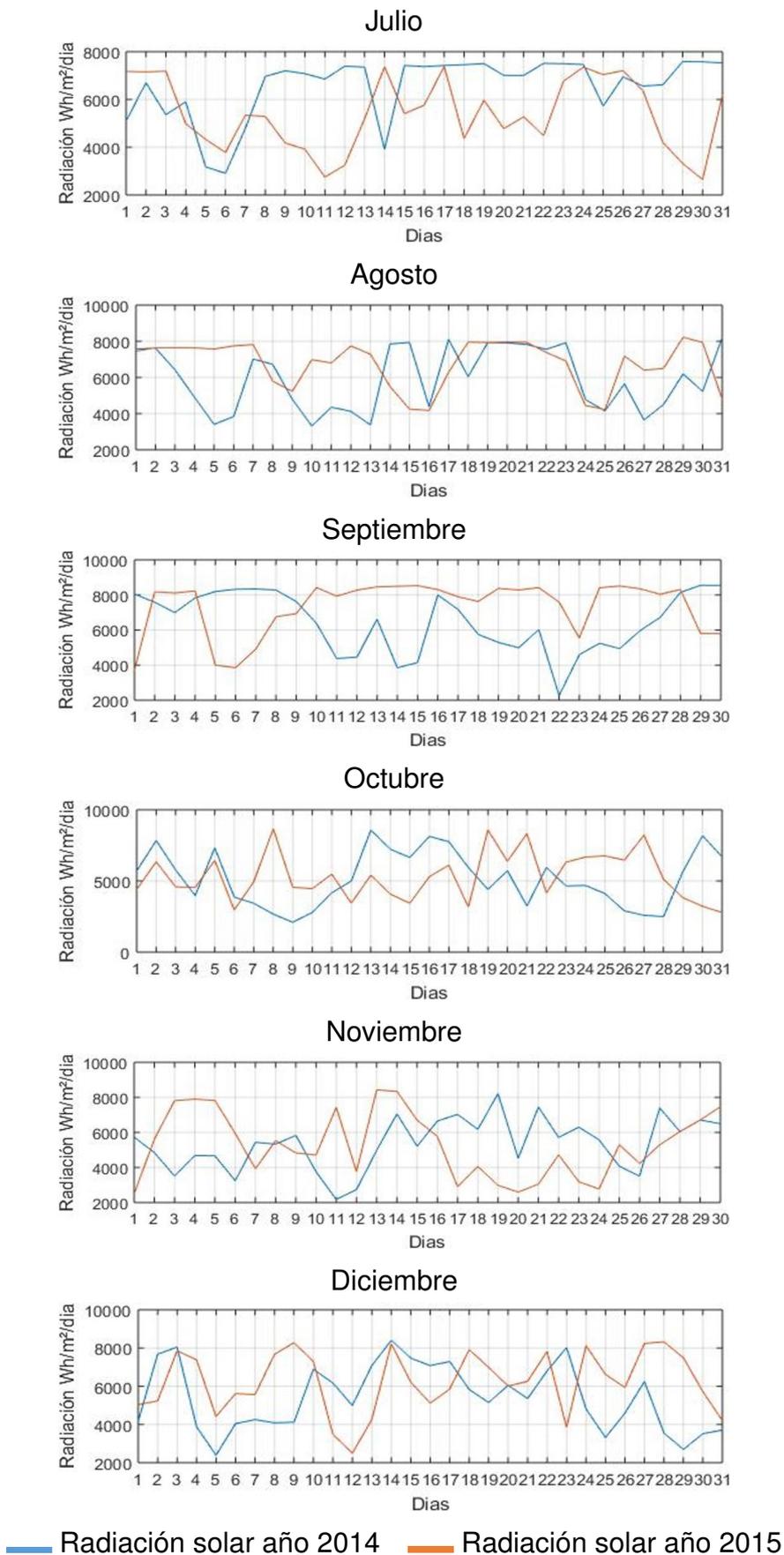
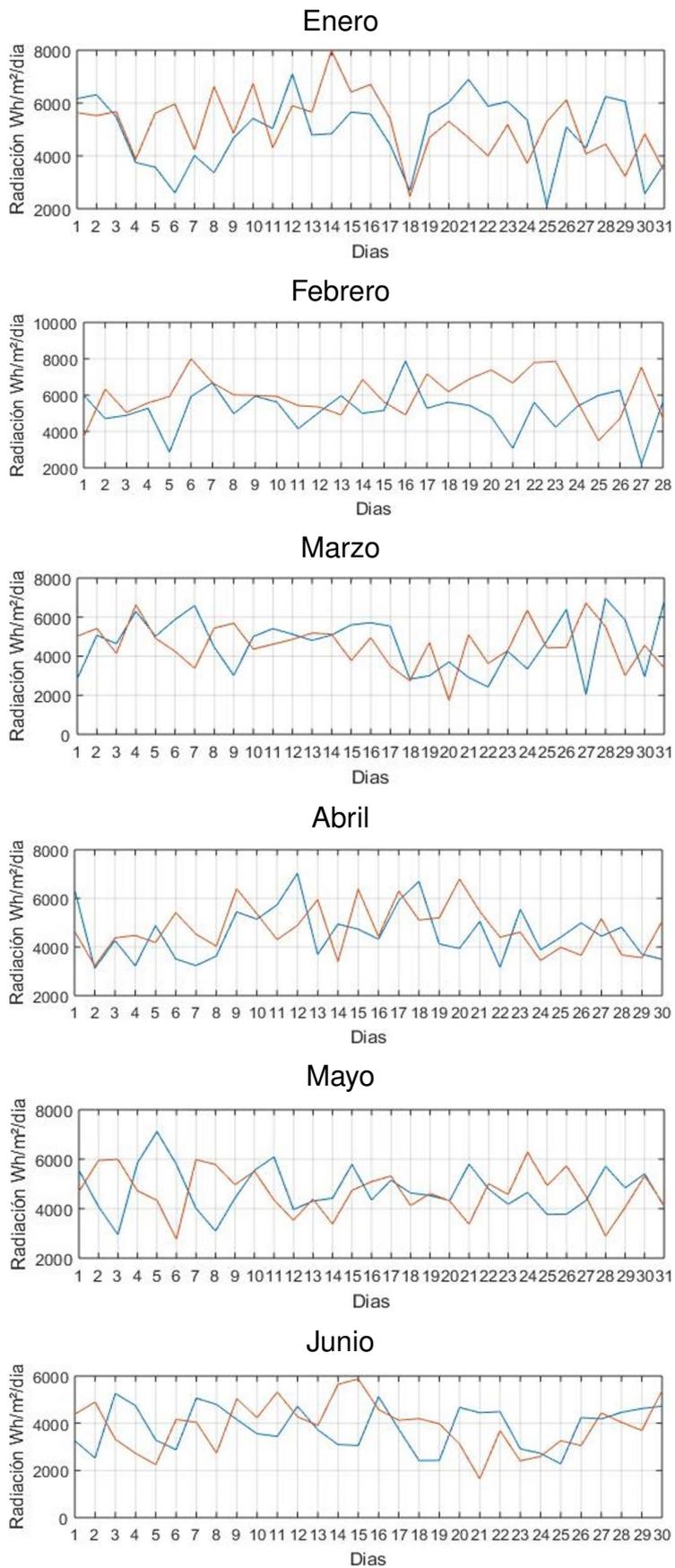


Figura B.7: Radiación global de la estación Molleturo

B.8. Estación Nulti



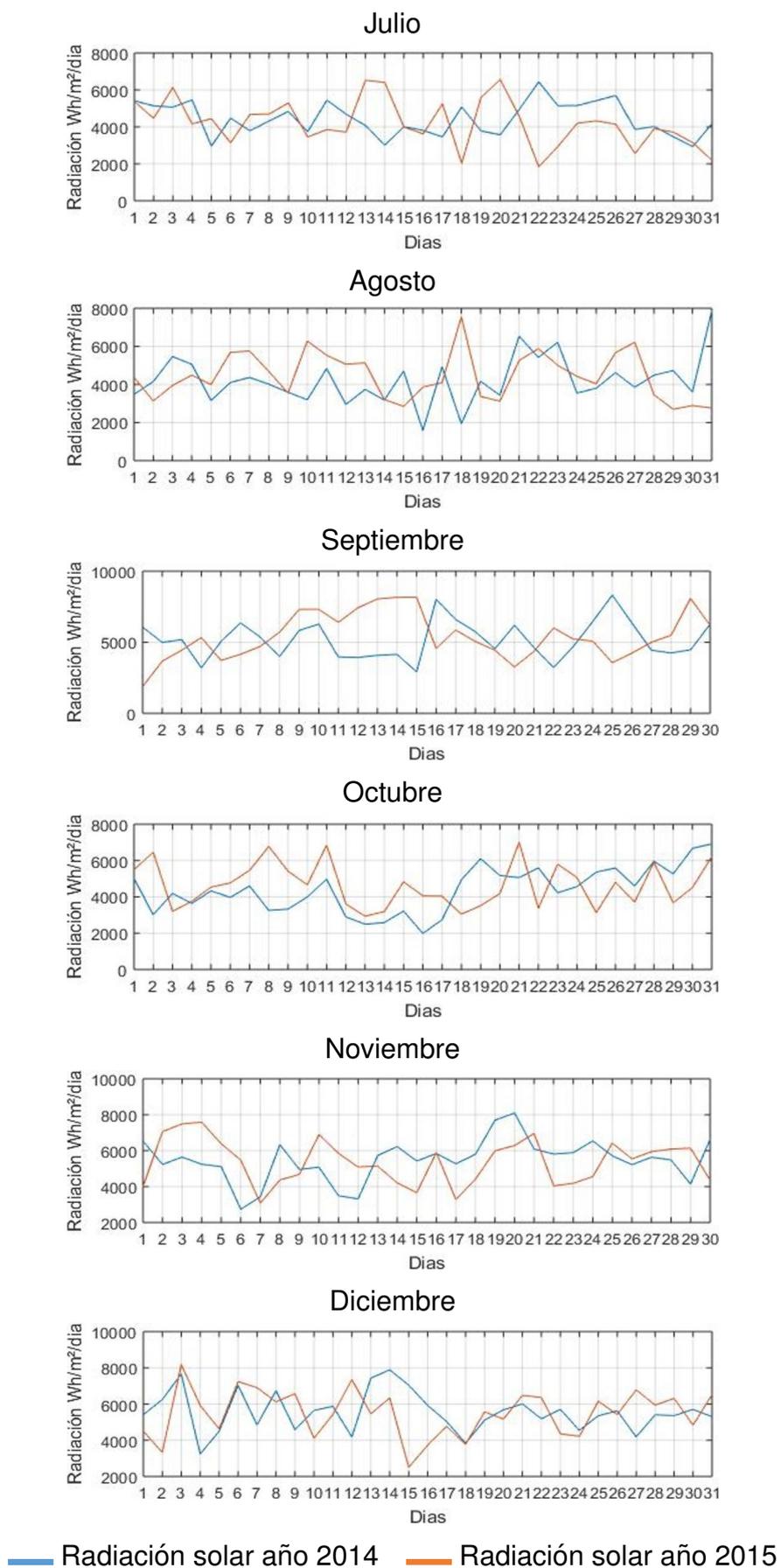


Figura B.8: Radiación global de la estación Nulti

B.9. Estación Quingeo

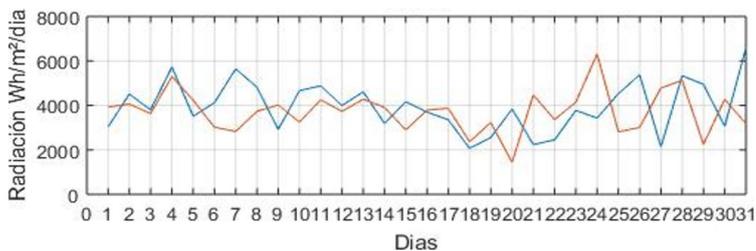
Enero



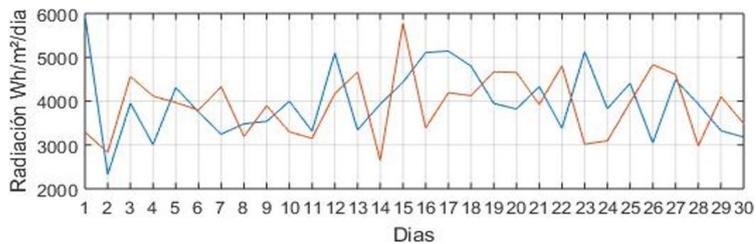
Febrero



Marzo



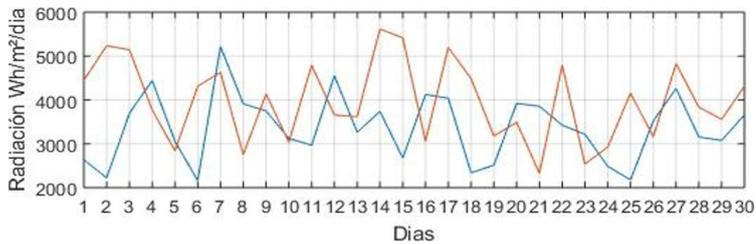
Abril

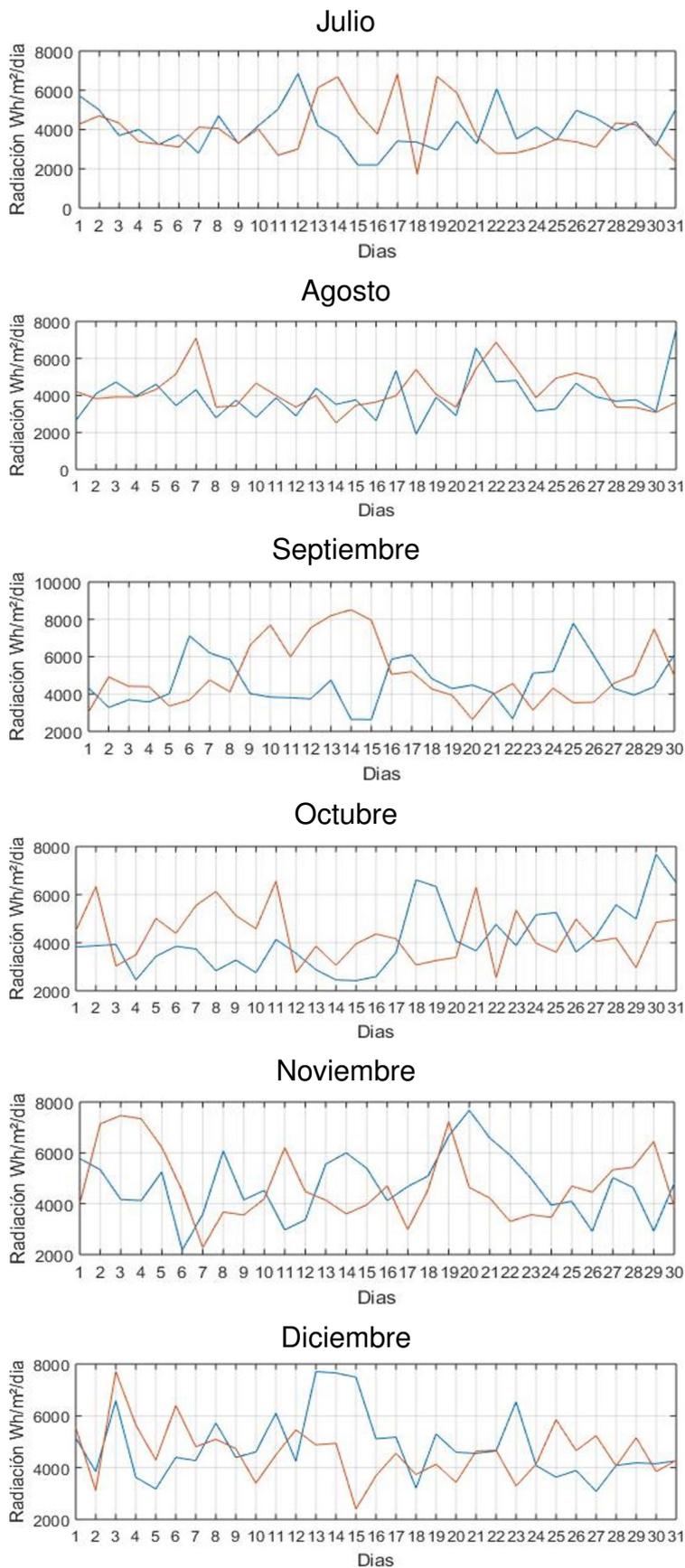


Mayo



Junio



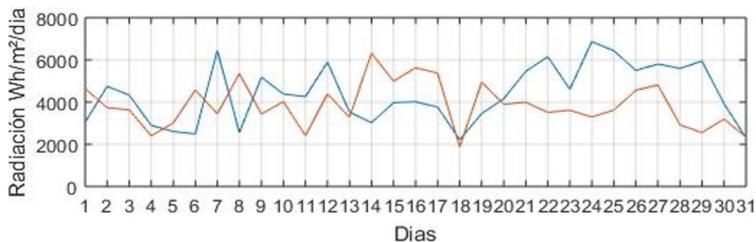


— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

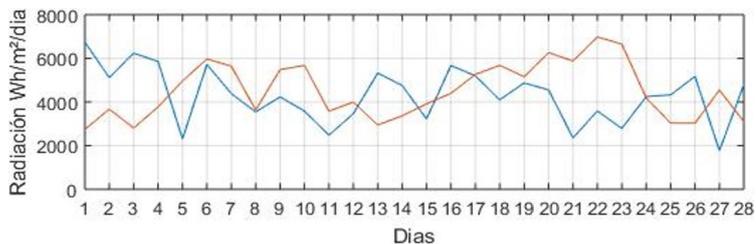
Figura B.9: Radiación global de la estación Quingee

B.10. Estación San Joaquín

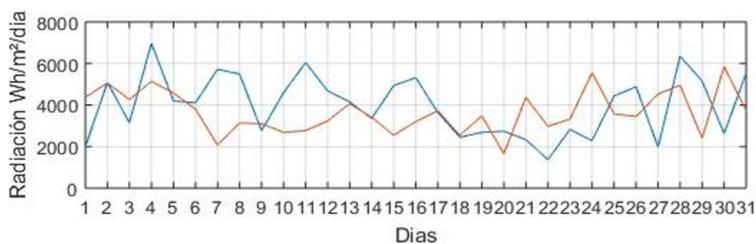
Enero



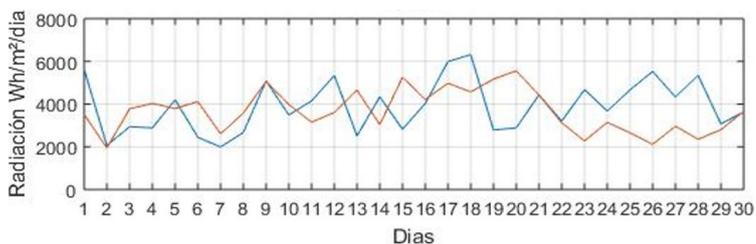
Febrero



Marzo



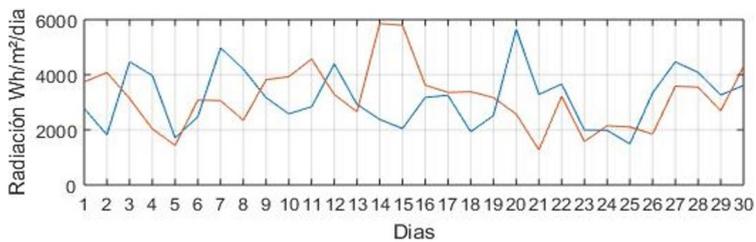
Abril



Mayo



Junio



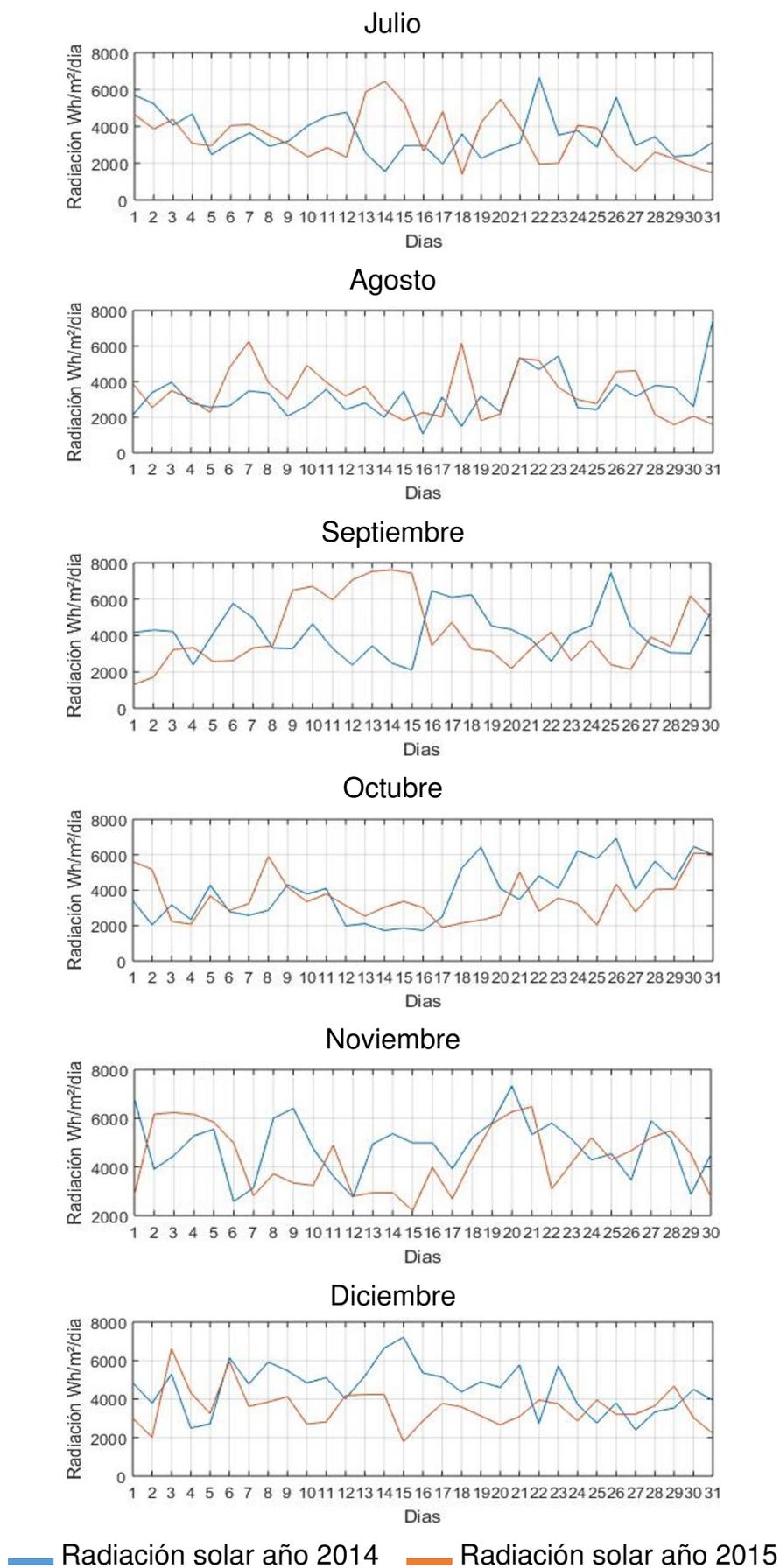
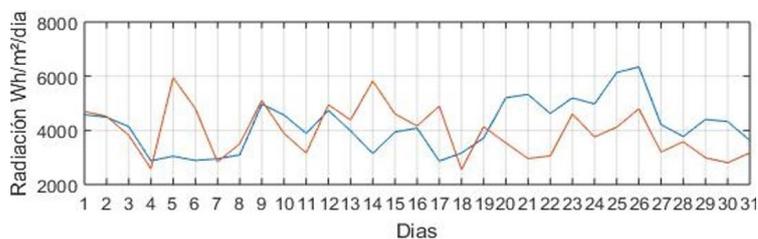


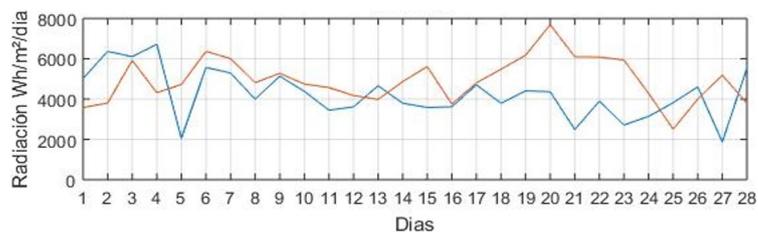
Figura B.10: Radiación global de la estación San Joaquín

B.11. Estación Santa Ana

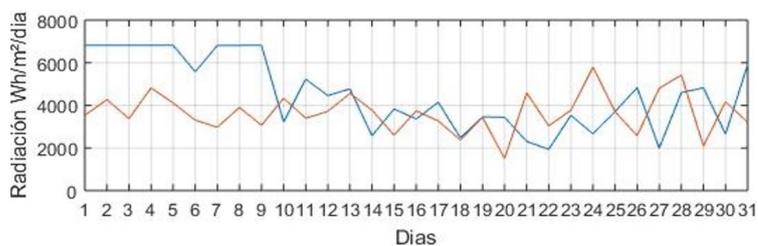
Enero



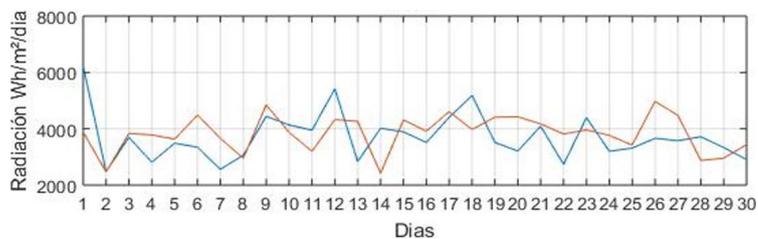
Febrero



Marzo



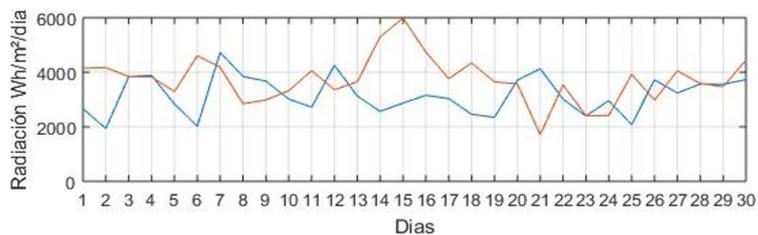
Abril



Mayo



Junio



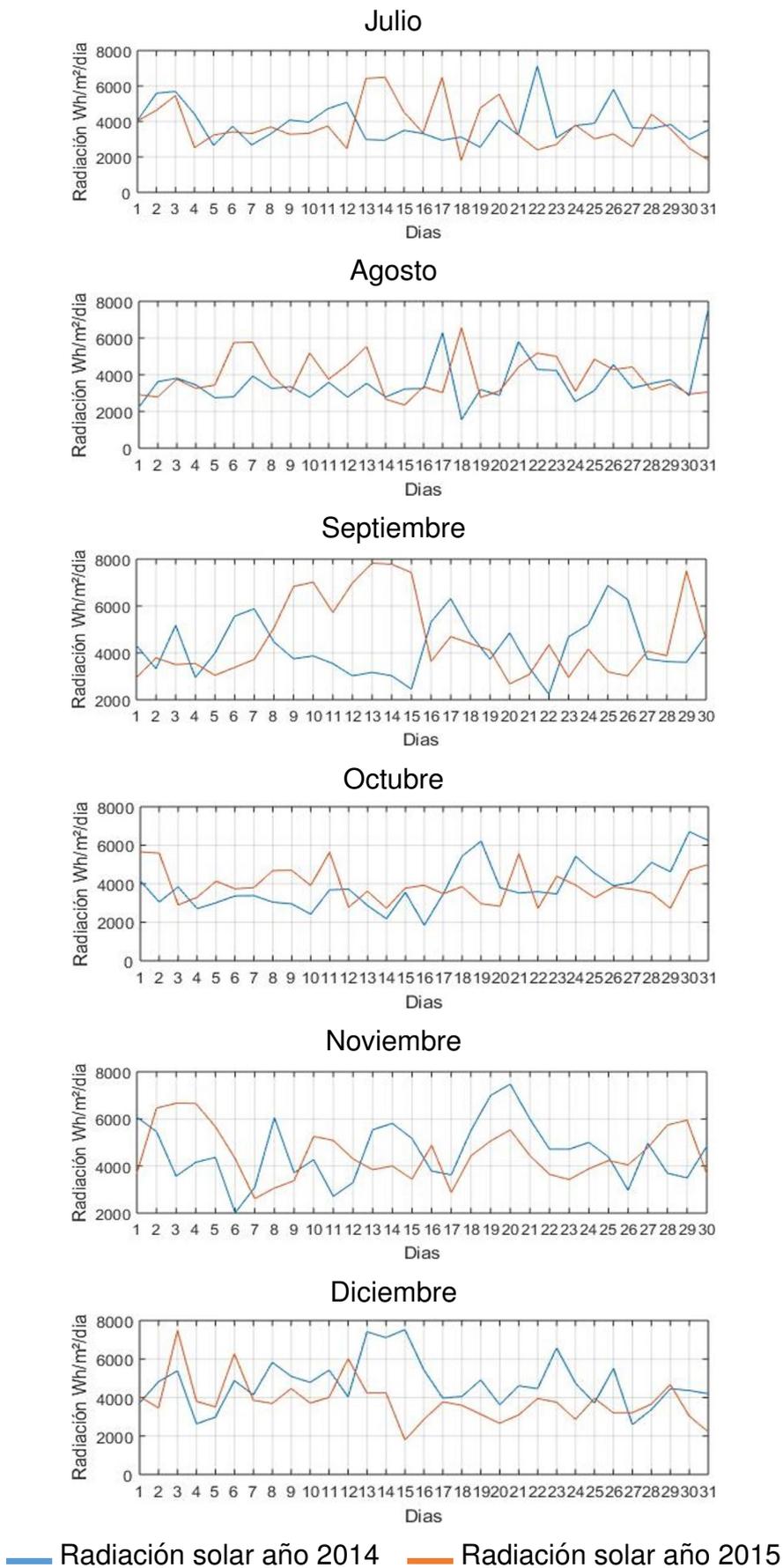
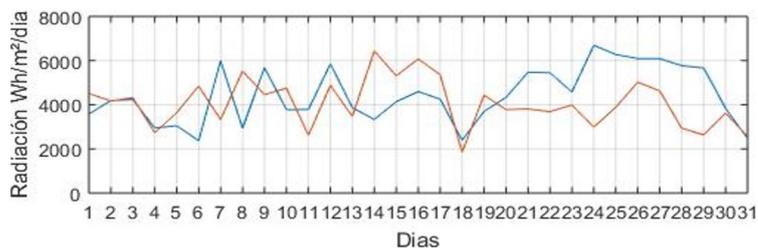


Figura B.11: Radiación global de la estación Santa Ana

B.12. Estación Sayausí

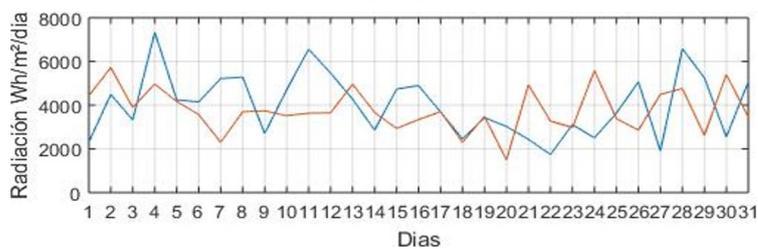
Enero



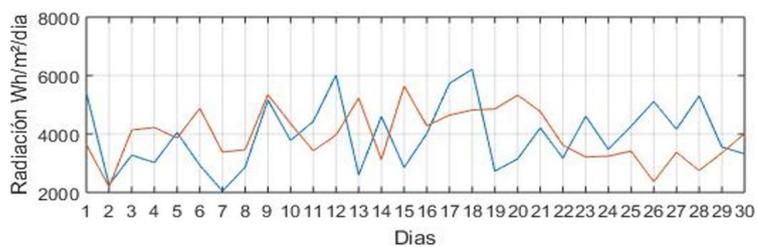
Febrero



Marzo



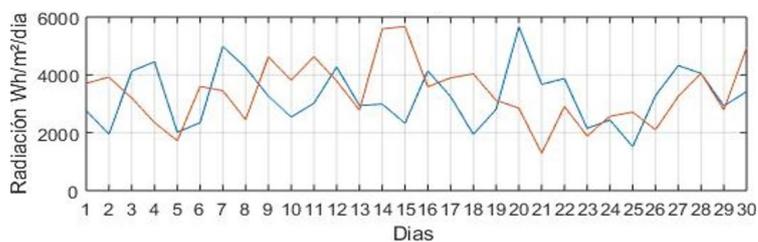
Abril



Mayo



Junio



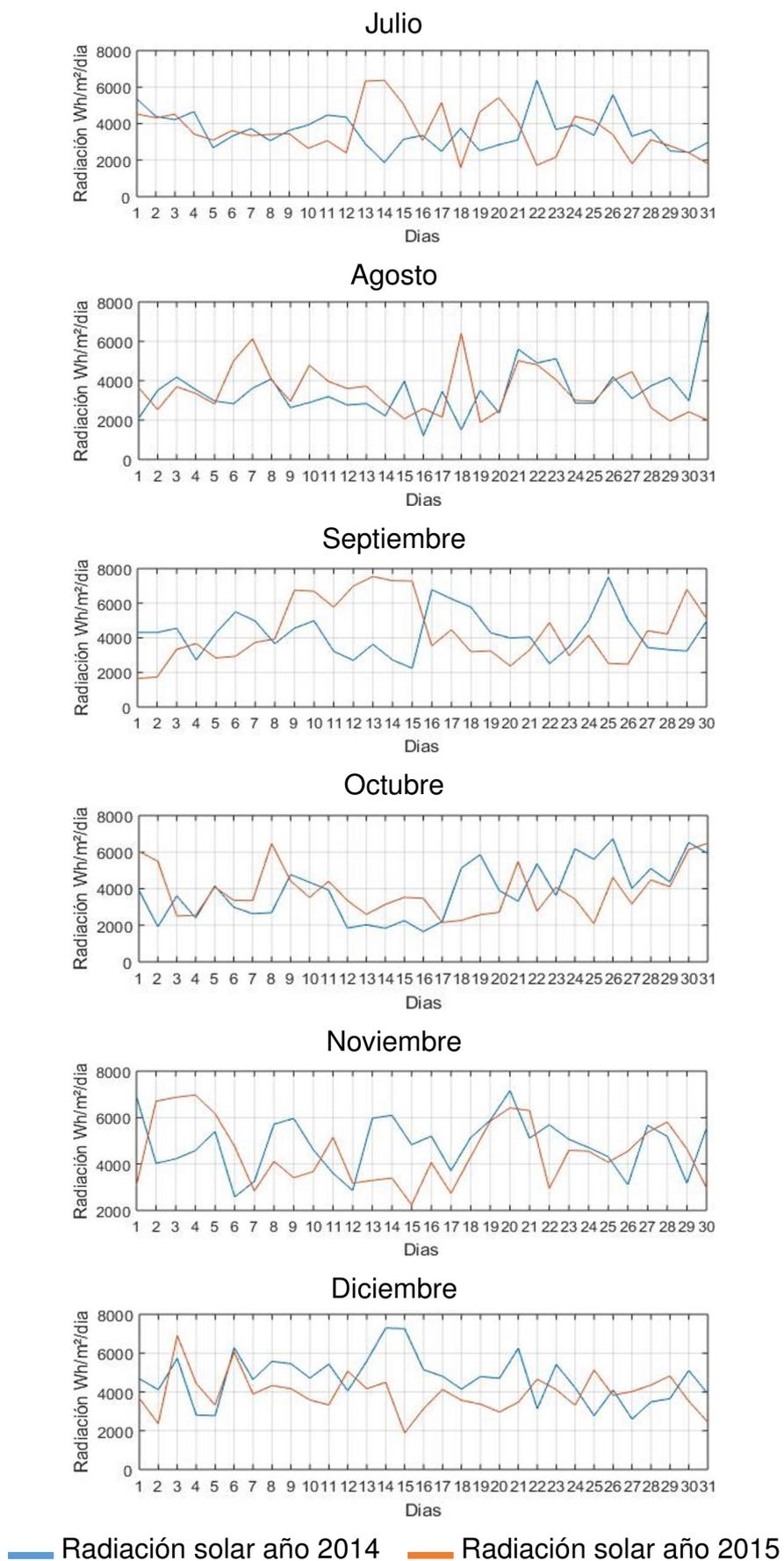
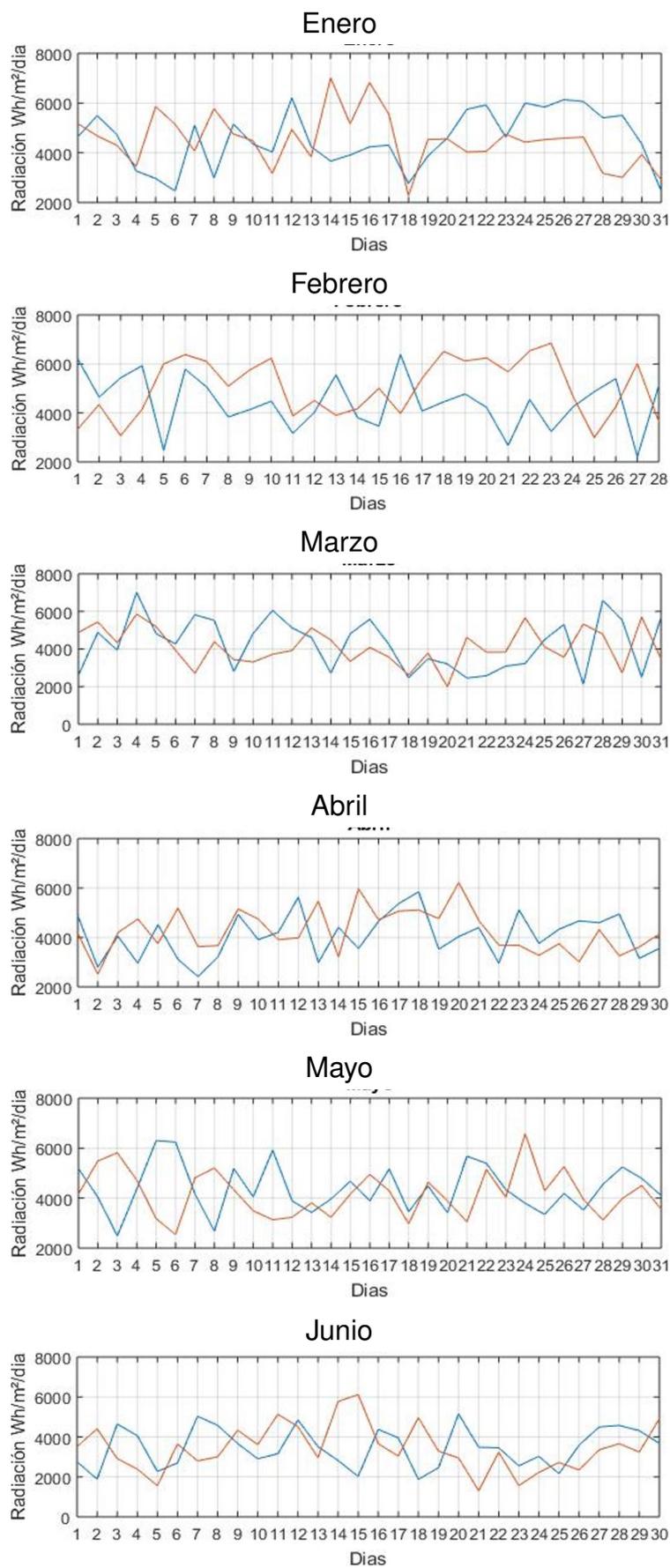


Figura B.12: Radiación global de la estación Sayausí

B.13. Estación Sinincay



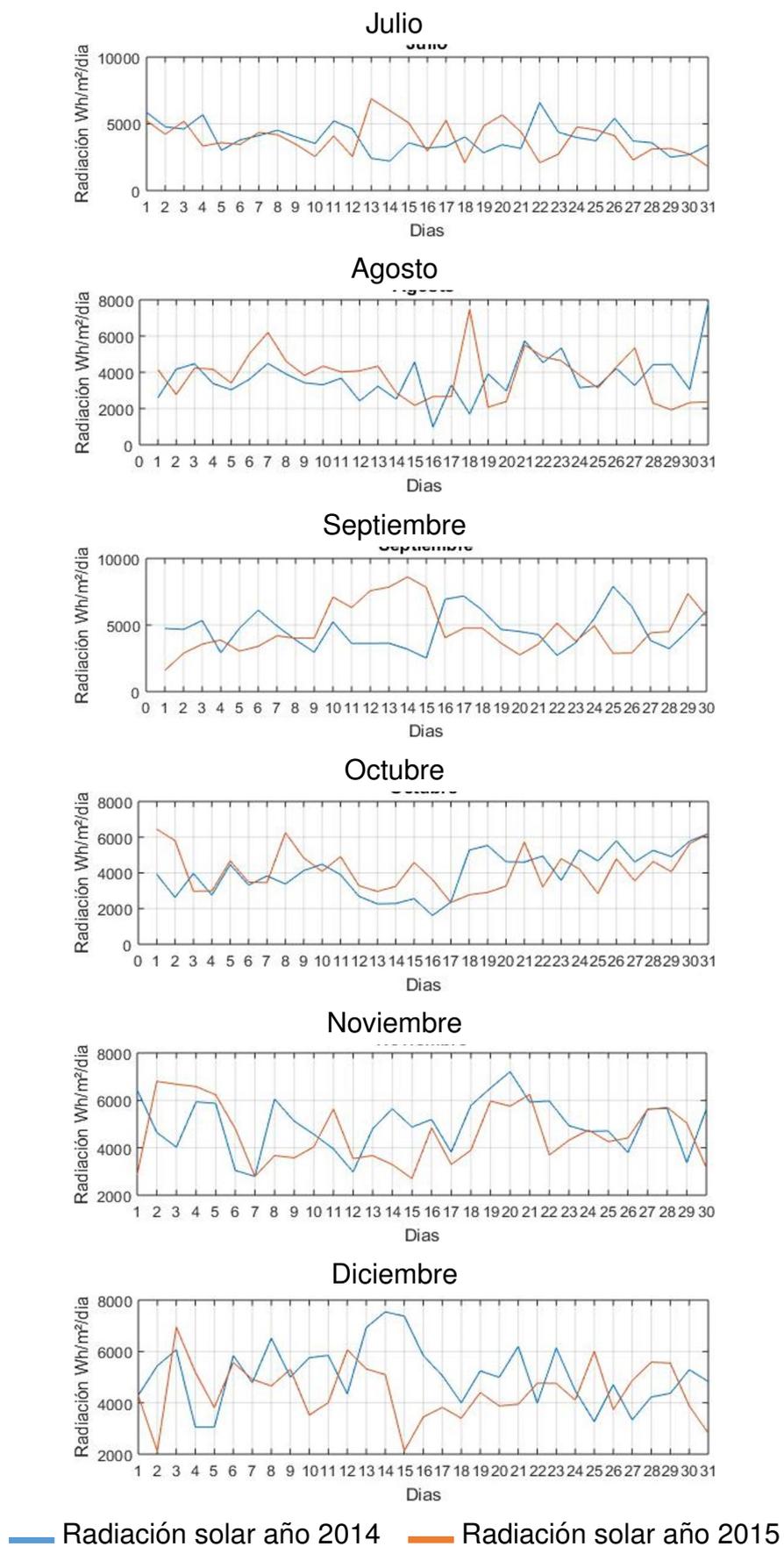
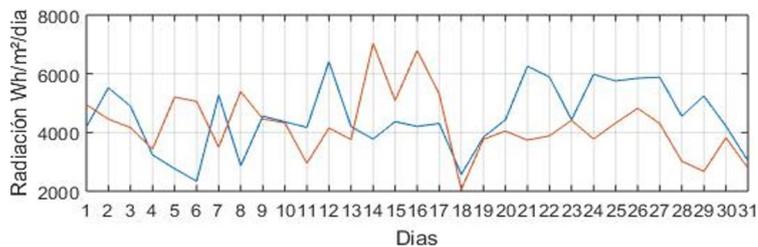


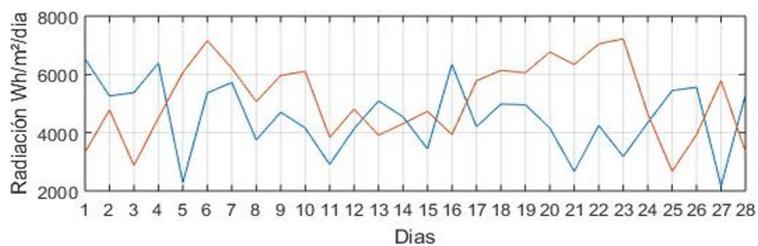
Figura B.13: Radiación global de la estación Sinincay

B.14. Estación Tixán

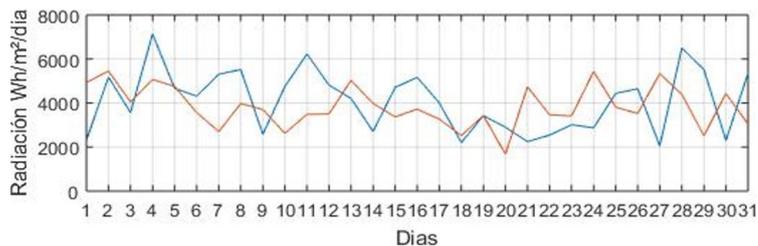
Enero



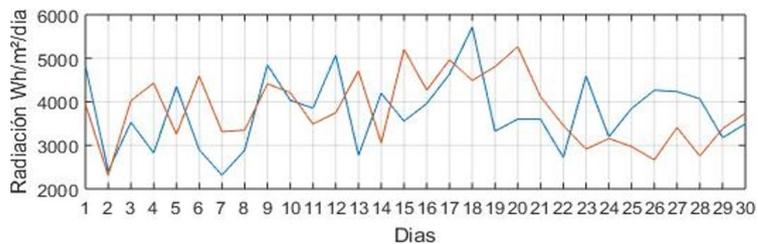
Febrero



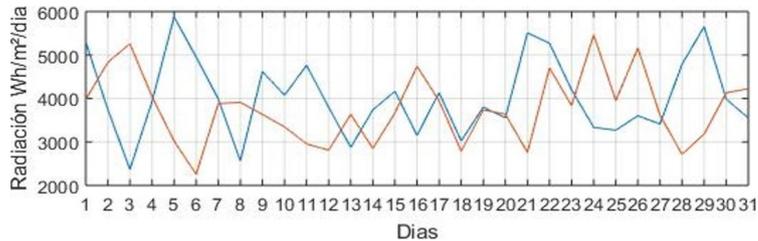
Marzo



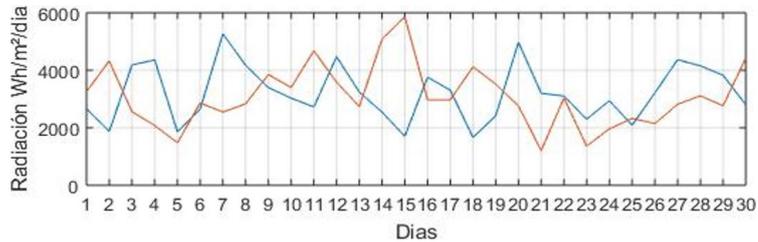
Abril



Mayo



Junio



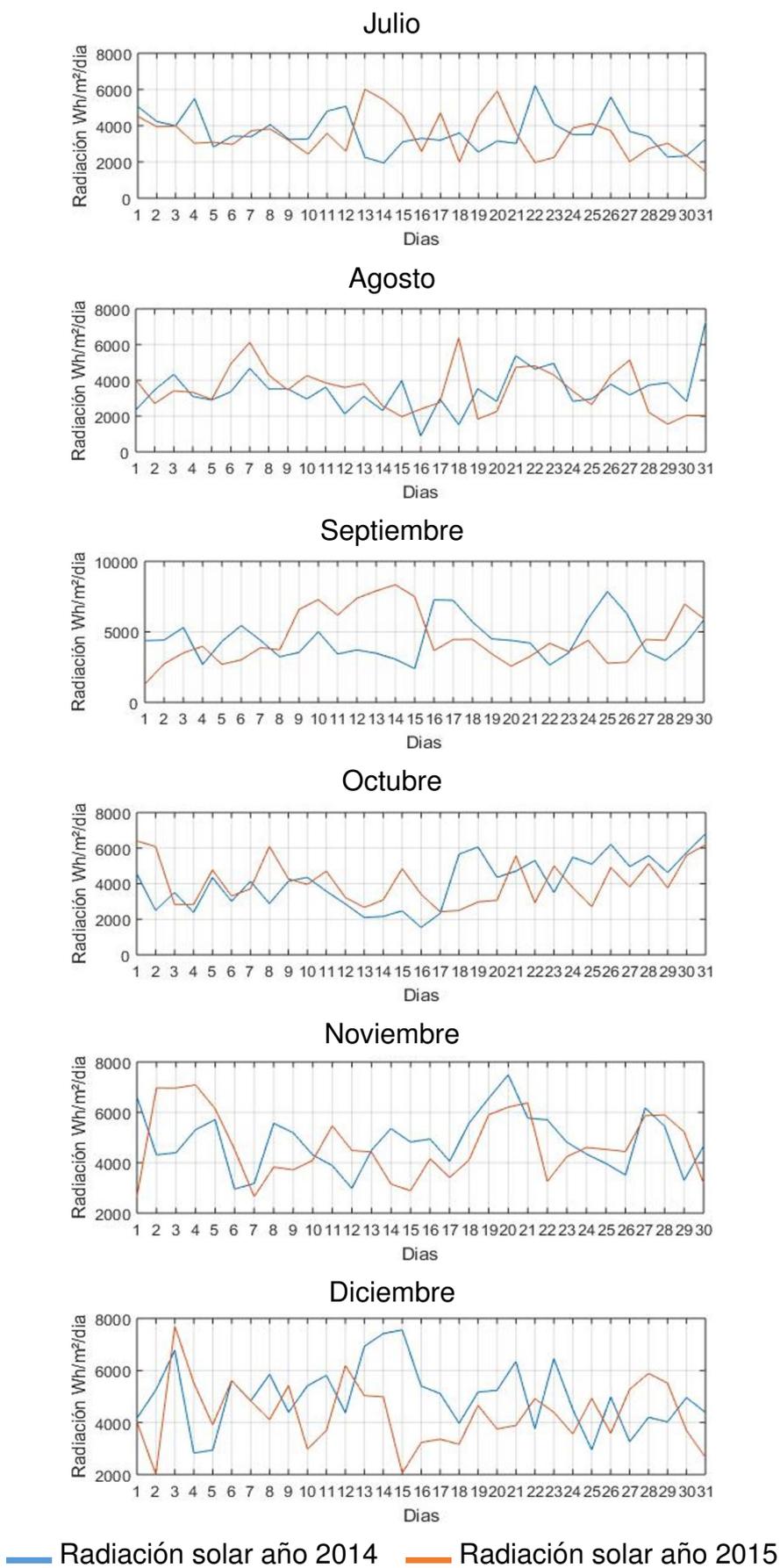
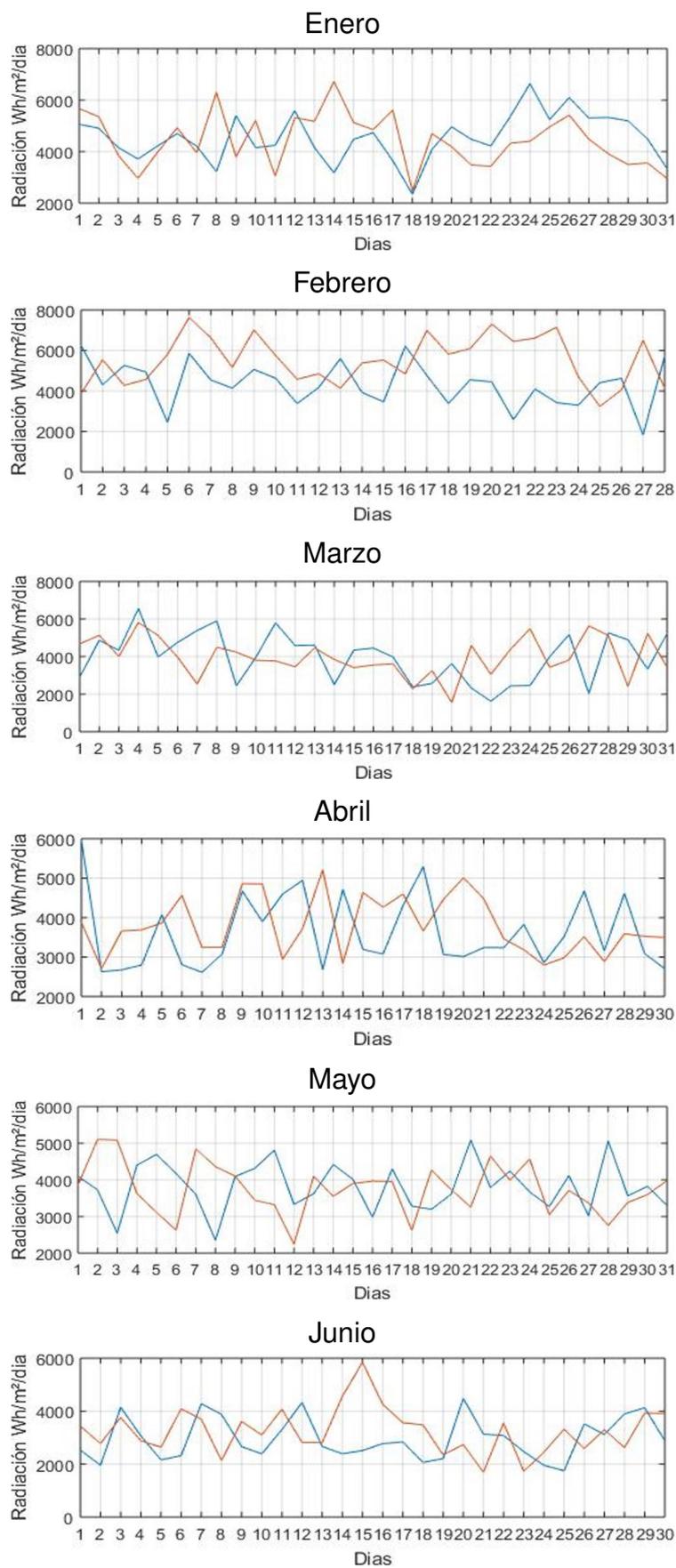


Figura B.14: Radiación global de la estación Tixán

B.15. Estación Turi



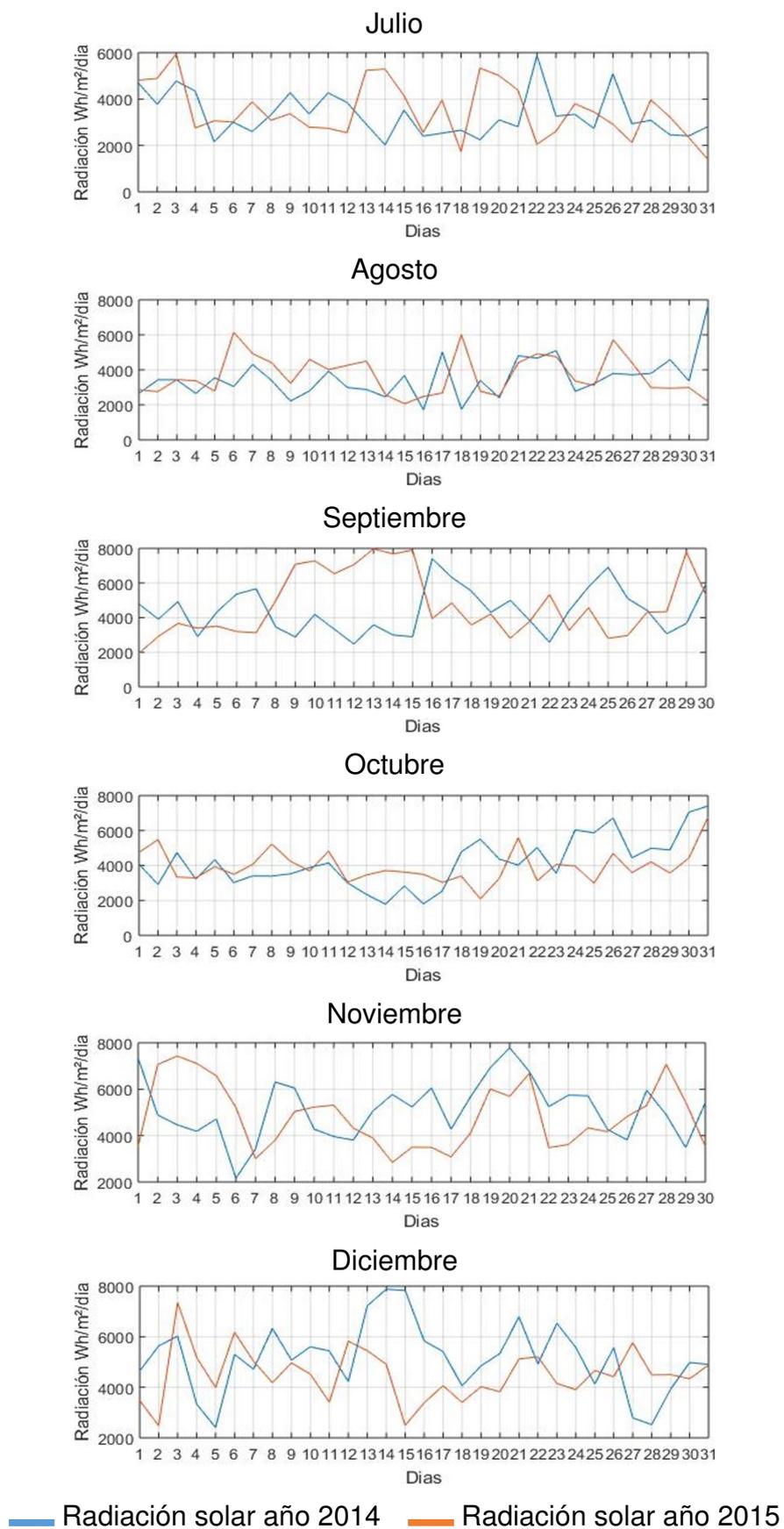
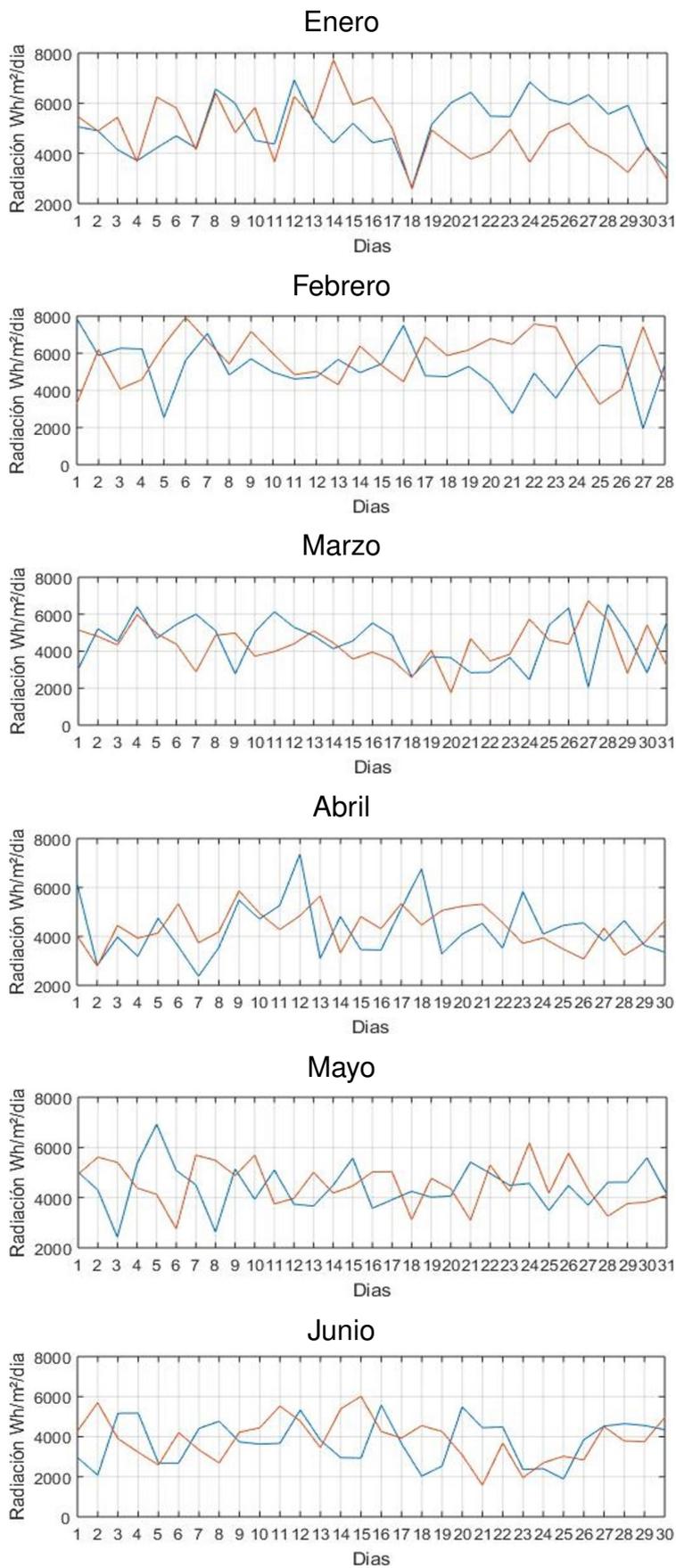


Figura B.15: Radiación global de la estación Turi

B.16. Estación U. Politécnica Salesiana (UPS)



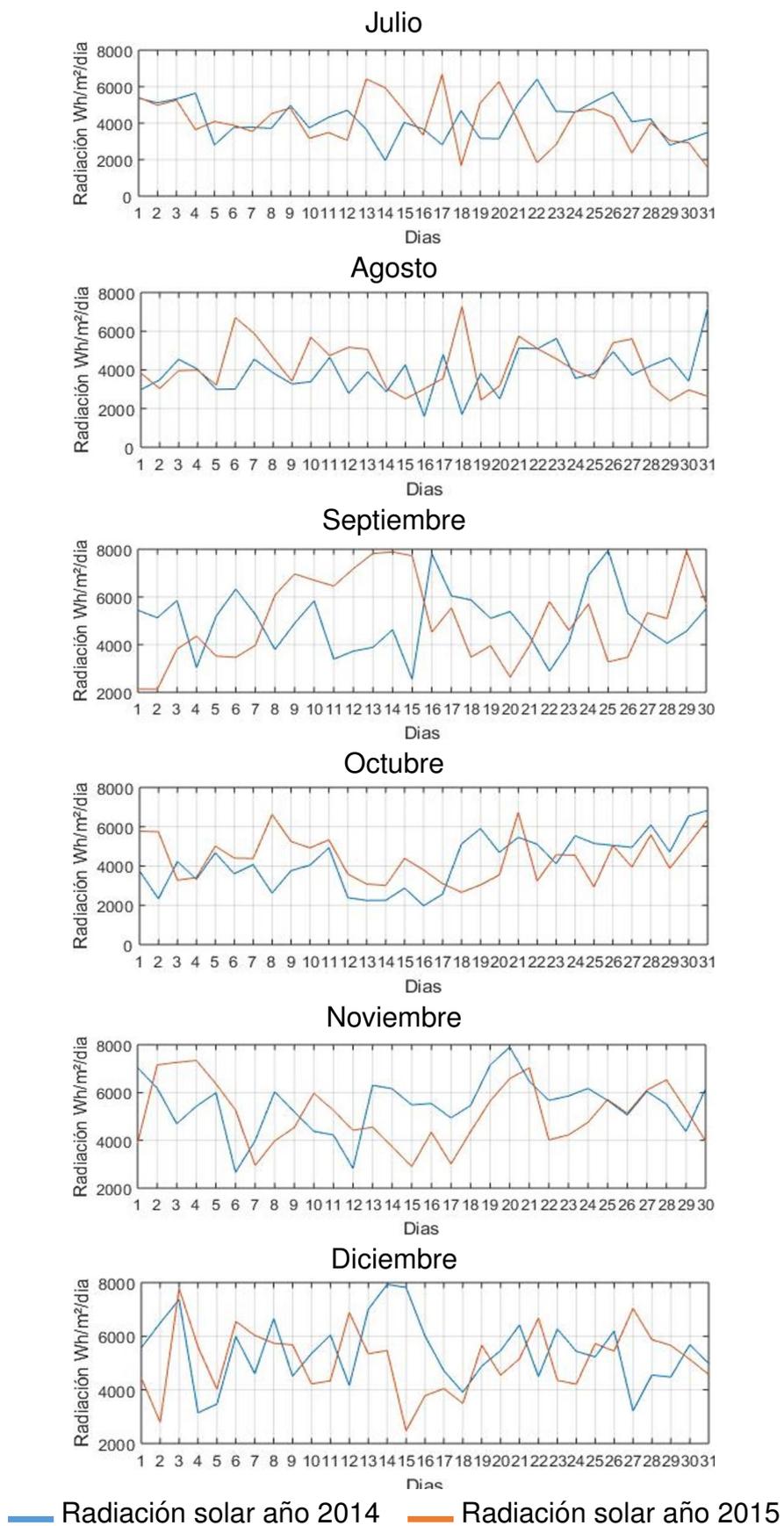
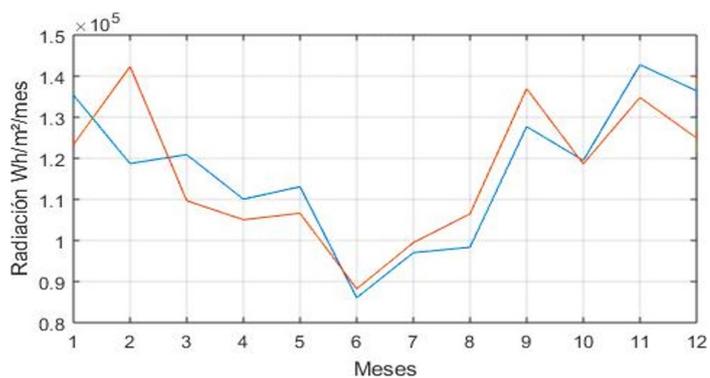


Figura B.16: Radiación global de la estación UPS

Anexo C

Radiación solar global anual por estación meteorológica

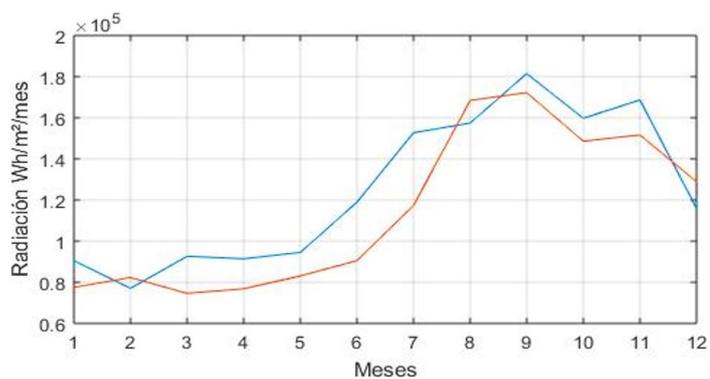
C.1. Estación Baños



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.1: Radiación global anual de la estación Baños

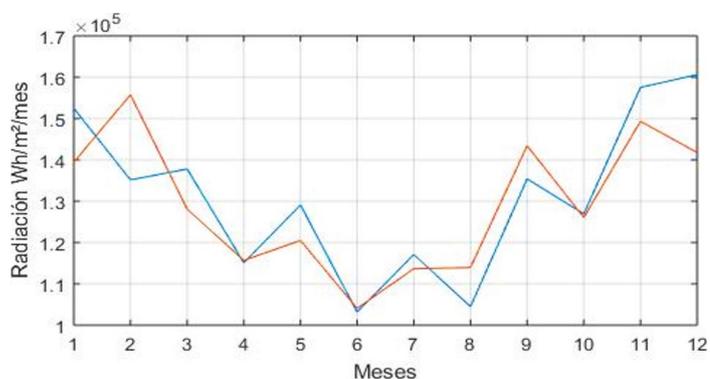
C.2. Estación Chaucha



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.2: Radiación global anual de la estación Chaucha

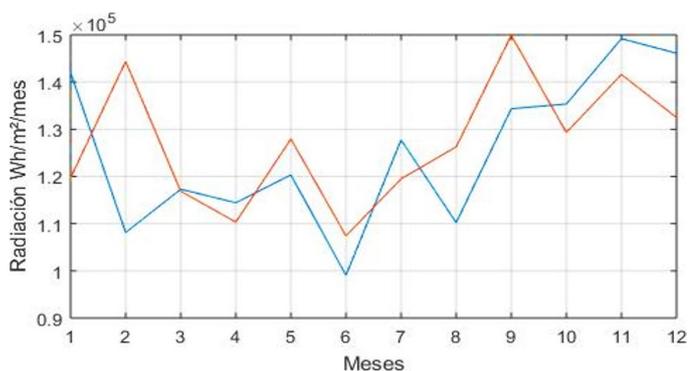
C.3. Estación CTS



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.3: Radiación global anual de la estación CTS

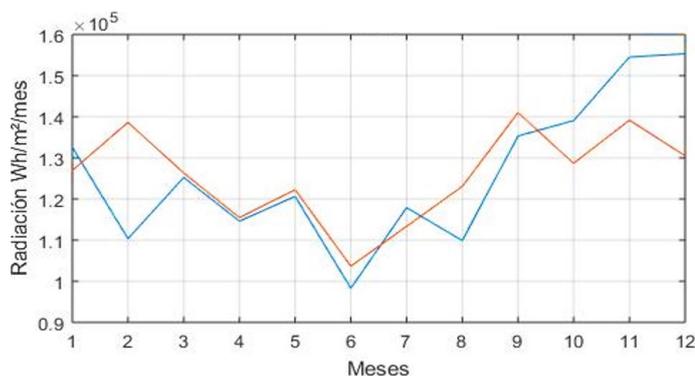
C.4. Estación Cumbe



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.4: Radiación global anual de la estación Cumbe

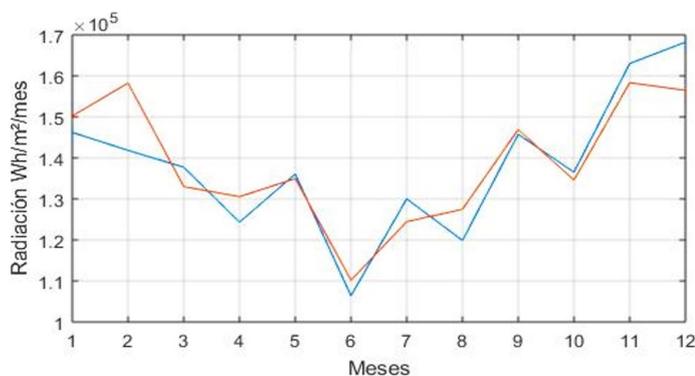
C.5. Estación Irquis



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.5: Radiación global anual de la estación Irquis

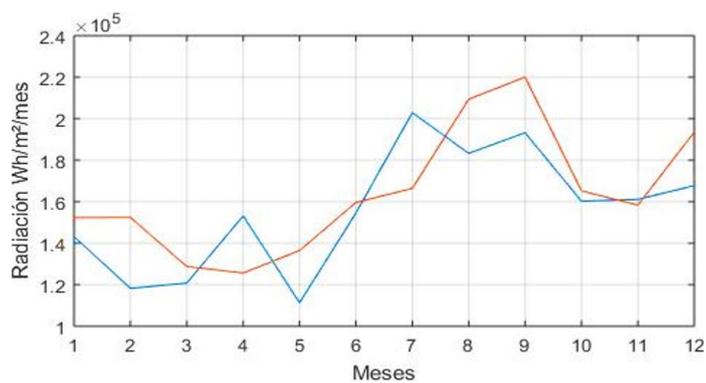
C.6. Estación Llaeo



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.6: Radiación global anual de la estación Llaeo

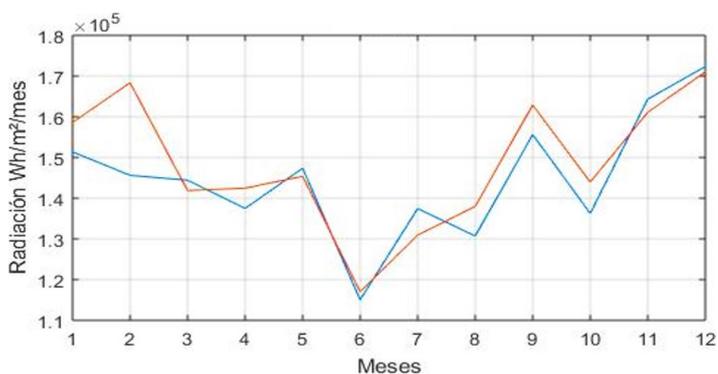
C.7. Estación Molleturo



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.7: Radiación global anual de la estación Molleturo

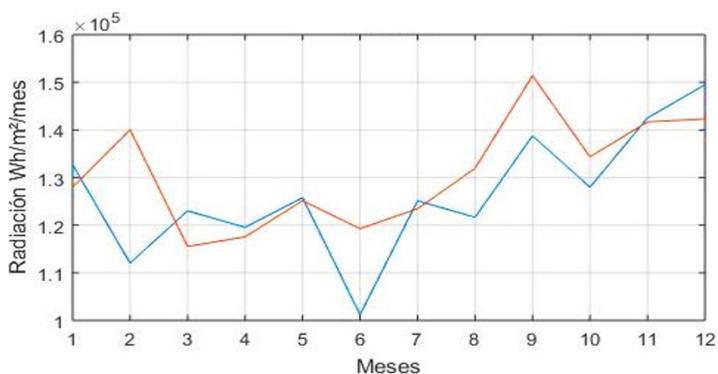
C.8. Estación Nulti



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.8: Radiación global anual de la estación Nulti

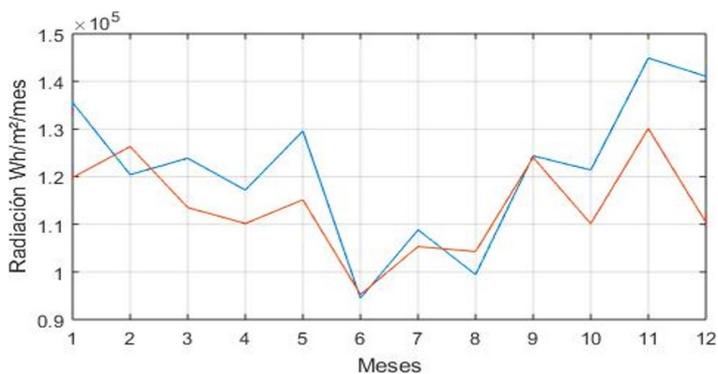
C.9. Estación Quingeo



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.9: Radiación global anual de la estación Quingeo

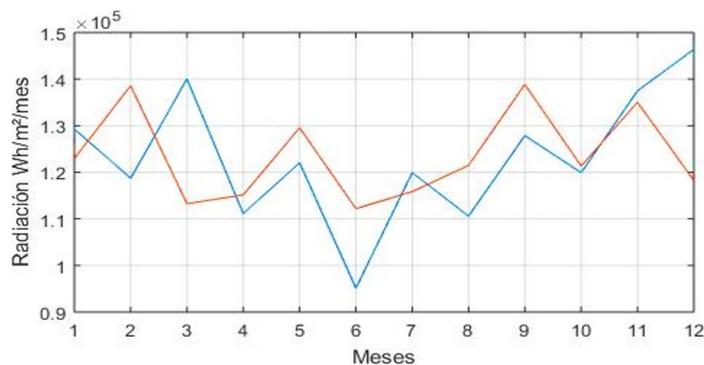
C.10. Estación San Joaquín



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.10: Radiación global anual de la estación San Joaquín

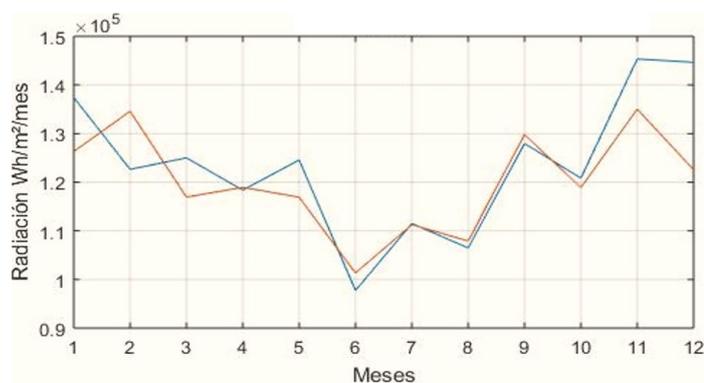
C.11. Estación Santa Ana



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.11: Radiación global anual de la estación Santa Ana

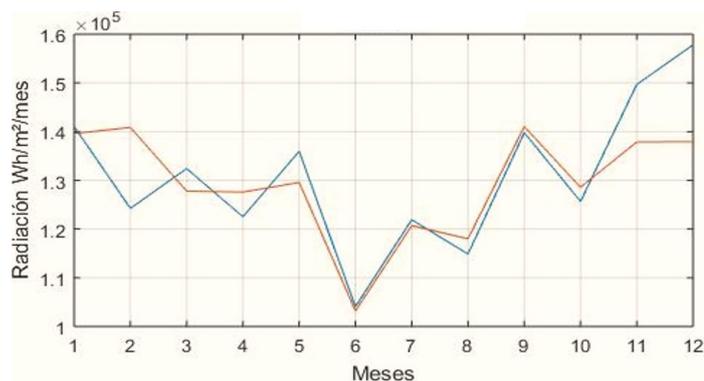
C.12. Estación Sayausí



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.12: Radiación global anual de la estación Sayausí

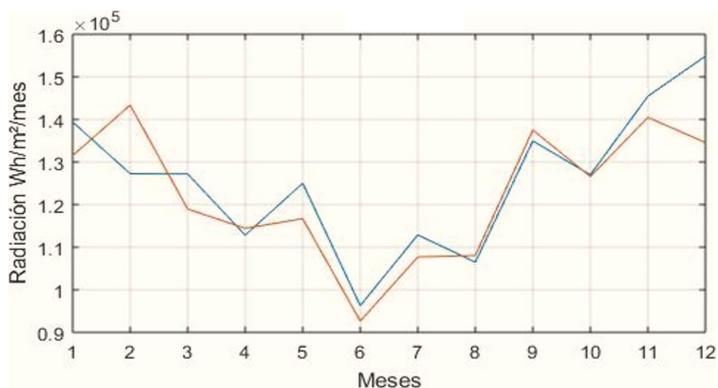
C.13. Estación Sinincay



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.13: Radiación global anual de la estación Sinincay

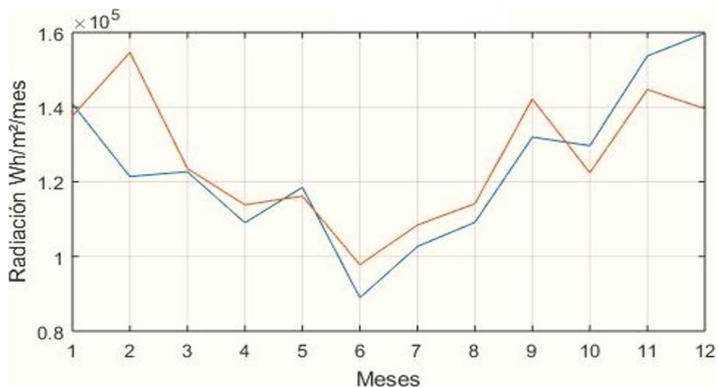
C.14. Estación Tixán



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.14: Radiación global anual de la estación Tixán

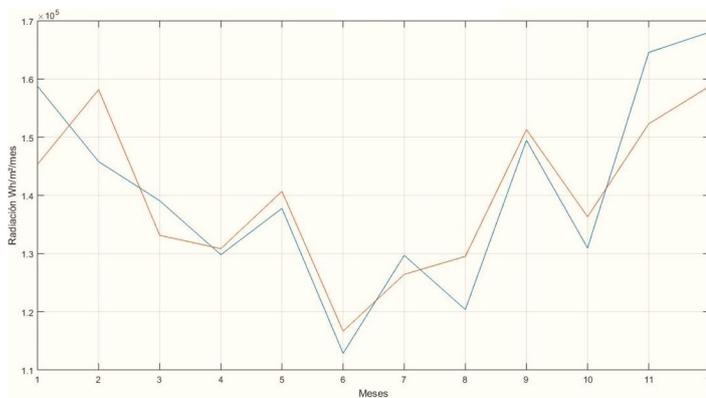
C.15. Estación Turi



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.15: Radiación global anual de la estación Tixán

C.16. Estación UPS



— Radiación solar año 2014 — Radiación solar año 2015

Figura C.16: Radiación global anual de la estación UPS

Anexo D

Radiación global del cantón Cuenca

D.1. Radiación global del cantón Cuenca 2014

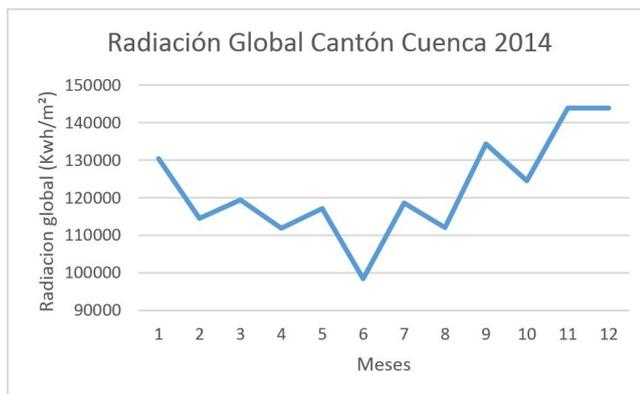


Figura D.1: Radiación global del cantón Cuenca año 2014

D.2. Radiación global del cantón Cuenca 2015

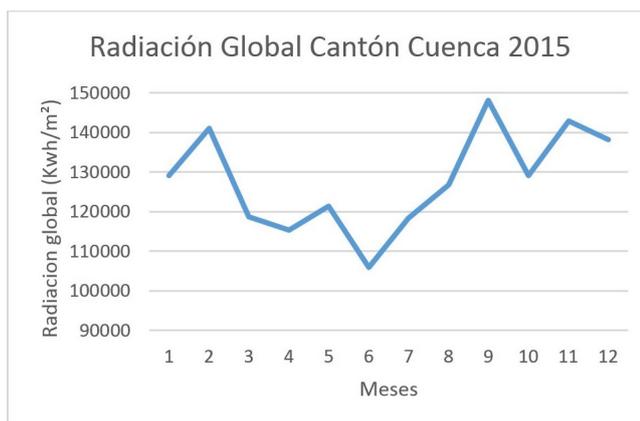


Figura D.2: Radiación global del cantón Cuenca año 2015

D.3. Radiación global cantón Cuenca 2014-2015

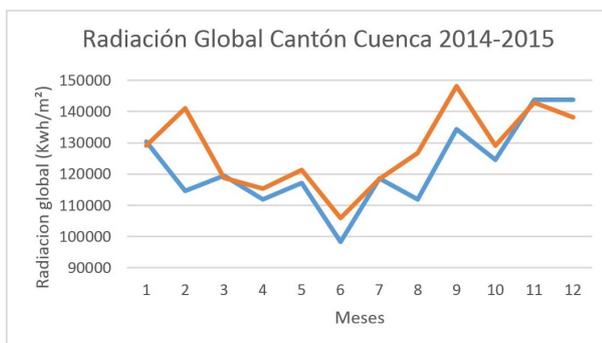


Figura D.3: Comparación de la radiación global en el cantón Cuenca entre los años 2014 - 2015

Anexo E

Matriz de Consistencia

Matriz de Consistencia.
INTEGRACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EFICIENTES EN LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL CANTÓN CUENCA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>GENERAL: ¿Cómo obtener agua caliente sanitaria permanente en los domicilios de Cantón Cuenca disminuyendo la contaminación aplicando la eco-eficiencia para aportar a la disminución de la huella de carbono?</p>	<p>GENERAL: Integrar sistemas solares térmicos eficientes en el Cantón Cuenca para obtener agua caliente Sanitaria (ACS) permanente disminuyendo la contaminación ambiental.</p>	<p>GENERAL: Si se integran sistemas solares térmicos eficientes para obtener agua caliente sanitaria en el Cantón Cuenca entonces se disminuye la contaminación ambiental favoreciendo la disminución de la huella de carbono e integrando el criterio de eco-eficiencia en este proceso</p>	<p>VI: Integración de equipos solares para agua caliente sanitaria VD: % de CO₂ en el ambiente VC: Cantón Cuenca</p>		
<p>ESPECÍFICOS</p> <p>a) ¿Se contamina el ambiente en el Cantón Cuenca cuando se produce agua caliente sanitaria?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>a) Identificar la situación actual del consumo y demanda de agua caliente sanitaria en la ciudad de Cuenca, los métodos que se utilizan para su obtención y la repercusión que tiene en la contaminación ambiental</p>	<p>a) El Agua Caliente Sanitaria en el Cantón Cuenca se obtiene con sistemas que provocan contaminación ambiental</p>	<p>VI: Agua caliente sanitaria obtenida con sistemas que contaminan el ambiente con CO₂ VD: Porcentaje de Contaminación con CO₂ por Kg de combustible quemado</p>	<p>- Volumen de ACS utilizada por habitante. - % de calentadores a base de GLP - % de CO₂ por Kg de GLP quemado</p>	<p>Recopilación de datos de fuente secundaria (INEC - ETAPA) Encuesta Calculo numérico</p>
<p>b) ¿Cómo se debe monitorear, procesar y analizar los datos de radiación solar que permitan establecer la cantidad de energía térmica útil para obtener agua caliente sanitaria en el Cantón Cuenca?</p>	<p>b) Monitorear, procesar y analizar los datos de radiación solar para determinar la cantidad de energía térmica útil para obtener agua caliente sanitaria en el Cantón Cuenca.</p>	<p>b) Los datos de radiación solar medidos y analizados en un intervalo mínimo de un año permiten establecer la energía térmica útil para la aplicación de sistemas solares para obtener agua caliente sanitaria permanente</p>	<p>VI: radiación solar global para diferentes puntos VD: Energía térmica obtenida con la radiación solar</p>	<p>- Cantidad de radiación solar global por hora, día, mes y año - Cantidad de energía térmica útil para calentamiento de agua</p>	<p>Estación meteorológica Análisis matemático</p>
<p>c) ¿La eficiencia de los colectores solares de tubos de vacío calculada con el análisis de transferencia de calor correspondiente es igual a la que se obtiene de los mismos cuando están empleados en el lugar de aplicación?</p>	<p>c) Analizar la eficiencia del colector de tubos de vacío evacuado simple y del colector de tubos de vacío con tubo de calor para establecer parámetros eficientes de cálculo y disminuir errores en la determinación de la energía útil que produce el colector</p>	<p>c) La determinación de la eficiencia práctica de los colectores de tubos de vacío a través de la instalación piloto permiten optimizar el cálculo teórico para disminuir errores en la determinación de la energía útil que produce el colector.</p>	<p>VI: Parámetros de funcionamiento de colectores solares instalados para obtener agua caliente sanitaria VD: Eficiencia real de los colectores solares de tubos de vacío</p>	<p>- Temperatura de entrada de H₂O - Temperatura de salida H₂O Volumen promedio de uso ACS - % de eficiencia real de cada tipo de colector de tubos de vacío</p>	<p>Instalación piloto y medición de datos Análisis matemático</p>

Anexo F

Opinión del juicio de valor emitido por los jurados

OPINION DE JUCIO DE VALOR

Instrucciones:

El presente instrumento tiene por objetivo validar el contenido de los ítems. Marca con una aspa (x) la celdilla que usted estime conveniente de acuerdo a la escala de valor: Deficiente (D), Regular (R), Bueno (B), Satisfactorio (S), Optimo (O); Fuerte (F), Bastante (B), Regular (R), Poca (P), Mínima (M)

Evaluador / experto: Elmer Córdova

Institución donde labora: Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Lugar y Fecha: Lima, 25 nov 2014

item	Congruencia (guarda una relación lógica)					Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)					Tendensiosidad (sesgo)					Observación
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
	D	R	B	S	O	D	R	B	S	O	F	B	R	P	M	
1a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
1b	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mejorar
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable

Opinión de aplicabilidad: Aplicable

Firmado digitalmente por Elemer Cordova
Nombre de reconocimiento (DN): cn=Elemer
Cordova, o=UNMSM, ou,

email=elcordova5@hotmail.com, c=PE

OPINION DE JUCIO DE VALOR

Instrucciones:

El presente instrumento tiene por objetivo validar el contenido de los ítems. Marca con una aspa (x) la celdilla que usted estime conveniente de acuerdo a la escala de valor: Deficiente (D), Regular (R), Bueno (B), Satisfactorio (S), Optimo (O); Fuerte (F), Bastante (B), Regular (R), Poca (P), Mínima (M)

Evaluador / experto: Erwin Kraenau
 Institución donde labora: UNMSM
 Lugar y Fecha: Perú - 23-nov-2014

item	Congruencia (guarda una relación lógica)					Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)					Tendensiosidad (sesgo)					Observación
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
	D	R	B	S	O	D	R	B	S	O	F	B	R	P	M	
1a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
1b	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable

Opinión de aplicabilidad: aplicable

Firmado digitalmente por Erwin Kraenau
 Nombre de reconocimiento (DN): cn=Erwin Kraenau,
 o, ou, email=stonedblack@hotmail.com, c=<n

Firma del Experto

OPINION DE JUCIO DE VALOR

Instrucciones:

El presente instrumento tiene por objetivo validar el contenido de los ítems. Marca con una aspa (x) la celdilla que usted estime conveniente de acuerdo a la escala de valor: Deficiente (D), Regular (R), Bueno (B), Satisfactorio (S), Optimo (O); Fuerte (F), Bastante (B), Regular (R), Poca (P), Mínima (M)

Evaluador / experto:

ESTEBAN FELIPE ZALAMEA LEON PhD

Institución donde labora:

Universidad Estatal - Cuenca

Lugar y Fecha:

19-nov-2014

item	Congruencia (guarda una relación lógica)					Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)					Tendensiosidad (sesgo)					Observación
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
	D	R	B	S	O	D	R	B	S	O	F	B	R	P	M	
1a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
1b	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mejorar
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable

 Opinión de aplicabilidad: **Aplicable**

Firmado digitalmente por Esteban Zalamea
 Nombre de reconocimiento (DN): cn=Esteban
 Zalamea, o=Universidad Estatal, ou=Universidad
 Estatal, email=estebanzgh@gmail.com, ca=sn

Firma del Experto

OPINION DE JUCIO DE VALOR

Instrucciones:

El presente instrumento tiene por objetivo validar el contenido de los ítems. Marca con una aspa (x) la celdilla que usted estime conveniente de acuerdo a la escala de valor: Deficiente (D), Regular (R), Bueno (B), Satisfactorio (S), Optimo (O); Fuerte (F), Bastante (B), Regular (R), Poca (P), Mínima (M)

Evaluador / experto: Luisa Salazar, Ph.D
 Institución donde labora: Universidad Simón Bolívar
 Lugar y Fecha: Caracas, 19 - noviembre - 2014

item	Congruencia (guarda una relación lógica)					Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)					Tendensiosidad (sesgo)					Observación
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
	D	R	B	S	O	D	R	B	S	O	F	B	R	P	M	
1a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
1b	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable

Opinión de aplicabilidad: aplicable

Firmado digitalmente por Luisa Salazar
 Nombre de reconocimiento (DN): cn=Luisa Salazar,
 o=USB, ou, email=luisalazar@usb.ve, c=VE

Firma del Experto

OPINION DE JUCIO DE VALOR

Instrucciones:

El presente instrumento tiene por objetivo validar el contenido de los ítems. Marca con una aspa (x) la celdilla que usted estime conveniente de acuerdo a la escala de valor: Deficiente (D), Regular (R), Bueno (B), Satisfactorio (S), Optimo (O); Fuerte (F), Bastante (B), Regular (R), Poca (P), Mínima (M)

Evaluador / experto: Jerko Labus
 Institución donde labora: Universitat Rovira i Virgili, Tarragona (Spain)
 Lugar y Fecha: 28 - nov - 2014

item	Congruencia (guarda una relación lógica)					Claridad (esta formulado con lenguaje apropiado)					Tendensiosidad (sesgo)					Observación
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
	D	R	B	S	O	D	R	B	S	O	F	B	R	P	M	
1a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
1b	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Aplicable
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Aplicable

Opinión de aplicabilidad: Se puede aplicar.

Firmado digitalmente por Jerko Labus
 Nombre de reconocimiento (DN): cn=Jerko Labus, o, ou, email=jerko.labus@urv.com, c=ES

Firma del Experto