



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Edificación

Análisis energético y económico de un proyecto de  
instalación solar térmica para proveer agua caliente  
sanitaria en una misma edificación residencial en cuatro  
zonas geográficas diferentes dentro de España y Ecuador

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Edificación

AUTOR/A: Noritz Molina, Erick Marcel

Tutor/a: Arrué Burillo, Paloma

Cotutor/a: Romero Sedó, Antonio Manuel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



## AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este espacio para agradecer primero a Dios que me ha bendecido en estos años difíciles, también agradecer el apoyo y ayuda a mi familia y seres queridos que me han ayudado en este proceso de mi máster universitario. En especial a mi madre que me dio la oportunidad de poder realizar mis estudios en esta universidad prestigiosa en España, y me ayudo en momentos difíciles personales y de salud. A mis hermanos que me dieron ánimos y apoyo en este tiempo de mi carrera universitaria. A mi padre que de niño me enseñó con su ejemplo el valor de la responsabilidad y del esfuerzo, y que ahora en el cielo es mi motivación de vida. Un agradecimiento muy especial también a mi novia, que fue ella que después de 3 años me motivó a poder terminar este trabajo de fin de máster, el cual varias veces parecía renunciar después de varios problemas en los últimos años de mi vida.



## RESUMEN

El presente Trabajo Final de Máster se va a enfocar en analizar los beneficios económicos y energéticos de una instalación solar térmica para la obtención de agua caliente sanitaria en una edificación residencial dentro de cuatro zonas geográficas diferentes en España y Ecuador. Actualmente en Europa cada vez se va aplicando más el uso de energía renovables en diferentes áreas de trabajo como también dentro de las edificaciones, algo que en América latina aún no se lo ha llegado a implementar por completo, por lo que es de gran interés realizar los cálculos de los beneficios que se puede obtener con el uso de este tipo de instalaciones dentro de estas zonas. Además, la ubicación geográfica en la que se encuentra Ecuador nos brinda un mayor interés en conocer los beneficios energéticos que esto podría brindarle a la instalación, por la cantidad de horas de luz solar que hay en el día y su poca variabilidad que presenta durante todos los meses del año. Al pasar la cordillera de Los Andes por Ecuador, sus dos más grandes ciudades, Quito y Guayaquil, presentan temperaturas climáticas muy diferentes durante todo el año, aunque estas se encuentren a pocos kilómetros de distancias, siendo esto otro factor de interés para el análisis de los resultados energéticos que se pueden obtener en estas dos zonas. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden brindar información indispensable para poder implementar futuras instalaciones dentro de Ecuador y de esta manera explotar este nuevo mercado en el país.

Palabras clave: Sistema solar térmico, agua caliente sanitaria, rentabilidad económica, energía sola.

## RESUM

El present Treball Final de Màster s'enfocarà a analitzar els beneficis econòmics i energètics d'una instal·lació solar tèrmica per a l'obtenció d'aigua calenta sanitària en una edificació residencial dins de quatre zones geogràfiques diferents a Espanya i l'Equador. Actualment a Europa cada vegada es va aplicant més l'ús d'energia renovables en diferents àrees de treball com també dins de les edificacions, alguna cosa que a Amèrica llatina encara no li ho ha arribat a implementar per complet, per la qual cosa és de gran interès realitzar els càlculs dels beneficis que es pot obtindre amb l'ús d'esta mena d'instal·lacions dins d'estes zones. A més, la ubicació geogràfica en la qual es troba l'Equador ens brinda un major interès a conèixer els beneficis energètics que això podria brindar-li a la instal·lació, per la quantitat d'hores de llum solar que hi ha en el dia i la seua poca variabilitat que presenta durant tots els mesos de l'any. En passar la serralada dels Andes per l'Equador, els seus dos més grans ciutats, Quito i \*Guayaquil, presenten temperatures climàtiques molt diferents durant tot l'any, encara que estes es



troben a pocs quilòmetres de distàncies, sent això un altre factor d'interés per a l'anàlisi dels resultats energètics que es poden obtenir en estes dos zones. Els resultats obtinguts en este treball poden brindar informació indispensable per a poder implementar futures instal·lacions dins de l'Ecuador i d'esta manera explotar este nou mercat al país.

Paraules claus: Sistema solar tèrmic, aigua calenta sanitària, rendibilitat econòmica.

## ABSTRACT

This Master's Final Project will focus on analyzing the economic and energy benefits of a solar thermal installation to obtain domestic hot water in a residential building within four different geographical areas in Spain and Ecuador. Currently in Europe, the use of renewable energy is increasingly being applied in different work areas as well as within buildings, something that in Latin America has not yet been fully implemented, so it is of great interest to carry out calculations of the benefits that can be obtained with the use of this type of facilities within these areas. In addition, the geographical location in which Ecuador is located gives us greater interest in knowing the energy benefits that this could provide to the installation, due to the number of hours of sunlight there are in the day and its little variability that it presents during all the months of the year. Passing the Andes Mountain range through Ecuador, its two largest cities, Quito and Guayaquil, have very different climatic temperatures throughout the year, although they are located a few kilometers apart, this being another factor of interest for the analysis of the energetic results that can be obtained in these two areas. The results obtained in this work can provide essential information to be able to implement future installations within Ecuador and in this way exploit this new market in the country.

Keywords: Solar thermal system, domestic hot water, economic profitability, solar energy.



## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	15
2. MEMORIA.....	17
2.1. ANTECEDENTES .....	17
2.2. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
2.3. OBJETIVOS.....	19
2.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2.4. ALCANCE.....	20
2.5. JUSTIFICACIÓN .....	21
2.6. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	22
3. MARCO TEÓRICO .....	23
3.1. SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA.....	23
3.2. GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA .....	23
3.2.1. AGUA CALIENTE SANITARIA MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	24
3.2.2. COLECTORES SOLARES, FLUIDOS DE TRABAJO Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO .....	25
4. METODOLOGÍA.....	29
5. NORMATIVA .....	31
6. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....	32
6.1. EMPLAZAMIENTOS.....	32
6.2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN .....	38
7. CÁLCULOS.....	40
7.1. DEMANDA MENSUAL DE AGUA CALIENTE SANITARIA .....	40
7.2. CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA .....	41
7.3. IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL.....	45
7.4. DEMANDA ENERGÉTICA (MJ) .....	47
7.5. PERDIDAS POR INCLINACIÓN, ORIENTACIÓN Y SOMBRAS DE COLECTORES .....	50



7.5.1. OBTENCIÓN DEL RANGO ADMISIBLE DE LOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN $\beta$ Y EL ÁNGULO DE ACIMUT $\alpha$ EN LAS CIUDADES DEL HEMISFERIOS NORTE .....	51
7.5.2. OBTENCIÓN DEL RANGO ADMISIBLE DE LOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN $\beta$ Y EL ÁNGULO DE ACIMUT $\alpha$ EN LAS CIUDADES DEL HEMISFERIOS NORTE .....	54
7.5.3. RESULTADOS DE LAS PERDIDAS POR INCLINACIÓN CON LOS ÁNGULO DE INCLINACIÓN $\beta$ ÓPTIMOS.....	58
7.5.4. PERDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS.....	61
7.6. CÁLCULO DEL ÁNGULO ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES.....	66
7.6.1. CÁLCULO DEL ÁNGULO PRECISO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE OBTIMICE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN LA CORUÑA.....	70
7.6.2. CÁLCULO DEL ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN SEVILLA.....	74
7.6.3. CÁLCULO DEL ÁNGULO ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN QUITO.....	76
7.6.4. CÁLCULO DEL ÁNGULO ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN GUAYAQUIL.....	77
7.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ÁNGULOS DE ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN.....	78
7.8. CÁLCULO DE IRRADIACIÓN NETA .....	80
7.9. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN .....	82
7.9.1. SELECCIÓN DEL CAPTADOR SOLAR .....	85
7.9.2. DISEÑO DE CONEXIONES DE LOS CAPTADORES .....	103
7.9.3. COMPARACIÓN DE LOS CAPTADORES SOLARES SELECCIONADOS	107
7.10. DIMENSIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO TÉRMICO.....	109
7.10.1. VOLUMEN DE ACUMULACIÓN.....	109
7.10.2. SISTEMA DE APOYO .....	110



8.	COSTOS.....	112
8.1.	COSTOS DE INSTALACIÓN .....	112
8.2.	COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES .....	114
8.2.1.	MANTENIMIENTO .....	114
8.2.2.	COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL .....	115
8.3.	COSTOS TOTALES DE UN SISTEMA DE SOLAR TÉRMICO .....	115
9.	EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD ECONÓMICA .....	116
9.1.	GASTOS DE CONSUMO CON GAS NATURAL .....	116
9.2.	CÁLCULO DEL COSTO BENEFICIO DE LA INVERSIÓN .....	120
9.2.1.	ANÁLISIS COMPARATIVOS DE COSTOS DE INVERSIÓN .....	122
10.	CONCLUSIONES .....	125
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	126
12.	ANEXOS.....	129
	Anexo 1 .....	129
	Anexo 2 .....	130
	Anexo 3 .....	131
	Anexo 4 .....	132
	Anexo 5 .....	133
	Anexo 6 .....	134
	Anexo 7 .....	135
	Anexo 8 .....	136
	Anexo 9 .....	138
	Anexo 10 .....	140
	Anexo 11 .....	141
	Anexo 12 .....	141
	Anexo 13 .....	142



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de España (Google Earth, 2024) .....	32
Figura 2. Localización de La Coruña (Google Earth, 2024) .....	33
Figura 3. . Localización Lote de Edificación en La Coruña (Google Earth, 2024) .....	33
Figura 4. Localización de Sevilla (Google Earth, 2024).....	34
Figura 5. Localización de Lote de Edificación en Sevilla (Google Earth, 2024) .....	34
Figura 6. Localización de Ecuador (Google Earth, 2024) .....	35
Figura 7. Localización de Quito (Google Earth, 2024).....	36
Figura 8. Localización de Lote de Edificación en Quito (Google Earth, 2024).....	36
Figura 9. Localización de Guayaquil (Google Earth, 2024).....	37
Figura 10. Localización de Lote de Edificación en Guayaquil (Google Earth, 2024) .....	37
Figura 11. Vista en planta de Planta baja (Elaboración propia) .....	38
Figura 12. Vista en planta desde el segundo al sexto piso (Elaboración propia) .....	39
Figura 13. Vista en Planta de la Terraza (Elaboración propia).....	39
Figura 15 . Zonas climáticas de España (Documento Básico HE Ahorro de Energía, HE 4-6).....	42
Figura 16. Contribución Solar mínima anual para ACS (HE-4 CTE, 2013) .....	42
Figura 17. Zonas climáticas de Ecuador (Norma Solar Térmica - CEC).....	43
Figura 18. Contribución Solar mínima anual para ACS (Norma Solar Térmica, CEC) ..	43
Figura 21. Irradiación global horizontal (Elaboración propia) .....	46
Figura 23. Orientación e inclinación de los módulos (CTE, HE4, 2013).....	51
Figura 24. Orientación de la edificación en La Coruña (Elaboración propia).....	51
Figura 25. Orientación de la edificación en Sevilla (Elaboración propia) .....	52
Figura 26. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en La Coruña (Elaboración propia) .....	52
Figura 27. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en Sevilla (Elaboración propia).....	53
Figura 29. Orientación de los módulos del hemisferio Sur (Manual de generación distribuida solar fotovoltaica, 2019) .....	54
Figura 30. Orientación de la edificación en Quito (Elaboración propia) .....	55
Figura 31. Orientación de la edificación en Guayaquil (Elaboración propia) .....	55
Figura 32. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en Quito (Elaboración propia).....	56
Figura 33. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en Guayaquil (Elaboración propia).....	56
Figura 34. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en La Coruña (Elaboración propia).....	59





Figura 35. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en Sevilla (Elaboración propia).....	59
Figura 36. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en Quito (Elaboración propia).....	60
Figura 37. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en Guayaquil (Elaboración propia).....	60
Figura 38. Patrón de sobras de edificaciones vecinas para las cuatro ciudades (Elaboración propia).....	61
Figura 39. Declinación del sol (Norma Solar Térmica) .....	67
Figura 40. Gráfico comparativo de la irradiación global horizontal e inclinada (Elaboración propia) .....	73
Figura 41. Gráfico comparativo de la irradiación global horizontal e inclinada con un ángulo óptimo (Elaboración propia).....	74
Figura 42. Horas de sol de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia) .....	84
Figura 43. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia).....	91
Figura 44. Aportación solar mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia).....	93
Figura 45. Comparación de la demanda energética y la aportación solar con el captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia) .....	94
Figura 46. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia) .....	95
Figura 47. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia).....	96
Figura 48. Comparación de la demanda energética y la aportación solar de los captadores en Sevilla (Elaboración propia) .....	97
Figura 49. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia) .....	98
Figura 50. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia).....	99
Figura 51. Comparación de la demanda energética y la aportación solar de los captadores en Quito (Elaboración propia).....	100
Figura 52. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia).....	101
Figura 53. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia).....	102
Figura 54. Comparación de la demanda energética y la aportación solar de los captadores en Guayaquil (Elaboración propia).....	103



Figura 55. Diseño de conexiones de los captadores en La Coruña (Elaboración propia)	104
Figura 56. Diseño de conexiones de los captadores en Sevilla (Elaboración propia)	105
Figura 57. Diseño de conexiones de los captadores en Quito (Elaboración propia)	106
Figura 58. Diseño de conexiones de los captadores en Guayaquil (Elaboración propia)	107
Figura 59. Rendimiento de los captadores por ciudad (Elaboración propia)	108
Figura 60. Costo anual de gas natural de las cuatro ciudades (Elaboración propia)	119
Figura 61. Años de recuperación de inversión del sistema solar térmico de cada ciudad (Elaboración propia)	122
Figura 62. Ahorro neto anual adquirido por el sistema solar térmico de cada ciudad (Elaboración propia)	123
Figura 63. Beneficio económico obtenido del sistema solar térmico para cada ciudad dentro de los 20 años útiles (Elaboración propia)	123



## ÍNDICA DE TABLAS

Tabla 1. Demanda de Agua Caliente Sanitaria de la Edificación (Elaboración propia) .	40
Tabla 2. Zonas Climáticas de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia)	44
Tabla 3. Contribución Solar Mínima de las 4 ciudades (Elaboración propia)	45
Tabla 4. Irradiación global horizontal (Elaboración propia).	46
Tabla 5. Temperatura media de agua de red general (Tablas IDAE)	47
Tabla 6. Demanda energética (MJ) de La Coruña (Elaboración propia)..	48
Tabla 7. Demanda energética (MJ) de Sevilla (Elaboración propia)	49
Tabla 8. Demanda energética (MJ) de Quito (Elaboración propia).	49
Tabla 9. Demanda energética (MJ) de Guayaquil (Elaboración propia).	50
Tabla 10. Pérdidas Límites (CTE)	50
Tabla 11. Rangos admisibles de los ángulos de inclinación $\beta$ para cada una de las cuatro ciudades (Elaboración propia)	58
Tabla 12. Ángulos de orientación e inclinación elegidos para cada una de las cuatro ciudades (Elaboración propia)	58
Tabla 13. Porcentajes de los cuadrantes del ábaco de patrones de sombras en las edificaciones (Elaboración propia)	62
Tabla 14. Tablas de referencias seleccionadas para cada ciudad para el cálculo de perdidas por sombras en cada cuadrante (Elaboración propia)	62
Tabla 15. Tabla de cálculo de las pérdidas por sombras de la edificación en La Coruña (Elaboración propia)	63
Tabla 16. Tabla de resultados de las pérdidas por sombras de la edificación en La Coruña (Elaboración propia)	63
Tabla 17. Resultados de los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombras en La Coruña (Elaboración propia)	64
Tabla 18. Tabla de cálculo de las pérdidas por sombras de la edificación en Sevilla (Elaboración propia)	64
Tabla 19. Tabla de resultados de las pérdidas por sombras de la edificación en Sevilla (Elaboración propia)	64
Tabla 20. Resultados de los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombras en Sevilla (Elaboración propia)	65
Tabla 21. Tabla de cálculos de las pérdidas por sombras de la edificación en Quito y Guayaquil (Elaboración propia)	65
Tabla 22. Tabla de resultados de las pérdidas por sombras de la edificación en Quito y Guayaquil (Elaboración propia)	65
Tabla 23. Resultados de los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombras en Quito y Guayaquil (Elaboración propia)	66



Tabla 24. Valores del DMM, ángulo del sol, la declinación y excentricidad en La Coruña (Elaboración propia).....	68
Tabla 25. Valores del DMM, ángulo del sol, la declinación y excentricidad en La Coruña en enero (Elaboración propia) .....	70
Tabla 26. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en La Coruña (Elaboración propia).....	72
Tabla 27. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación 35,83 (Elaboración propia) .....	72
Tabla 28. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en La Coruña con el ángulo óptimo (Elaboración propia) .....	73
Tabla 29. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en La Coruña (Elaboración propia).....	74
Tabla 30. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en Sevilla con el ángulo óptimo (Elaboración propia) .....	75
Tabla 31. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en Sevilla (Elaboración propia).....	75
Tabla 32. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en Quito con el ángulo óptimo (Elaboración propia) .....	76
Tabla 33. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en Quito (Elaboración propia).....	77
Tabla 34. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en Guayaquil con el ángulo óptimo (Elaboración propia) .....	77
Tabla 35. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en Guayaquil (Elaboración propia).....	78
Tabla 36. Ángulos de orientación e inclinación óptimos para cada ciudad (Elaboración propia) .....	78
Tabla 37. Cálculo de irradiación neta en La Coruña (Elaboración propia) .....	80
Tabla 38. Cálculo de irradiación neta en Sevilla (Elaboración propia) .....	81
Tabla 39. Cálculo de irradiación neta en Quito (Elaboración propia) .....	81
Tabla 40. Cálculo de irradiación neta en Guayaquil (Elaboración propia) .....	82
Tabla 41. Horas de sol de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Tablas IDAE, Norma Solar Térmica).....	84
Tabla 42. Demanda energética de La Coruña (Elaboración propia) .....	86
Tabla 43. Demanda energética de Sevilla (Elaboración propia).....	86
Tabla 44. Demanda energética de Quito (Elaboración propia) .....	86
Tabla 45. Demanda energética de Guayaquil (Elaboración propia) .....	86
Tabla 46. Contribución solar mínima de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia).....	86



Tabla 47. Irradiación anual sobre el plano del captador de cada ciudad (Elaboración propia) .....	87
Tabla 48. Rendimiento medio de las instalaciones de cada ciudad (Elaboración propia) .....	87
Tabla 49. Rango de áreas mínimas y máximas para los colectores solares de cada ciudad (Elaboración propia).....	88
Tabla 50. Modelo de captadores a evaluación para el diseño de las instalaciones (Elaboración propia).....	88
Tabla 51. Valores del captador VITOSOLL 200-TM (Elaboración propia).....	90
Tabla 52. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia).....	90
Tabla 53. Aportación solar mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia).....	93
Tabla 54. Resultados de los factores de suficiencia con cada modelo de captador para cada ciudad (Elaboración propia).....	94
Tabla 55. Modelos de captadores seleccionados para cada ciudad (Elaboración propia) .....	94
Tabla 56. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia) .....	95
Tabla 57. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia).....	96
Tabla 58. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia) .....	98
Tabla 59. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia).....	99
Tabla 60. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia).....	101
Tabla 61. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia).....	102
Tabla 62. Diseño de conexiones para cada ciudad de los captadores, cantidades, hileras y áreas (Elaboración propia).....	104
Tabla 63. Cantidades de captadores por ciudad y sus factores de suficiencia por ciudad (Elaboración propia).....	107
Tabla 64. Rendimientos de los captadores por ciudad (Elaboración propia) .....	108
Tabla 65. Cantidad de captadores y sus áreas de captación por ciudad (Elaboración propia) .....	109
Tabla 66. Límites de volumen de acumulación para cada ciudad (Elaboración propia) .....	109
Tabla 67. Modelo de acumulador de cada ciudad (Elaboración propia) .....	110



Tabla 68 Potencia necesaria para cada ciudad (Elaboración propia) .....	111
Tabla 69. Modelo de caldera de gas natural de cada ciudad (Elaboración propia) .....	111
Tabla 70. Costo anual de energía del sistema de apoyo (Elaboración propia) .....	111
Tabla 71. Valores de los diferentes captadores, calderas y acumuladores que se utilizan en los proyectos (Elaboración propia) .....	112
Tabla 72. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en La Coruña (Elaboración propia) .....	112
Tabla 73. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en Sevilla (Elaboración propia) .....	113
Tabla 74. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en Quito (Elaboración propia) .....	113
Tabla 75. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en Guayaquil (Elaboración propia) .....	113
Tabla 76. Costos de instalación para un sistema solar térmica en cada ciudad (Elaboración propia) .....	113
Tabla 77. Costos del promedio anual para el mantenimiento de los sistemas solares térmicos (Elaboración propia) .....	115
Tabla 78. Costos totales de un sistema solar térmica para proveer ACS para las cuatro ciudades (Elaboración propia) .....	115
Tabla 79. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en La Coruña (Elaboración propia) .....	117
Tabla 80. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en Sevilla (Elaboración propia) .....	118
Tabla 81. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en Quito (Elaboración propia) .....	118
Tabla 82. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en Guayaquil (Elaboración propia) .....	119
Tabla 83. Costo anual de gas natural de las cuatro ciudades (Elaboración propia) ....	119
Tabla 84. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en La Coruña (Elaboración propia) .....	120
Tabla 85. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en La Coruña (Elaboración propia) .....	121
Tabla 86. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en Sevilla (Elaboración propia) .....	121
Tabla 87. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en Sevilla (Elaboración propia) .....	121
Tabla 88. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en Quito (Elaboración propia) .....	121



Tabla 89. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en Quito (Elaboración propia).....	121
Tabla 90. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en Guayaquil (Elaboración propia).....	122
Tabla 91. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en Guayaquil (Elaboración propia).....	122



## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible se encuentra en pleno apogeo en el sistema energético a nivel mundial. La energía es de los factores más importantes con los que los países deben contar para su desarrollo y una gran parte de ella proviene de combustibles fósiles, la disponibilidad de dichos recursos tiene cada vez más importancia generando gran preocupación por los problemas medioambientales. Por esta razón es necesario intentar eliminar esa gran dependencia de las energías fósiles y conseguir aprovechar las características climatológicas favorables del país para obtener un desarrollo sostenible y favorable.

Países como España están en busca de garantizar la diversificación de la matriz energética y la reducción en cuanto a la dependencia de los combustibles fósiles. España está comprometido con los objetivos planteados por la Unión Europea para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la promoción de energía sostenibles. Estos objetivos son prioritarios para abordar los desafíos del cambio climático y garantizar un futuro sostenible para las próximas generaciones.

En Ecuador, la diversificación de la energía también juega un papel estratégico. Si bien en territorio ecuatoriano se encuentran recursos naturales como el petróleo y el gas, existe preocupación por los impactos ambientales y por la importación de combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades energéticas, por lo que se busca alternativas sostenibles como la energía solar y eólica.

Conscientes de la importancia de la sostenibilidad energética, el presente trabajo final de máster se enfoca en realizar un análisis energético y económico de un proyecto de instalación solar térmica con el fin de proveer agua caliente sanitaria en una misma edificación hotelera. La particularidad de la investigación es el alcance geográfico que presenta, ya que abarca cuatro zonas geográficas muy diferentes, Sevilla y La Coruña en España, y Quito y Guayaquil en Ecuador.





La elección de estas ciudades responde a la necesidad de comprender cómo las ubicaciones geográficas, las condiciones climáticas, las políticas energéticas y los contextos económicos afectan en la eficiencia y viabilidad del proyecto para un mismo hotel. En este trabajo además de analizar los aspectos técnicos y económicos del proyecto, se espera ofrecer una visión que permita comprender como las diferencias geográficas y contextuales influyen en la rentabilidad de las soluciones energéticas renovables. Se espera proporcionar información útil que pueda orientar la toma de decisiones en la búsqueda de alternativas energéticas más sostenibles y económicamente viables.



## 2. MEMORIA

### 2.1. ANTECEDENTES

Las civilizaciones siempre han buscado crear nuevas tecnologías para lograr satisfacer las necesidades básicas de la sociedad y mejorar la calidad de vida. Estas tecnologías han ido evolucionando a través de los siglos en donde las energías renovables se han utilizado en diferentes culturas situadas alrededor del mundo. El sol, el viento y el agua han desempeñado diferentes funciones en la generación de energía en siglos pasados. En esas épocas el viento fue la fuente de energía renovable mejor aprovechada, donde el molino tuvo varios usos como en la agricultura donde fue indispensables en varias zonas donde el agua no era tan accesible, además de su uso en la molienda de diferentes granos. La navegación también fue impulsada por el viento para la creación de los veleros dando más facilidades de comercio y exploración.

Ahora en la edad contemporánea existen ya varias fuentes de energía renovables de las cuales destaca la energía hidroeléctrica, la cual es la más importante y de mayor capacidad, además de la energía geotérmica y la energía eólica. En las últimas décadas la energía solar es la de mayor transición energética obteniendo un gran crecimiento dentro de la industria con el aumento de la capacidad fotovoltaica y la disminución de sus costos, gracias a las innovaciones tecnológicas.

En España la adopción y el desarrollo de las tecnologías renovables han tenido un gran crecimiento durante las últimas décadas. Han puesto como prioridad la diversificación de la matriz energética. España se convirtió en pionero en la implementación de tecnología fotovoltaica, especialmente en el sur donde la radiación solar es abundante.

En Ecuador la energía solar es muy baja en comparación a las grandes potencias mundiales. Aunque en los últimos años ha aumentado el consumo de energía solar,



todavía sigue representando menos del 3% del consumo energético en el país. Se espera que esta tecnología siga teniendo un crecimiento dentro de Ecuador para aprovechar su alto nivel de radiación durante los 365 días del año gracias a su ubicación geográfica.

## 2.2. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

La elaboración de sistemas de agua caliente sanitaria es algo esencial para la vida cotidiana en los hogares y edificaciones. Sin embargo, existe un alto consumo de energía utilizando la forma tradicional de producir agua caliente sanitaria como la combustión de gas o los calentadores eléctricos, además de la elevada emisión de gases de efecto invernadero que estas emiten. Por lo tanto, una buena alternativa para esta problemática es la energía solar térmica para la generación de agua caliente sanitaria, teniendo esta una alta eficiencia y sostenibilidad.

A pesar de que Ecuador se encuentra ubicado geográficamente dentro de una zona que le brinda un gran potencial en el sector de la energía solar térmica, este sistema todavía no ha sido ampliamente desarrollado. Contrastando con países ubicados lejos de la línea ecuatorial, estos van aprovechando cada día más de los beneficios de este viable sistema. Para la capital Quito, que se encuentra ubicada a una altitud aproximada de 2850 msnm, la energía solar térmica presenta desafíos únicos por motivo a sus condiciones climáticas y las variaciones en la radiación solar que presenta. Para Guayaquil la humedad y las altas temperaturas a lo largo de todo el año pueden influir en el rendimiento de los sistemas de energía solar térmica. Además, pueden existir otros desafíos adicionales para la instalación de paneles solares como la densidad urbana, sobran por edificaciones aledañas y la disponibilidad de espacio.

Para España, a pesar de ser un país con gran nivel solar, el uso de la energía solar térmica aún no está completamente aprovechado. Se han dado avances significativos para la implementación de esta tecnología en varias regiones del país, pero su adopción



a gran escala aún presenta límites porque persisten barreras en términos de costos, regulaciones y conciencia pública.

Sevilla, que es una de las principales ciudades de España conocida por un clima cálido y soleado, puede tener a la energía solar térmica como una opción bastante atractiva. A diferencia de La Coruña donde la eficiencia de los sistemas de energía solar térmica se ven afectadas por las condiciones climáticas que son menos favorables.

### 2.3. OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis detallado y comparativo sobre el rendimiento energético y la factibilidad económica de la implementación de sistemas de energía solar térmica para un mismo modelo de edificación residencial, ubicándola en cuatro zonas geográficas distintas dentro de España y Ecuador. Se busca comprender cómo las condiciones climáticas, geográficas, económicas y regulatorias de cada una de las regiones influyen en la eficiencia y en la viabilidad de estos sistemas, de igual manera como proporcionar recomendaciones para su implementación exitosa. También el principal objetivo es revelar como la ubicación geográfica y las ventajas climatológicas que presenta Ecuador pueden aprovecharse para potencializar a gran magnitud los beneficios energéticos de una instalación solar térmica para proveer ACS.

#### 2.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una evaluación de las condiciones geográficas y climáticas de cada una de las cuatro zonas geográficas seleccionadas en España y Ecuador para identificar su idoneidad para la instalación de sistemas de energía solar térmica.
- Dimensionar y diseñar apropiadamente los sistemas de energía solar térmica para las diferentes ubicaciones geográficas, teniendo en consideración parámetros como la radiación solar, la demanda de ACS y la orientación de la edificación.



- Analizar la eficiencia energética de los sistemas de energía solar térmica, con la evaluación de varios aspectos como la pérdida de calor, la producción de agua caliente y la eficiencia de los colectores solares en cada zona.
- Determinar minuciosamente con diferentes cálculos el ángulo de inclinación exacto y óptimo que deben tener los captadores para potencializar al máximo su rendimiento y que su aporte solar pueda cubrir con las demandas energéticas de la mejor manera existente.
- Efectuar un análisis económico a detalle de la rentabilidad financiera de la instalación de los sistemas de energía solar térmica en cada una de las ciudades seleccionadas, donde se considera los costos de la inversión, los ahorros en consumo de energía.
- Realizar una comparación entre las cuatro zonas geográficas de los resultados que se obtienen, en los aspectos de rendimiento energético y viabilidad económica, e identificar los factores claves que influyen en la eficiencia y la factibilidad de los sistemas de energía solar térmica.
- Evaluar la magnitud en la que Ecuador puede aprovechar de su situación geográfica y de su clima para potenciar y aprovechar de la instalación de sistemas de energía solar térmica destinados a la provisión de agua caliente sanitaria.
- Recomendar sugerencias específicas para la implementación efectiva de sistemas de energía solar térmica en edificaciones residenciales para las diferentes ciudades.

## 2.4. ALCANCE

El alcance de este proyecto se va a enfocar en la realización de un análisis detallado de las cuatro zonas geográficas dentro de España y Ecuador para la evaluación del rendimiento energético y la factibilidad económica de la instalación de sistemas de energía solar térmica para un mismo diseño de edificación residencial. Integrará la recopilación y el análisis de datos de las condiciones geográficas y climáticas de cada zona, el diseño y dimensionamiento de los sistemas de energía solar térmica, como también el análisis técnico y económico.



Específicamente, se va a llevar a cabo una evaluación de la radiación solar disponible, como también la demanda de ACS y los factores económicos los sistemas de energía solar térmica para una de las ciudades. Además, se realizará un análisis comparativo entre los resultados de las cuatro zonas seleccionada para de esta manera poder detectar patrones y diferencias considerables en términos de eficiencia energética y de la viabilidad económica.

Con los resultados que se desea obtener, este trabajo brindará la evaluación de la magnitud en la que Ecuador puede aprovechar su situación geográfica y climática en la que puede aprovechar su potencialidad en sus instalaciones de sistemas de energía solar térmica destinadas para la provisión de agua caliente sanitaria.

El trabajo para finalizar también tendrá un alcance de la elaboración de recomendaciones específicas y detalladas que ayuden a una implementación efectiva de diferentes sistemas de energía solar térmica en cada una de las cuatro zonas geográficas estudiadas.

## 2.5. JUSTIFICACIÓN

La justificación de este trabajo radica en la necesidad de comprender el potencial que presenta la energía solar térmica como solución sostenible y además económicamente rentable para la producción de ACS en contextos geográficos y económicos diferentes. Como principales razones que respaldan el estudio de este trabajo tenemos las siguientes:

- **Importancia energética:** La producción de ACS representa una parte importante del consumo energético de los hogares y de las edificaciones residenciales, por lo que es fundamental la búsqueda de soluciones eficientes y sostenibles.
- **Contexto geográfico:** España y Ecuador presentan una gran diversidad geográfica para el análisis de la viabilidad de los sistemas de energía solar térmica para agua caliente sanitaria. Lo que permitirá comprender como estos factores afectan el rendimiento de los sistemas en cada región.
- **Relevancia ambiental:** En el contexto de la creciente conciencia social por el cambio climático la implementación de nuevas tecnologías renovables como lo es la energía solar térmica se destaca como una alternativa clave para la reducción de la dependencia de combustibles fósiles para mitigar el impacto ambiental.
- **Oportunidad de mercado:** Ecuador tiene una gran oportunidad en el mercado de las instalaciones de sistemas solares térmicos debido a su alta radiación solar y sus factores climáticos. Es importante aprovechar esta oportunidad de energía



renovable y reducir la dependencia de fuentes convencionales, disminuir costos y promover la sostenibilidad ambiental, además es algo que abre un mercado prometedor para la industria solar en este país.

## 2.6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para realizar el cálculo del diseño del sistema solar térmico de este proyecto primero se debe considerar los siguientes factores y datos las cuatro ciudades:

- Datos climáticos y geográficos.
- Planos de la edificación de un hotel.
- Demanda caliente sanitaria.
- Perfil de consumo de agua (horarios y patrones).
- Temperatura del agua de entrada.
- Radiación solar
- Disponibilidad de espacio para la instalación de los paneles.
- Edificaciones vecinas que puedan provocar sombras.
- Normativas y regulaciones.
- Presupuesto disponible.

Luego se podrá realizar el cálculo de la demanda como se indica en el Código Técnico de la Edificación (CTE), en litros por día, y de esta manera utilizando el HE-4 se podrá conseguir la contribución solar mínima. Las pérdidas que son producidas por inclinación y orientación, con relación a las edificaciones colindantes van a ser calculadas para cada captador, y con ello se obtendrá el área de captación necesaria y el número de captadores, estudiando la demanda energética.

Una vez se tenga todos los cálculos mencionados anteriormente se analiza el captador ideal utilizando varios catálogos comerciales, procediendo con el cálculo de los elementos necesarios de la instalación.



## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1. SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

El sol produce energía a través de un proceso en su interior llamado fusión nuclear. El núcleo del Sol está conformado principalmente por hidrógeno, el cual es sometido a altas temperaturas y a presiones del exterior, lo que permite que los núcleos de hidrógeno se fusionen formando núcleos de helio. Durante este proceso, una cantidad de masa pequeña es convertida en energía basándose en la ecuación de Einstein,  $E=mc^2$ . E representa la energía, m la masa y c es la velocidad de la luz. Esta cantidad de energía que es liberada es inmensa por la gran cantidad de masa involucrada.

El proceso de fusión nuclear dentro del Sol se produce a temperaturas extremadamente altas, de millones de grados Celsius, lo que generan el ambiente donde los átomos de hidrógeno tengan suficiente energía para poder superar la repulsión eléctrica y fusionarse entre sí. En este proceso toda la energía es liberada en forma de radiación electromagnética, principalmente en forma de luz y calor. Esta energía radiante del Sol es propagada por el espacio en forma de luz solar para llegar a la Tierra, donde es aprovechada en diferentes ámbitos, como para generar electricidad mediante paneles solares o en la generación de calor a través de la energía solar térmica.

### 3.2. GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar es la radiación electromagnética que es emitida directamente del sol y viaja en forma de ondas que contienen energía en forma de fotones. Esta radiación solar llega a la Tierra, ya sea como radiación directa, que es la que llega en línea recta desde el Sol, y la radiación difusa que llega de todas las direcciones luego de haberse dispersado por la atmósfera. La energía solar térmica hace referencia al uso de la





radiación solar para la generación de calor. Este sistema de energía saca provecho del calor generado por el sol para convertirlo en energía térmica, a diferencia de la energía solar fotovoltaica que produce electricidad con la radiación solar que obtiene. En el siglo XXI la energía solar térmica ha presentado un crecimiento de gran magnitud desarrollando nuevas tecnologías con sistemas más eficientes. Estos avances han permitido satisfacer necesidades energéticas de la sociedad con diferentes aplicaciones que puede presentar.

La energía producida por el sol tiene varias aplicaciones en diversos sectores:

- Agua caliente sanitaria
- Climatizar piscinas
- Calefacción en edificaciones residenciales, comerciales e industriales.
- Procesos industriales
- Desalinización del agua
- Generación de energía eléctrica
- Refrigeración solar

### **3.2.1. AGUA CALIENTE SANITARIA MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

La producción de agua caliente sanitaria (ACS) es una necesidad básica para los hogares, edificaciones y diversas otras instalaciones. La producción del agua caliente sanitaria mediante el uso de la energía solar térmica se ha convertido en una opción eficiente y sostenible para poder satisfacer su demanda en la sociedad. Este tipo de energía aprovecha la radiación solar para calentar el agua y poder suministrarla para el uso sanitario en la edificación, basándose en el principio de capturar y convertir la radiación solar que obtiene en calor útil. Los sistemas solares térmicos para ACS constan



principalmente de colectores solar, de un sistema de almacenamiento de agua caliente y de su red de distribución.

Los colectores solares generalmente son de tipo plano o de tubos vacíos y están encargados de la captación de la radiación del sol y así convertirla en calor. El diseño de los colectores solares son de una superficie absorbente que captura la radiación y la pasa a un fluido de transferencia de calor. Los recubrimientos de los captadores cada vez son más selectivos buscando el aislamiento adecuado para de esa manera maximizar la eficiencia energética. Usualmente el tanque de almacenamiento está ubicado dentro de la vivienda o en un espacio protegido para su aislamiento térmico.

El calor producido por los colectores es transferido al agua por medio de un intercambiador de calor. El agua caliente es almacenada dentro de un tanque térmicamente aislado que evitan las pérdidas de calor. El intercambiador permite la transferencia de calor del fluido de transferencia del calor almacenado en el tanque hacia el agua fría de consumo para que de esta manera el ACS sea calentada y consumida dentro de la edificación.

Este sistema puede funcionar además en combinación con otros sistemas de calentamiento de agua, como sistemas de apoyo o calderas, para eso es necesario el uso de controladores y reguladores que permiten el control para un funcionamiento eficiente para una integración adecuada con las demás fuentes de calor.

### **3.2.2. COLECTORES SOLARES, FLUIDOS DE TRABAJO Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO**

En el siglo pasado se empezaron a realizar investigaciones para encontrar un sistema para aprovechar la energía producida por el sol. Por varias décadas se fue creando y mejorando los colectores solares, empezando con prototipos muy básicos utilizando materiales como el cobre, aluminio y vidrio. Cada década se buscaba mejorar la eficiencia de los colectores solares descubriendo mejores recubrimientos para la



captación del calor, que permitan una mejor absorción de la radiación solar y menor pérdida de calor. También se buscó mejorar las placas con el uso de materiales con más alta conductividad térmica y con un aislamiento mejorado.

En la década de los 80 después de varias investigaciones se desarrollaron colectores de tubos en vacío, que consisten en tubos de vidrio al vacío con una placa absorbente en su interior. El vacío que tienen reduce las pérdidas de calor y además mejora la eficiencia del colector. Actualmente se siguen desarrollando investigaciones para mejorar la eficiencia de los colectores solares y su rendimiento, creando nuevos materiales, como los materiales compuestos, nuevos recubrimientos e introduciendo la tecnología de soldadura a láser.

Con los colectores solares se aprovecha de manera cada vez más eficiente la energía solar capturando la radiación que emite el sol para convertirla en calor utilizable, lo cual permite varios usos térmicos como la generación de agua caliente sanitaria o la calefacción de espacios. Esta tecnología está basada en captar la radiación solar para luego transferirla al fluido de trabajo. Los colectores solares tienen un diseño que maximiza la captación de la energía del sol y minimiza las pérdidas del calor. Pero, además, el funcionamiento y la eficiencia de estos colectores pueden verse afectados por diversos factores como la radiación solar disponible en la zona, la orientación e inclinación del colector, las pérdidas térmicas, la temperatura del fluido de trabajo y los diseños y dimensionamiento del sistema. El adecuado dimensionamiento que se le dé al colector en relación con la demanda térmica es fundamental que el funcionamiento eficiente sea garantizado.

Los colectores planos y los de tubos vacíos son los colectores solares más comunes en utilizarse. Los colectores planos presentan una placa absorbente con una cubierta transparente, la placa actúa como una barrera para permitir el paso de la radiación del sol pero que reduce las pérdidas de calor. Por otra parte, el vacío de los tubos de los



colectores de tubos, reduce las pérdidas de calor por conducción y convección, aumentando su eficiencia.

Los colectores solares funcionan básicamente con el principio de captación de la radiación producida por el sol y la transferencia de esta al fluido de trabajo. Los colectores están diseñados para poder captar la mayor cantidad posible de radiación solar incidente, que es la energía solar en forma de radiación electromagnética. Para la absorción el colector solar tiene una superficie absorbente en su interior, la cual convierte en calor la radiación que incide sobre ella.

Posteriormente se realiza la transferencia de calor al fluido de trabajo que circula a través del colector. El calor que es transferido por convección desde la superficie absorbente elevando su temperatura. Dependiendo de la aplicación del colector solar el fluido del trabajo puede variar entre agua, gas o un líquido anticongelante. Este fluido de trabajo caliente empieza a circular mediante el impulso de un sistema de bombeo o por diferencia de presión y gravedad, para transportarlo hacia un sistema de almacenamiento térmico. Ya con el calor transferido al fluido de trabajo se puede dar uso para sistemas de agua caliente sanitaria y para sistemas de calefacción.

El almacenamiento térmico es fundamental dentro de los sistemas de energía solar térmica, ya que principalmente permiten el uso del calor generado por la radiación del sol en periodos en los que no llega la radiación suficiente o en los momentos que la capacidad de generación instantánea del sistema no abastezca la demanda de calor. Al permitir el uso del calor en momento de insuficiente radiación permite una mayor flexibilidad del sistema.

El almacenamiento térmico más común es el de agua caliente que es aislado térmicamente para mantenerlo caliente y disponible para su uso en el momento requerido. También existen otros tipos de sistemas de almacenamiento térmicos como de sales fundidas, de materiales de cambio de fase (PCM) o el almacenamiento en roca.



La elección del tipo de sistema de almacenamiento depende de varios aspectos como s aplicación, la escala, la temperatura de operación, etc.



## 4. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo para realizar un proyecto de una instalación solar térmica en una edificación residencial debe tener una estructura establecida. Es esencial empezar con la descripción detallada de la edificación elegida, incluyendo el tamaño del edificio residencial, número de viviendas y una estimación de la ocupación habitual. Por otro lado, también se debe identificar las necesidades de agua caliente sanitaria en las viviendas.

Después de dejar establecidas las características de la edificación se debe calcular la demanda total de ACS de todo el edificio residencial, lo que implica la demanda diaria de ACS por vivienda o por persona, la estimación de la demanda energética mensual y anual para garantizar que estas necesidades sean cubiertas por el sistema solar térmico.

Posteriormente, es fundamental el análisis de la disponibilidad solar en la zona, lo que consiste en determinar la radiación solar incidente que llega a la superficie que esté disponible para la instalación de los captadores solares. Se debe considerar cada zona climática y evaluar la orientación e inclinación óptima de los captadores que maximice la captación solar a lo largo de todo el año. Según los datos recopilados, se debe seleccionar el tipo de sistema solar térmico más adecuado para la instalación. Se eligen los colectores solares que mejor se adapten a las necesidades del edificio y a la radiación solar disponible. El diseño implica determinar el tamaño requerido del área del colector solar y calcular la cantidad y distribución de los colectores solares en la superficie disponible para maximizar la eficiencia del sistema.

A continuación, se simula el rendimiento esperado del colector solar. La simulación tiene en cuenta la radiación solar, la temperatura ambiente y la eficiencia de los colectores solares seleccionados para estimar la contribución solar anual y mensual del sistema. Analizar posibles pérdidas por orientación, inclinación y sombreado para



optimizar el diseño y garantizar la máxima eficiencia energética del sistema de calefacción solar.

Una vez diseñado y optimizado el sistema, se analizará para asegurar el cumplimiento de la normativa local y los requisitos de eficiencia energética, como los establecidos en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) en España. Además, se realiza un análisis económico para evaluar el retorno de la inversión y los beneficios económicos esperados de la instalación de tecnología solar térmica.

Finalmente, se continua implementando sistemas de calefacción solar en edificios residenciales y se realiza un monitoreo continuo para verificar que los sistemas estén funcionando de manera eficiente y sostenible en el tiempo. Este enfoque garantiza que el sistema de calefacción solar térmica no sólo satisfaga eficazmente las necesidades energéticas del edificio, sino que también contribuya significativamente a reducir el impacto medioambiental y los costes energéticos a largo plazo.



## 5. NORMATIVA

Se ha tomado como referencia la sección HE-4 del Código Técnico de la Edificación (CTE) del BOE de 2013. Esta normativa se aplica a edificios nuevos o reformas integrales con una demanda de agua caliente sanitaria superior a 50 litros diarios, así como a ampliaciones en edificios existentes con una demanda inicial superior a 5.000 litros diarios de ACS y un incremento de más del 50% en esa demanda. También incluye climatizaciones de piscinas cubiertas nuevas o renovaciones de instalaciones térmicas en piscinas cubiertas existentes, y conversiones de piscinas descubiertas a cubiertas.

Además, se toma como fuente la Norma-Solar-Térmica-CEC, donde podemos obtener los datos climatológicos de las dos ciudades de Ecuador y la NEC-HS-ER. Estas normativas ecuatorianas tienen como una de sus principales referencias la normativa CTE-HE4.

Como soporte a los cálculos, tablas y diagramas se va a utilizar el Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica NB2, de Argentina.



## 6. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

### 6.1. EMPLAZAMIENTOS

En este proyecto comparativo se utilizará las características de una misma edificación ubicados en zonas residenciales de cuatro diferentes ciudades. Las coordenadas geográficas son las siguientes:

España:



Figura 1. Localización de España (Google Earth, 2024)

- La Coruña:
  - Latitud: 43°20'28"N
  - Longitud: 8°23'50"W
  - Altitud: 60 msnm

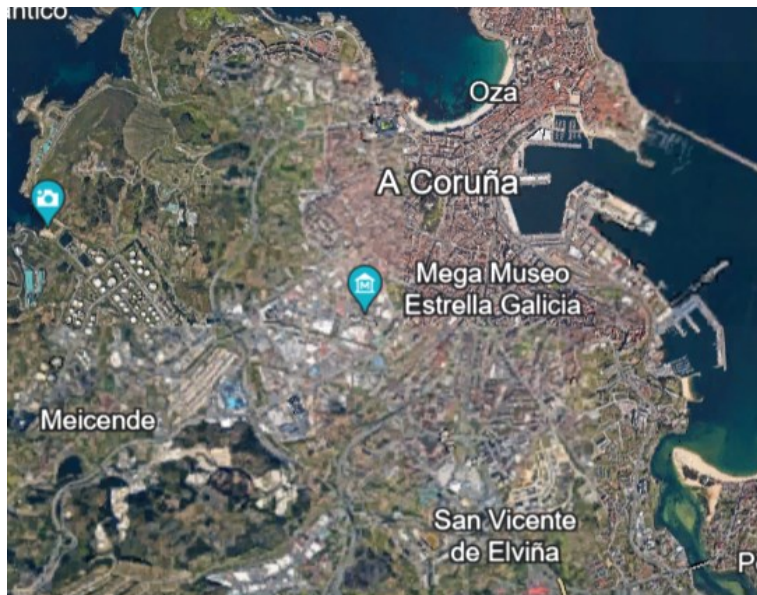


Figura 2. Localización de La Coruña (Google Earth, 2024)



Figura 3.. Localización Lote de Edificación en La Coruña (Google Earth, 2024)

- Sevilla, España:
  - Latitud:  $37^{\circ}23'45''\text{N}$
  - Longitud:  $6^{\circ}01'58''\text{W}$
  - Altitud: 10 msnm



Figura 4. Localización de Sevilla (Google Earth, 2024)

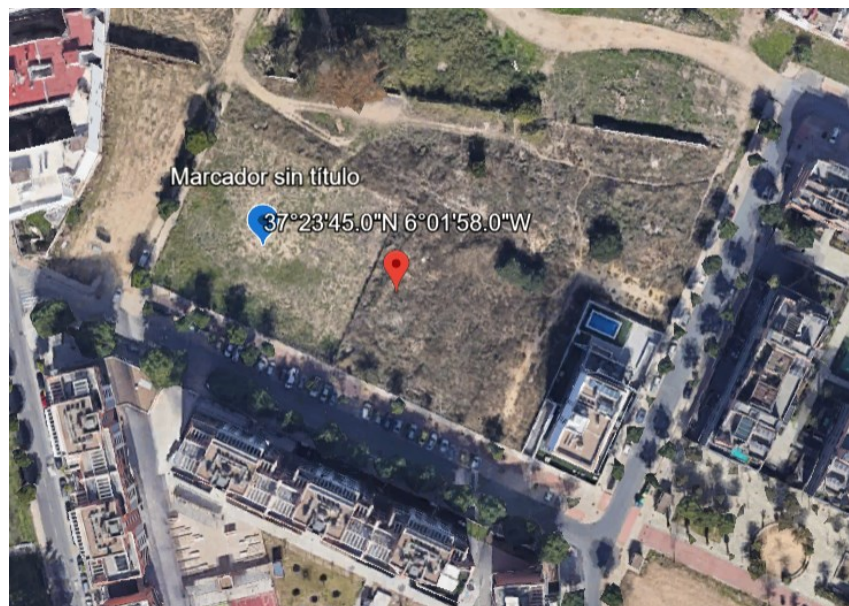


Figura 5. Localización de Lote de Edificación en Sevilla (Google Earth, 2024)

Ecuador:



Figura 6. Localización de Ecuador (Google Earth, 2024)

- Quito, Ecuador:
  - Latitud:  $0^{\circ}12'34''S$
  - Longitud:  $78^{\circ}26'32''W$
  - Altitud: 2400 msnm



Figura 7. Localización de Quito (Google Earth, 2024)



Figura 8. Localización de Lote de Edificación en Quito (Google Earth, 2024)

- Guayaquil, Ecuador:
  - Latitud: 2°11'14"S
  - Longitud: 79°57'57"W
  - Altitud: 10 msnm



Figura 9. Localización de Guayaquil (Google Earth, 2024)



Figura 10. Localización de Lote de Edificación en Guayaquil (Google Earth, 2024)

## 6.2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

La edificación está compuesta por seis plantas destinadas a departamentos y una terraza, que suman de 21,90 metros de altura. La primera de estas seis plantas incluye un cuarto de guardia equipado con una cama individual, además de tres departamentos, cada uno con capacidad para dos camas dobles. Desde la segunda hasta la sexta planta, se distribuyen tres departamentos por piso, cada uno con capacidad para dos camas dobles.

Es decir, la edificación está diseñada con 18 departamentos con capacidad de cuatro personas cada uno, además de un cuarto de guardianía para una persona. Por otro lado, la terraza del edificio posee un acceso a un área social y a un área libre de aproximadamente 80,82 m<sup>2</sup>, que va a ser aprovechada para la colocación de los paneles solares. Todo esto nos brinda una edificación con una capacidad total de 73 personas.

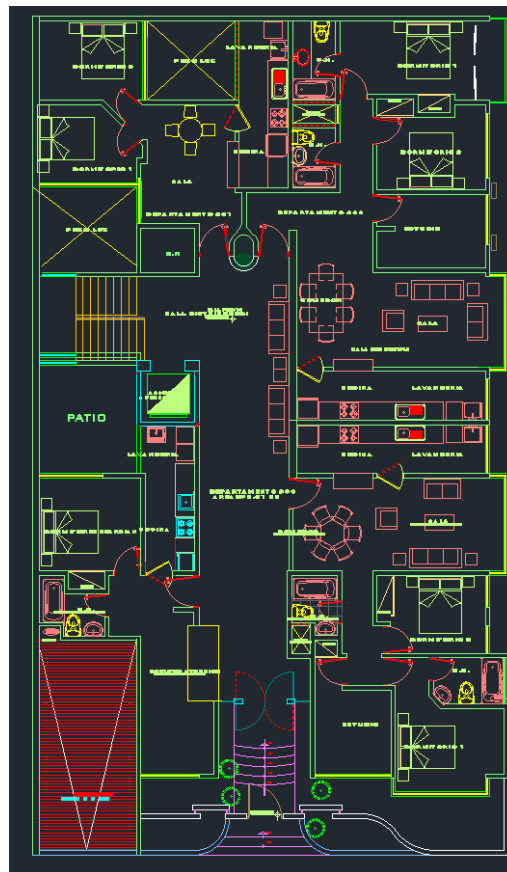


Figura 11. Vista en planta de Planta baja (Elaboración propia)

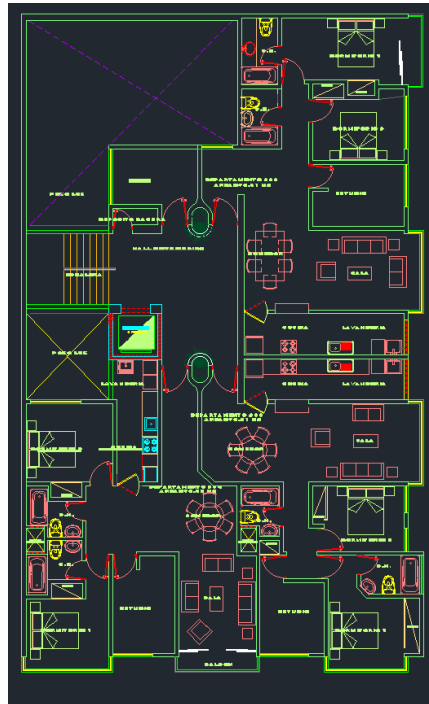


Figura 12. Vista en planta desde el segundo al sexto piso (Elaboración propia)

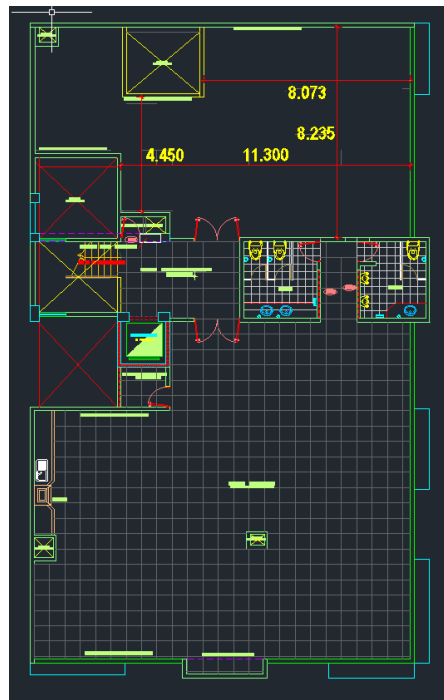


Figura 13. Vista en Planta de la Terraza (Elaboración propia)



## 7. CÁLCULOS

### 7.1. DEMANDA MENSUAL DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Para calcular la demanda mensual de agua caliente sanitaria (ACS), se utiliza la tabla del Documento Básico HE Ahorro de Energía (HE 4-4) del anexo 1, la cual establece un consumo diario de 22 litros por persona a 60 grados centígrados para viviendas unifamiliares.

Esto es aplicable al edificio residencial que consta de varias viviendas unifamiliares, con una capacidad total para 73 personas. Multiplicando este valor por el número total de personas, podemos estimar la demanda mensual de ACS

$$\text{Demanda diaria de ACS por vivienda} = 30 \text{ L/persona} \times 73 \text{ pers.} = 2190 \text{ L/día}$$

Para obtener la demanda mensual y anual, se multiplica la demanda diaria por los días de cada mes y se suma los resultados mensuales:

MES	Días/mes	Demanda ACS (litros)	
		Diaria	Mensual
		litros/día	litros/mes
Enero	31	2190	67890
Febrero	28	2190	61320
Marzo	31	2190	67890
Abril	30	2190	65700
Mayo	31	2190	67890
Junio	30	2190	65700
Julio	31	2190	67890
Agosto	31	2190	67890
Septiembre	30	2190	65700
Octubre	31	2190	67890
Noviembre	30	2190	65700
Diciembre	31	2190	67890
		<b>Total anual</b>	<b>799350</b>
<b>Tª ACS</b>	<b>60 °C</b>		litros/año

Tabla 1. Demanda de Agua Caliente Sanitaria de la Edificación (Elaboración propia)

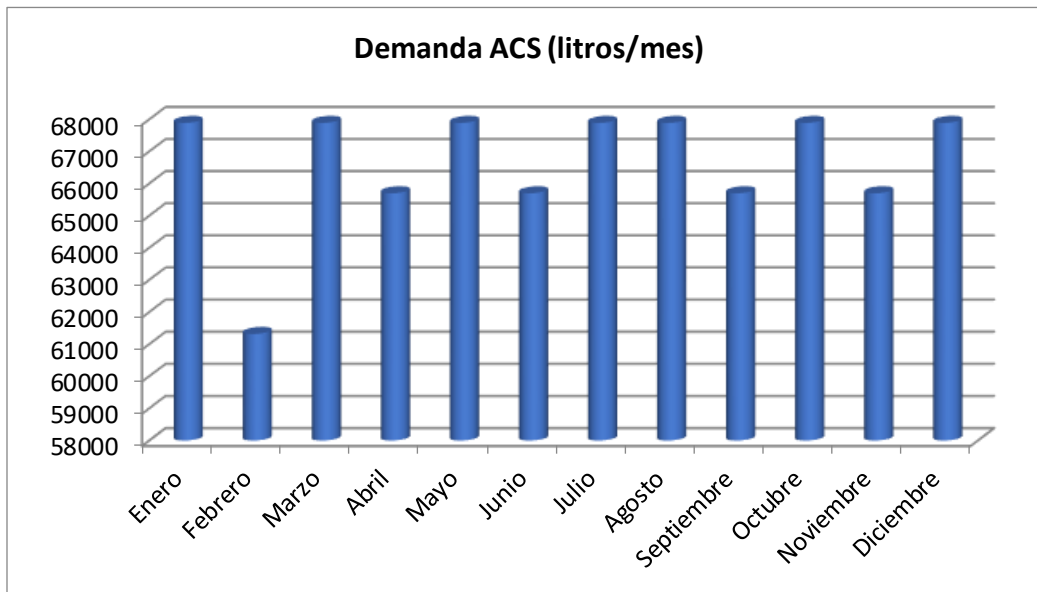


Figura 14. Gráfico de Demanda de Agua Caliente Sanitaria de la Edificación (Elaboración propia)

Estos cálculos son esenciales para dimensionar adecuadamente las instalaciones de agua caliente sanitaria, asegurando que el sistema sea capaz de satisfacer las necesidades de todas las unidades familiares en el edificio, así como optimizar la eficiencia energética del conjunto residencial.

## 7.2. CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA

Para calcular la contribución solar mínima, será necesario determinar el consumo de litros de ACS diarios, para esto, con base en los cálculos obtenidos de la demanda mensual y anual de ACS, se dividirá esta última entre los 365 días del año obteniendo así la cantidad de litros de ACS diaria requerida, como se verá a continuación.

$$Demanda ACS diaria = 799350 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * 1 \frac{\text{año}}{365 \text{ días}} = 2190 \frac{\text{litros}}{\text{días}}$$

Será necesario además conocer el tipo de zona climática en la que se encuentra la edificación. Para España esta información se puede encontrar en la figura 3.1 del documento básico HE 4-6. Se observa que La Coruña pertenece a la zona climática I y Sevilla a la zona climática V.

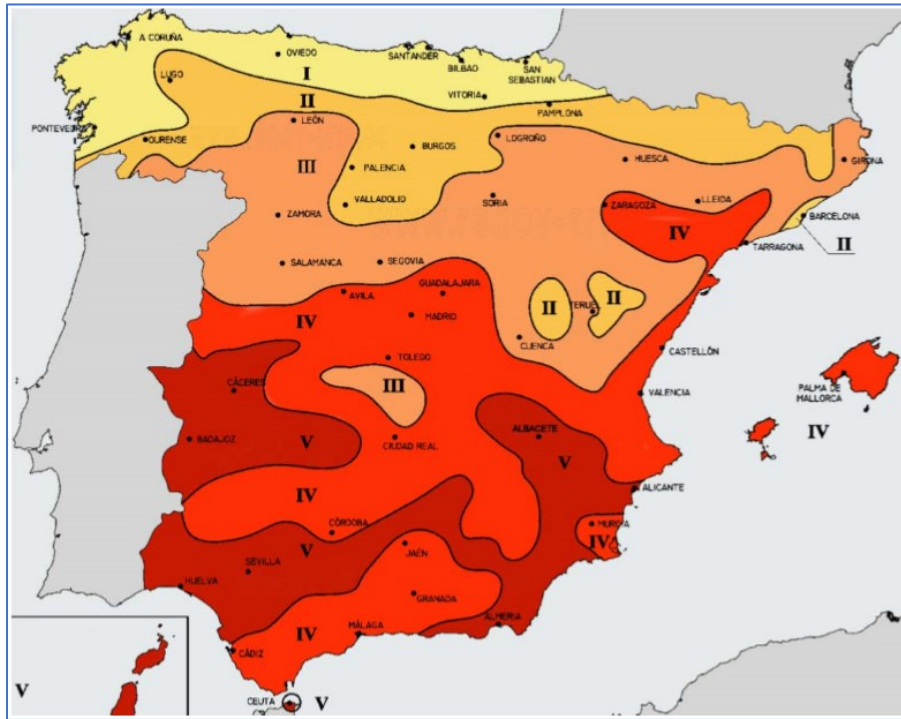


Figura 145. Zonas climáticas de España (Documento Básico HE Ahorro de Energía, HE 4-6).

Estas zonas se encuentran definidas de acuerdo con la Radiación Solar Global media diaria anual sobre la superficie horizontal (H).

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Figura 156. Contribución Solar mínima anual para ACS (HE-4 CTE, 2013)

Para obtener los datos de las dos ciudades de Ecuador, se utiliza como fuente la Norma Solar Térmica – CEC.

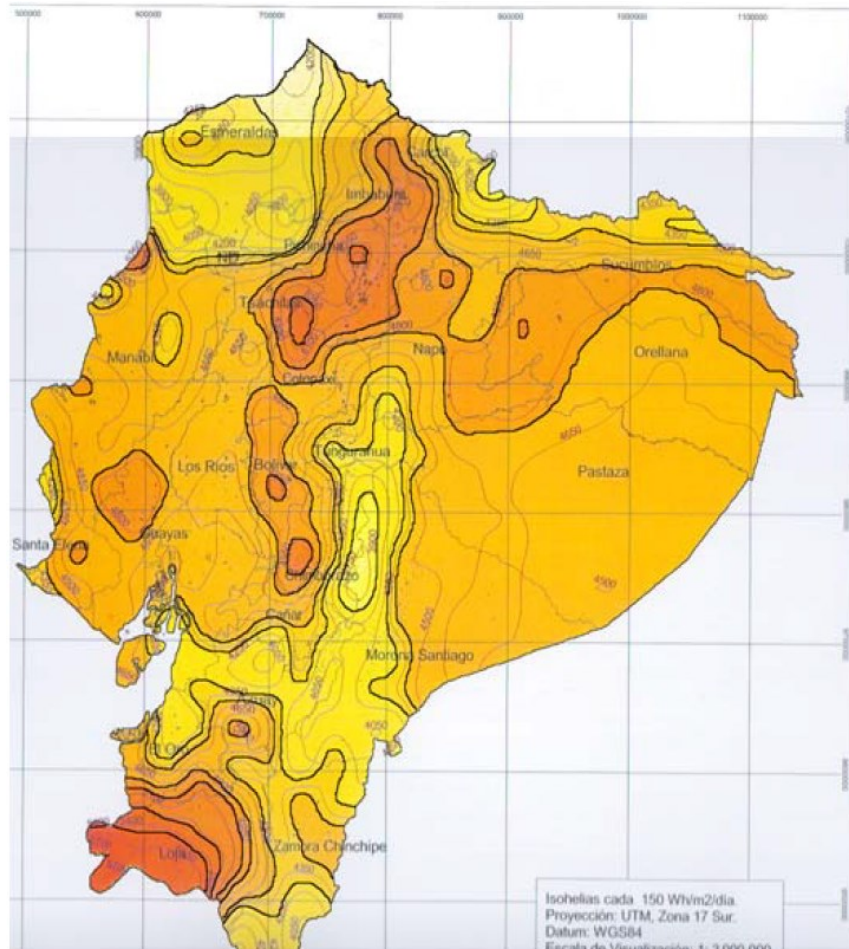


Figura 167. Zonas climáticas de Ecuador (Norma Solar Térmica - CEC)

Zonas	Rango de Radiación Solar (Wh/m <sup>2</sup> /día)
1	3500 - 4050
2	4050 - 4350
3	4350 - 4800
4	4800 - 5250
5	5250 - 5700

Figura 178. Contribución Solar mínima anual para ACS (Norma Solar Térmica, CEC)

En el rango de radiación solar de Ecuador, Quito se encuentra dentro de la zona 4 y a Guayaquil dentro de la zona 3.

RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL EN QUITO Y GUAYAQUIL kWh/m <sup>2</sup> .día			
Sitio	Quito centro	Quito norte	Guayaquil
Latitud	0,22 S	0,13 S	2,2 S
Longitud	78,48 W	78,48 W	79,88 W
Elevación msnm	2850	2812	6
Años lectura	25	4	9
Ene	4,48	4,94	4
Feb	4,6	4,64	4,17
Mar	4,68	4,78	4,67
Abr	4,35	4,53	4,58
May	4,55	4,83	4,56
Jun	4,28	4,69	3,86
Jul	5,22	5,53	4,17
Ago	5,1	5,47	4,5
Sep	5,11	4,89	4,67
Oct	4,68	5,25	4,56
Nov	4,39	5,14	4,31
Dic	4,69	5,14	4,44
<b>Promedio</b>	<b>4,68</b>	<b>4,99</b>	<b>4,37</b>

Figura19. Radiación solar global, promedio mensual Quito y Guayaquil I (Norma Solar Térmica - CEC)

La Norma Solar Térmica – CEC también nos detalla a mayor profundidad los datos de radiación solar global promedio mensual y anual de las dos ciudades más importantes de Ecuador. El cuadro nos indica que el norte de Quito (zona más cercana a la ubicación elegida para la edificación) tiene un promedio anual de 4,99 kWh/m<sup>2</sup> y Guayaquil un promedio anual de 4,37 kWh/m<sup>2</sup>. Con los rangos españoles, Quito estaría ubicada dentro de la zona climática IV y Guayaquil en la zona III.

PAÍS	CIUDAD	ZONA CLIMÁTICA
ESPAÑA	LA CORUÑA	I
ESPAÑA	SEVILLA	V
ECUADOR	QUITO	IV
ECUADOR	GUAYAQUIL	III

Tabla 2. Zonas Climáticas de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia)

Una vez obtenida la demanda diaria de ACS y conocida la zona climática, se procede a determinar la contribución solar mínima anual. En este diseño se ha establecido que la fuente energética de apoyo sea una caldera, por lo que se considerará un caso general, haciendo uso del documento básico HE 4-2, en su tabla 2.1. Como ya se calculó anteriormente la demanda diaria total de ACS del edificio residencial, que ha resultado

ser de  $1606 \frac{\text{litros}}{\text{días}}$ , la contribución solar mínima en porcentaje, la obtenemos dentro de la primera fila en el rango de 50 – 5.000 (l/d).

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Figura 20. Contribución solar mínima. Caso general (Documento Básico HE Ahorro de Energía, HE 4-2)

De acuerdo con los datos climáticos de cada ciudad en su zona, obtenemos los porcentajes de contribución solar mínima, que son las siguientes:

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA		
PAÍS	CIUDAD	%
ESPAÑA	LA CORUÑA	30%
ESPAÑA	SEVILLA	70%
ECUADOR	QUITO	60%
ECUADOR	GUAYAQUIL	50%

Tabla 3. Contribución Solar Mínima de las 4 ciudades (Elaboración propia)

### 7.3. IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL

Un valor indispensable para el dimensionamiento de un sistema de energía solar térmica para proveer agua caliente sanitaria es la irradiación global horizontal que presenta cada ciudad en los doce meses. Para La Coruña y Sevilla se saca los valores en las tablas de la IDAE obtenidos de CENSOLAR en el anexo 2. Para Ecuador se encuentran en la tabla C7 de la Norma Solar Térmica, donde los valores los vemos en el anexo 3.

IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL				
MES	LA CORUÑA	SEVILLA	QUITO	GUAYAQUIL
ENERO	5,4	7,3	17,3	14
FEBRERO	8	10,9	17,5	15,1
MARZO	11,4	14,4	17,9	16,7
ABRIL	12,4	19,2	17,4	15,6
MAYO	15,4	22,4	17,1	16,2
JUNIO	16,2	24,3	17,8	15,1
JULIO	17,4	24,9	19,3	15,6
AGOSTO	15,3	23	19,6	16,7
SEPTIEMBRE	13,9	17,9	20	18,3
OCTUBRE	10,9	12,3	18,5	16,2
NOVIEMBRE	6,4	8,8	18,3	17,8
DICIEMBRE	5,1	6,9	17,6	17,2
PROMEDIO	11,5	16,0	18,2	16,2

Tabla 4. Irradiación global horizontal (Elaboración propia).

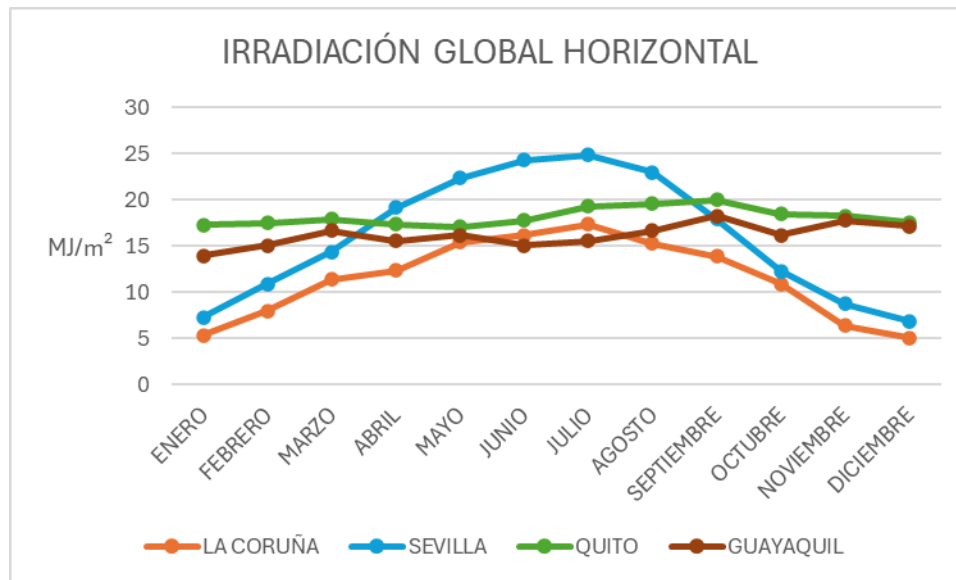


Figura 181. Irradiación global horizontal (Elaboración propia).

En los valores que obtenemos del cuadro y en la gráfica podemos observar la tendencia marcada de una mayor irradiación en las dos ciudades españolas, sobre todo en Sevilla, y unos valores lineales en las dos ciudades de Ecuador,

## 7.4. DEMANDA ENERGÉTICA (MJ)

Para el cálculo de la demanda energética es necesario conocer los valores de la temperatura media del agua de la red general. Para España estos valores se encuentran en las tablas de instalaciones de energía solar térmica p.4, anexo 4, y para Ecuador se encuentran estos valores en las tablas de la Norma-Solar-Térmica-CEC.

TEMPERATURA MEDIA DE AGUA DE RED GENERAL (°C)				
MES	LA CORUÑA	SEVILLA	QUITO	GUAYAQUIL
ENERO	10	11	11,6	18,7
FEBRERO	10	11	11,9	18,7
MARZO	11	13	11,8	19,1
ABRIL	12	14	11,8	19,1
MAYO	13	16	11,9	18,4
JUNIO	14	19	12,1	17,2
JULIO	16	21	11,8	16,4
AGOSTO	16	21	12,2	16,3
SEPTIEMBRE	15	20	11,8	16,8
OCTUBRE	14	16	11,6	16,9
NOVIEMBRE	12	13	11,5	17,4
DICIEMBRE	11	11	11,5	18,4
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,8</b>	<b>15,5</b>	<b>11,8</b>	<b>17,8</b>

Tabla 5. Temperatura media de agua de red general (Tablas IDAE)

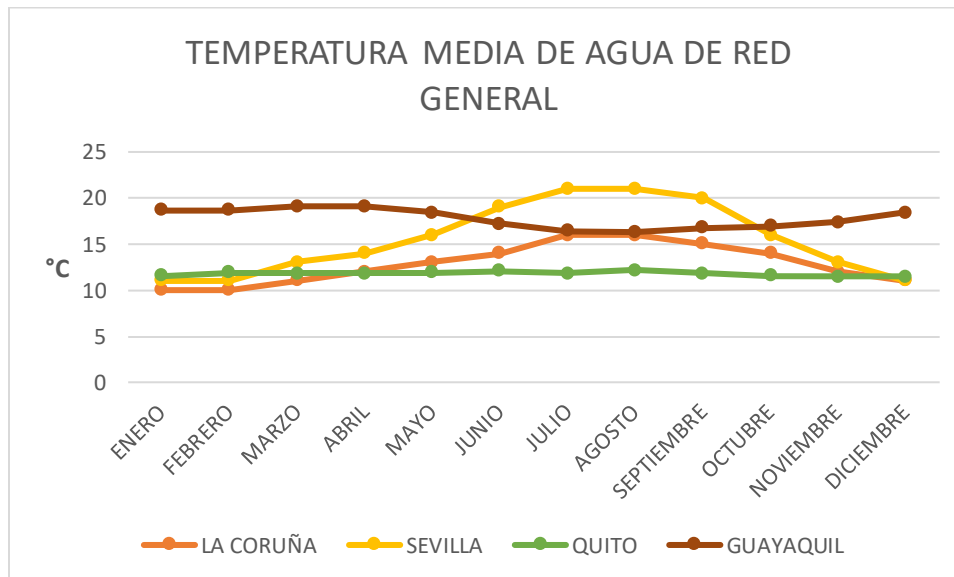


Figura 22. Temperatura media de agua de red general (Tablas IDAE).





Una vez obtenidos estos valores, se procede a calcular el salto térmico, con la siguiente fórmula:

$$\text{Salto térmico} = T_m - T_{red}$$

Obtenidos estos valores, se calcula la demanda energética con la siguiente expresión:

$$\text{Energía} = \text{Demanda ACS mensual} * \text{Salto térmico} * \frac{4,178}{1000}$$

Se muestran los resultados obtenidos para todos los meses de cada ciudad:

LA CORUÑA			
MES	Demanda energética (MJ)		
	T red °C	Salto termico	Energía (MJ/mes)
Enero	10	50	14182,22
Febrero	10	50	12809,75
Marzo	11	49	13898,58
Abril	12	48	13175,74
Mayo	13	47	13331,29
Junio	14	46	12626,75
Julio	16	44	12480,35
Agosto	16	44	12480,35
Septiembre	15	45	12352,26
Octubre	14	46	13047,64
Noviembre	12	48	13175,74
Diciembre	11	49	13898,58
Tª ACS = 60 °C			<b>157459,25</b> <b>MJ/año</b>

Tabla 6. Demanda energética (MJ) de La Coruña (Elaboración propia).

SEVILLA			
MES	Demanda energética (MJ)		
	T red °C	Salto termico	Energía (MJ/mes)
Enero	11	49	13898,58
Febrero	11	49	12553,55
Marzo	13	47	13331,29
Abril	14	46	12626,75
Mayo	16	44	12480,35
Junio	19	41	11254,28
Julio	21	39	11062,13
Agosto	21	39	11062,13
Septiembre	20	40	10979,78
Octubre	16	44	12480,35
Noviembre	13	47	12901,25
Diciembre	11	49	13898,58
Tª ACS = 60 °C			<b>148529,03</b> MJ/año

Tabla 7. Demanda energética (MJ) de Sevilla (Elaboración propia)

QUITO			
MES	Demanda energética (MJ)		
	T red °C	Salto termico	Energía (MJ/mes)
Enero	11,6	48,4	13728,39
Febrero	11,9	48,1	12322,98
Marzo	11,8	48,2	13671,66
Abril	11,8	48,2	13230,64
Mayo	11,9	48,1	13643,30
Junio	12,1	47,9	13148,29
Julio	11,8	48,2	13671,66
Agosto	12,2	47,8	13558,20
Septiembre	11,8	48,2	13230,64
Octubre	11,6	48,4	13728,39
Noviembre	11,5	48,5	13312,99
Diciembre	11,5	48,5	13756,75
Tª ACS = 60 °C			<b>161003,89</b> MJ/año

Tabla 8. Demanda energética (MJ) de Quito (Elaboración propia).

GUAYAQUIL			
MES	Demanda energética (MJ)		
	T red °C	Salto termico	Energía (MJ/mes)
Enero	18,7	41,3	11714,51
Febrero	18,7	41,3	10580,85
Marzo	19,1	40,9	11601,06
Abril	19,1	40,9	11226,83
Mayo	18,4	41,6	11799,61
Junio	17,2	42,8	11748,37
Julio	16,4	43,6	12366,90
Agosto	16,3	43,7	12395,26
Septiembre	16,8	43,2	11858,17
Octubre	16,9	43,1	12225,07
Noviembre	17,4	42,6	11693,47
Diciembre	18,4	41,6	11799,61
T <sup>a</sup> ACS = 60 °C			<b>141009,71</b> MJ/año

Tabla 9. Demanda energética (MJ) de Guayaquil (Elaboración propia).

## 7.5. PERDIDAS POR INCLINACIÓN, ORIENTACIÓN Y SOMBRAS DE COLECTORES

El Documento Básico HE Ahorro de Energía (HE 4-2) nos indica lo siguiente “La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla 2.4.”

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 10. Pérdidas límites (CTE)

La edificación de este trabajo se trata de un caso general donde las pérdidas máximas por este concepto de inclinación y orientación son del 10 %, y de 10% por sombras, pero la suma total de ambas pérdidas no debe exceder al 15%.

### 7.5.1. OBTENCIÓN DEL RANGO ADMISIBLE DE LOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN $\beta$ Y EL ÁNGULO DE ACIMUT $\alpha$ EN LAS CIUDADES DEL HEMISFERIOS NORTE

El CTE en España piden determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo con las pérdidas máximas admisibles, las cuales se calcularán en función del ángulo de inclinación de los captadores respecto a la superficie, ( $\beta$ ) y al ángulo de acimut ( $\alpha$ ) que se define como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (Tous,2009). Para las instalaciones en España en ángulo  $\alpha$  siempre va a estar referenciado hacia el Sur.

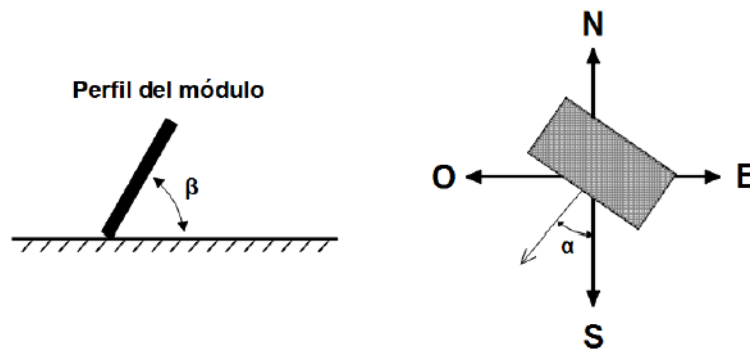


Figura 193. Orientación e inclinación de los módulos (CTE, HE4, 2013)

- Hemisferio Norte:
  - La Coruña 80°



Figura 204. Orientación de la edificación en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla 113°



Figura 215. Orientación de la edificación en Sevilla (Elaboración propia)

Luego de obtener el ángulo de orientación hacia el sur de los terrenos para las dos ciudades, debemos determinar el ángulo de acimut del captador. Con el acimut podemos obtener los límites de inclinación aceptables calculándolo con el diagrama válido para una latitud ( $\phi$ ) de  $41^\circ$  (Barcelona) de la figura 3.3 del documento básico HE Ahorro de Energía, HE 4-20.

- La Coruña  $\alpha = -10^\circ$

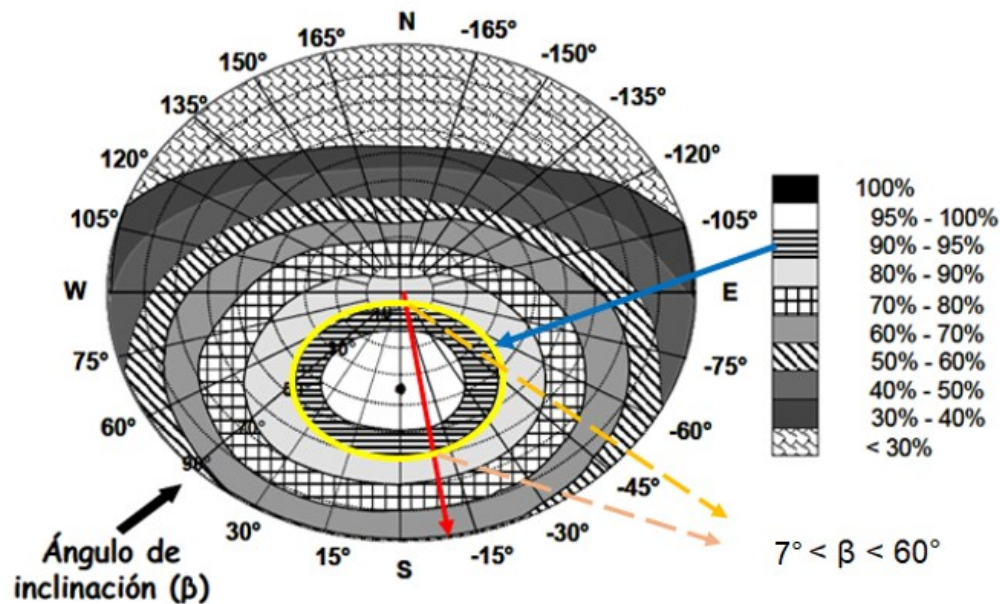


Figura 226. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla  $\alpha=23^\circ$

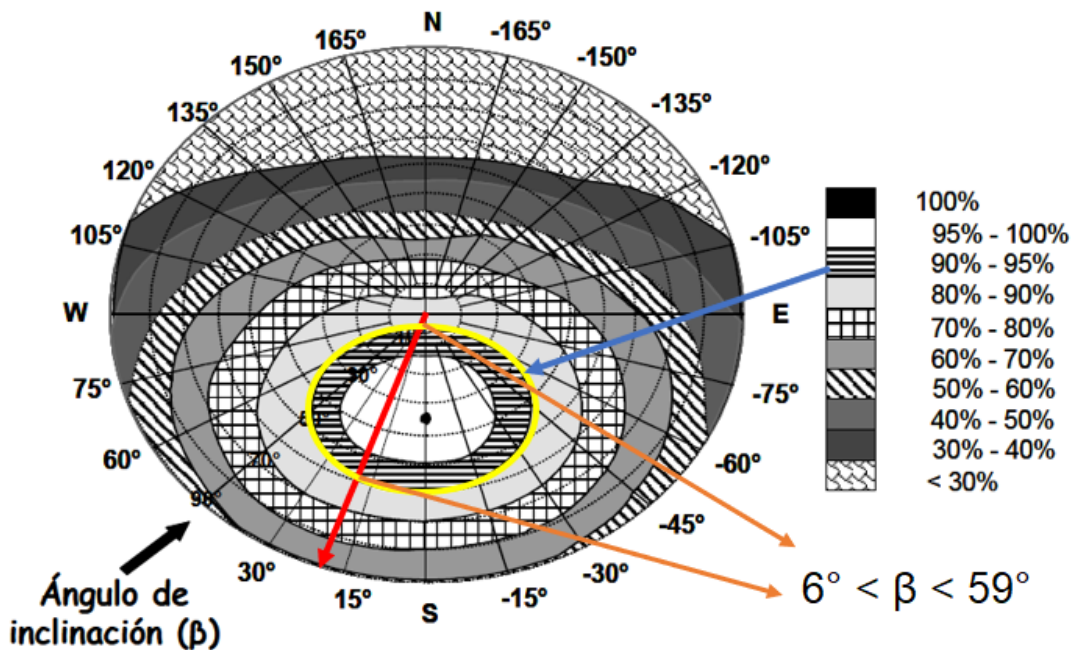


Figura 237. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en Sevilla (Elaboración propia)

En vista de que ambas curvas se interceptan, se pueden obtener los valores para latitud ( $\varphi$ ) =  $41^\circ$  y, (como lo requiere el Documento básico HE) se corrigen en función de la diferencia entre la latitud del lugar donde se encuentra el edificio y la de  $41^\circ$ , de acuerdo con las siguientes fórmulas:

- La Coruña

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \beta_{\text{inclinación máxima}} (\varphi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud La Coruña})$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = 60^\circ - (41^\circ - 43^\circ 20') = 60^\circ - (-2^\circ 20')$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \mathbf{62^\circ 20'}$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \beta_{\text{inclinación mínima}} (\varphi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud Oviedo})$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = 7^\circ - (41^\circ - 43^\circ 20') = 7^\circ - (-2^\circ 20')$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \mathbf{9^\circ 20'}$$

- Sevilla

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \beta_{\text{inclinación máxima}} (\varphi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud Sevilla})$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = 59^\circ - (41^\circ - 37^\circ 23') = 59^\circ - (3^\circ 37')$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = 55^\circ 23'$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \beta_{\text{inclinación mínima}} (\varphi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud Sevilla})$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = 6^\circ - (41^\circ - 37^\circ 23') = 6^\circ - (3^\circ 37')$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = 2^\circ 23'$$

### 7.5.2. OBTENCIÓN DEL RANGO ADMISIBLE DE LOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN $\beta$ Y EL ÁNGULO DE ACIMUT $\alpha$ EN LAS CIUDADES DEL HEMISFERIOS NORTE

La NEC en Ecuador también pide determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo con las pérdidas máximas admisibles, y se calcularán de la misma manera en función del ángulo de inclinación de los captadores respecto a la superficie, ( $\beta$ ) y al ángulo de acimut ( $\alpha$ ). En Ecuador el ángulo  $\alpha$  siempre va a estar referenciado hacia línea ecuatorial. En los dos casos de este trabajo la orientación de los colectores solares será hacia el norte.

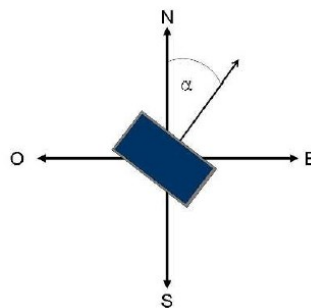


Figura 24. Orientación de los módulos del hemisferio Sur (Manual de generación distribuida solar fotovoltaica, 2019)

Elegimos los ángulos de orientación hacia el norte, de acuerdo con las orientaciones de los terrenos de las edificaciones para las dos ciudades de Ecuador:

Hemisferio Sur:

- Quito 100°

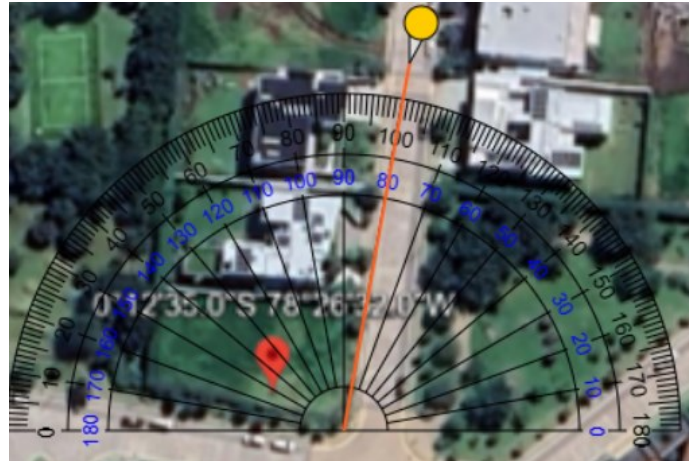


Figura 25. Orientación de la edificación en Quito (Elaboración propia)

- Guayaquil 91°

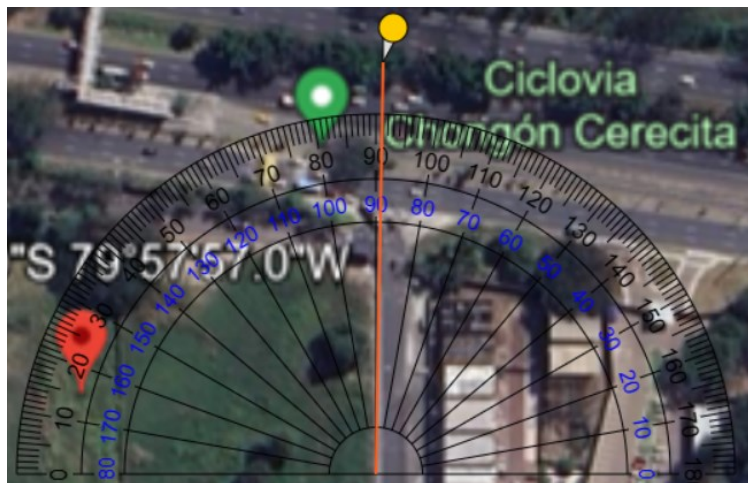


Figura 26. Orientación de la edificación en Guayaquil (Elaboración propia)

En el hemisferio sur se utilizará el diagrama de la figura 33 del Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica NB2, de Argentina, que es válido para una latitud de 34° (Buenos Aires). Con el ángulo de orientación hacia el norte obtenido de los terrenos se



calcula el acimut que servirá para considerar los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut, estos puntos son los que nos proporcionan los valores del ángulo de inclinación ( $\beta$ ) máxima y mínima, como se observa en los dos diagramas mencionados.

- Quito  $\alpha=10^\circ$

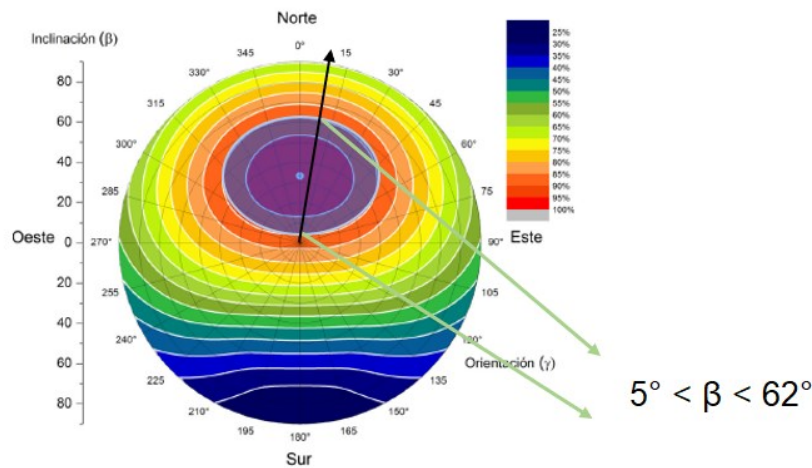


Figura 27. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en Quito (Elaboración propia)

- Guayaquil  $\alpha=1^\circ$

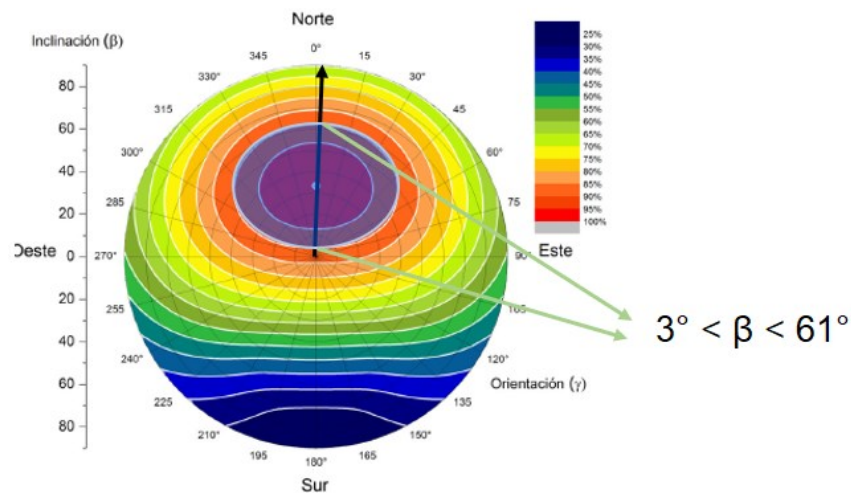


Figura 28. Cálculo del rango del porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación en Guayaquil (Elaboración propia)

En vista de que ambas curvas se interceptan, se pueden obtener los valores para latitud ( $\varphi$ ) =  $34^\circ$  y, (como lo requiere el Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica



NB2) se corrigen en función de la diferencia entre la latitud del lugar donde se encuentra el edificio y la de 34°, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

- Quito

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \beta_{\text{inclinación máxima}} (\varphi = 34^\circ) - (34^\circ - \text{latitud Quito})$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = 62^\circ - (34^\circ - 0^\circ 12') = 62^\circ - (33^\circ 48')$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \mathbf{28^\circ 12'}$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \beta_{\text{inclinación mínima}} (\varphi = 34^\circ) - (34^\circ - \text{latitud Quito})$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = 5^\circ - (34^\circ - 0^\circ 12') = 5^\circ - (33^\circ 48')$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \mathbf{-28^\circ - 48 = 0^\circ}$$

- Guayaquil

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \beta_{\text{inclinación máxima}} (\varphi = 34^\circ) - (34^\circ - \text{latitud Guayaquil})$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = 61^\circ - (34^\circ - 2^\circ 11') = 61^\circ - (31^\circ 49')$$

$$\beta_{\text{inclinación máxima}} = \mathbf{29^\circ 11'}$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \beta_{\text{inclinación mínima}} (\varphi = 34^\circ) - (34^\circ - \text{latitud Guayaquil})$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = 3^\circ - (34^\circ - 2^\circ 11') = 3^\circ - (31^\circ 49')$$

$$\beta_{\text{inclinación mínima}} = \mathbf{-28^\circ - 49 = 0^\circ}$$



De esta manera hemos obtenido los rangos admisibles de los ángulos  $\beta$  para cada una de las ciudades estudiadas.

CIUDAD	$\beta_{max}$	$\beta_{min}$
La Coruña	62°22'	9°22'
Sevilla	55°23'	2°23'
Quito	28°12'	0°
Guayaquil	29°11'	0°

Tabla 11. Rangos admisibles de los ángulos de inclinación  $\beta$  para cada una de las cuatro ciudades (Elaboración propia)

Obtenido el rango de los ángulos de inclinación mínimo y máximo para cada ciudad, se fija los ángulos de la siguiente manera para el cálculo de las pérdidas por sombra:

CIUDAD	$\beta$	$\alpha$
La Coruña	35°	-10°
Sevilla	35°	23°
Quito	5°	100°
Guayaquil	5°	91°

Tabla 12. Ángulos de orientación e inclinación elegidos para cada una de las cuatro ciudades (Elaboración propia)

### 7.5.3. RESULTADOS DE LAS PERDIDAS POR INCLINACIÓN CON LOS ÁNGULO DE INCLINACIÓN $\beta$ ÓPTIMOS.

Luego de todos los cálculos anteriores se han determinado los ángulos de inclinación óptimo que maximizan la eficiencia de los paneles solares para generar agua caliente sanitaria en la edificación para cada ciudad. Estos ángulos han sido calculados para mejorar la captación de energía solar en función de las características geográficas y climáticas de cada lugar.

- **La Coruña:** El ángulo óptimo de inclinación para los paneles solares en La Coruña es **35°**. Este ángulo maximiza la irradiación solar durante el año, teniendo en cuenta la latitud y las variaciones estacionales en la región. Con este ángulo definido podemos ver en el diagrama que existe un 5% de pérdida por inclinación.

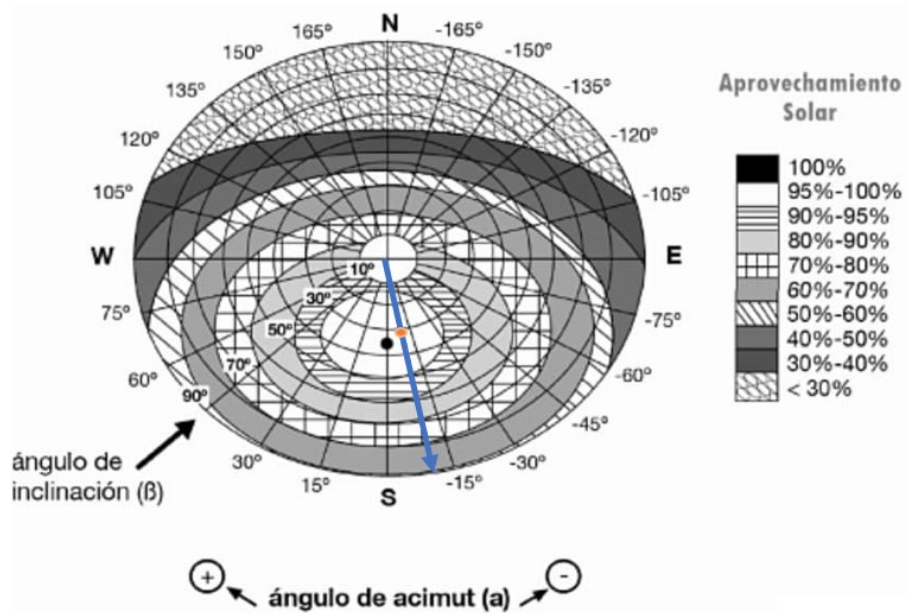


Figura 29. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en La Coruña (Elaboración propia).

- **Sevilla:** En Sevilla, el ángulo de inclinación óptimo es **35°**. Esta inclinación ha sido ajustada para mejorar la captación solar a lo largo del año, adaptándose a la latitud más alta en comparación con otras ciudades. De igual manera, utilizando una inclinación de 23°, obtenemos perdidas del 5%.

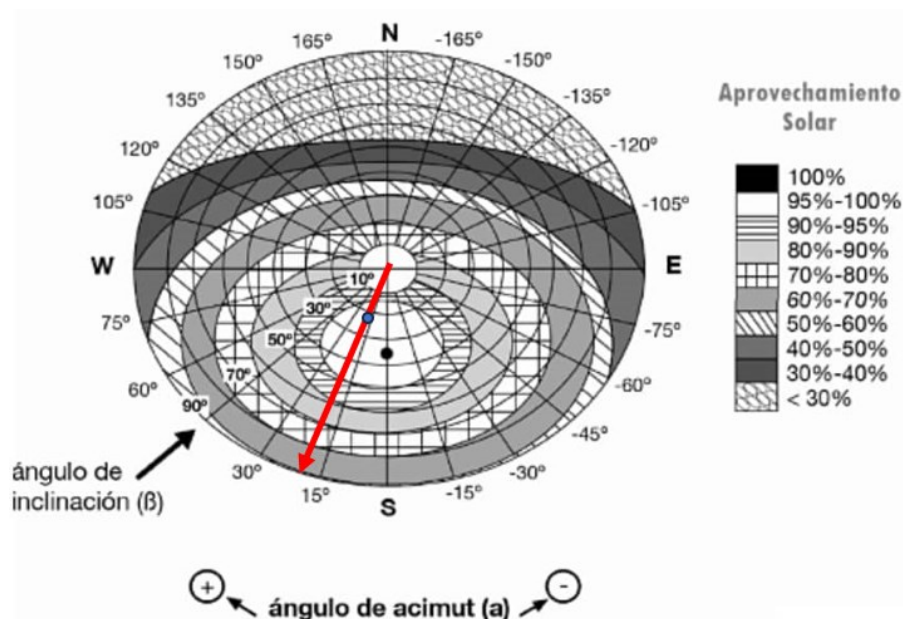


Figura 30. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en Sevilla (Elaboración propia).

- **Quito:** Dada su ubicación cercana al ecuador, Quito requiere un ángulo de inclinación de  $5^\circ$ . Esta configuración es ideal para no afectar la eficiencia energética en los paneles solares, entrando dentro del rango permisible de pérdida del 10%.

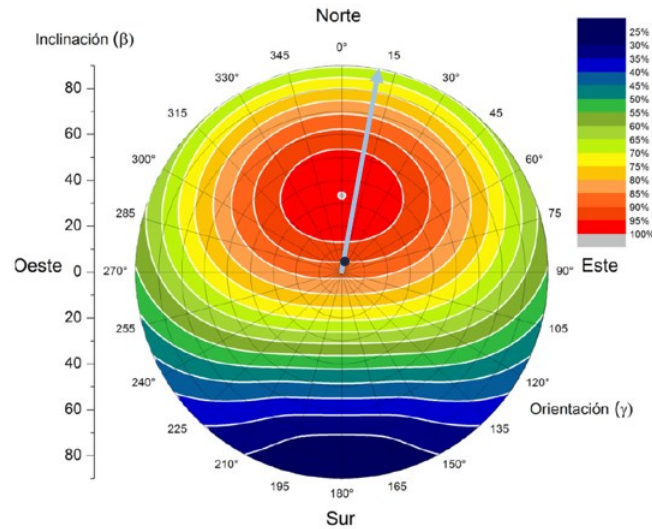


Figura 31. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en Quito (Elaboración propia).

- **Guayaquil:** En Guayaquil, el ángulo óptimo de inclinación es  $5^\circ$ . Este ángulo ha sido seleccionado para mejorar la captación solar en una ciudad con una latitud cercana al ecuador, optimizando así el rendimiento de los paneles solares. Con este ángulo definido podemos ver en el diagrama que existe un 10% de pérdida por inclinación.

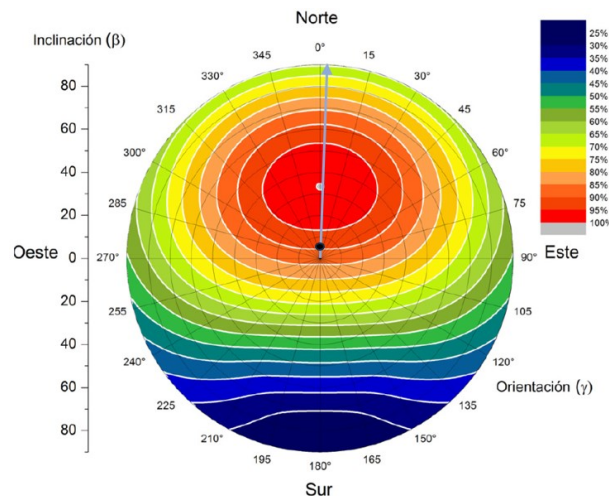


Figura 32. Ángulo de inclinación elegido dentro del rango para los paneles en Guayaquil (Elaboración propia).

Estos ángulos de inclinación se han establecido para cada ciudad con el fin de asegurar la máxima eficiencia en la captación de energía solar, ajustándose a las condiciones específicas de latitud y estacionalidad de cada ubicación.

#### 7.5.4. PERDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS

Para el cálculo de las pérdidas por sombras en este estudio, se ha considerado que las edificaciones colindantes que podrían provocar sombras sobre la edificación en cuestión son iguales para las cuatro ciudades analizadas: La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil. Este enfoque uniforme en la evaluación de las sombras se basa en la suposición de que las características de las edificaciones vecinas, incluyendo su altura y posición relativa, son equivalentes en cada ubicación. Así, las sombras proyectadas y las pérdidas asociadas se mantienen constantes a lo largo de las cuatro ciudades, lo que permite una comparación consistente y equitativa en el análisis de la eficiencia de los paneles solares. De este modo, las variaciones en la captación de energía solar entre las ciudades se deben principalmente a los ángulos de inclinación óptimos y no a diferencias en las sombras proyectadas por edificaciones colindantes. Este enfoque garantiza que las evaluaciones de rendimiento solar sean comparables y se centren en las características específicas de cada ubicación sin la influencia variable de las sombras.

Ahora se proyecta las edificaciones vecinas de la edificación del trabajo en el ábaco de asoleamiento y se utiliza las Tablas de Referencias del Apéndice B de la normativa CTE-HE4, que lo vemos en el anexo 5.

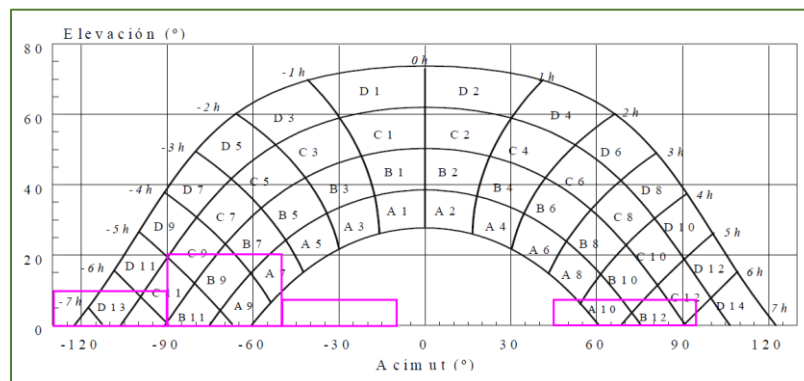


Figura 33. Patrón de sombras de edificaciones vecinas para las cuatro ciudades (Elaboración propia).

En los casos de obstaculización por sombras en el ábaco se utiliza el factor de llenado más próximo a los valores: 0.25, 0.50, 0.75 o 1. En el siguiente cuadro se muestran los porcentajes de obstaculización en cada cuadrante del ábaco. Este cuadro se utilizará para las cuatro ciudades estudiadas.

#	A	B	C	D
13	0	0	1	0,75
11	0	1	0,75	0
9	1	0,75	0,5	0
7	0,75	0,25	0	0
5	0	0	0	0
3	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
4	0	0	0	0
6	0	0	0	0
8	0	0	0	0
10	0,75	0,25	0	0
12	0	0,75	0,25	0
14	0	0	0,25	0

Tabla 13. Porcentajes de los cuadrantes del ábaco de patrones de sombras en las edificaciones (Elaboración propia)

A continuación, de las tablas de referencia, se selecciona las que se asemejen más a las características específicas de cada ciudad. Las tablas utilizadas para cada ciudad serán las siguientes:

CIUDAD	TABLA
Oviedo	Tabla B.2. - No. 4
Sevilla	Tabla B.1. - No.4
Quito	Tabla B.1. - No.2
Guayaquil	Tabla B.1. - No.2

Tabla 14. Tablas de referencias seleccionadas para cada ciudad para el cálculo de pérdidas por sombras en cada cuadrante (Elaboración propia)

Estas tablas han sido elegidas en función de su proximidad y relevancia con los ángulos de inclinación y orientación, permitiendo un análisis preciso y ajustado a las particularidades de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil. La selección asegura que los datos utilizados sean los más representativos para evaluar el porcentaje de pérdida por sombras de los paneles solares en cada ciudad. Con cada tabla a utilizarse se multiplica el valor de irradiación que aparece en el número de cada cuadrante con el porcentaje de obstaculización de este.

- La Coruña

OBSTACULIZACIÓN					TABLA B.2. - No. 4				
#	A	B	C	D	#	A	B	C	D
13	0,00	0,00	1,00	0,75	13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	1,00	0,75	0,00	11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	1,00	0,75	0,50	0,00	9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	0,75	0,25	0,00	0,00	7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	0,00	0,00	0,00	0,00	5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	0,00	0,00	0,00	0,00	3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	0,00	0,00	0,00	0,00	1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	0,00	0,00	0,00	0,00	2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	0,00	0,00	0,00	0,00	4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	0,00	0,00	0,00	0,00	6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,00	0,00	0,00	0,00	8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,75	0,25	0,00	0,00	10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,75	0,25	0,00	12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,25	0,00	14	0,00	0,00	0,00	0,08

×

=

Tabla 15. Tabla de cálculo de las pérdidas por sombras de la edificación en La Coruña (Elaboración propia)

TOTAL DE PÉRDIDAS POR SOMBRAS				
#	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,17
11	0,00	0,03	0,28	0,00
9	0,21	0,53	0,53	0,00
7	1,01	0,32	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,02	0,03	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,01	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,23	0,9	0,81	0,165
				<b>SUMA TOTAL</b>
				<b>3,11%</b>

Tabla 16. Tabla de resultados de las pérdidas por sombras de la edificación en La Coruña (Elaboración propia)

Conociendo anteriormente las pérdidas por orientación e inclinación y ahora el porcentaje de pérdidas por sombras, podemos concluir que si son válidas por la Normativa CTE-HE4. Para la edificación en la ciudad de La Coruña obtuvimos los siguientes resultados:



PERDIDAS	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	SOMBRAS	TOTAL
		5,00%	3,11%

Tabla 17. Resultados de los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombras en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla

OBSTACULIZACIÓN					TABLA B.2. - No. 4				
#	A	B	C	D	#	A	B	C	D
13	0,00	0,00	1,00	0,75	13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	1,00	0,75	0,00	11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	1,00	0,75	0,50	0,00	9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	0,75	0,25	0,00	0,00	7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	0,00	0,00	0,00	0,00	5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	0,00	0,00	0,00	0,00	3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	0,00	0,00	0,00	0,00	1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	0,00	0,00	0,00	0,00	2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	0,00	0,00	0,00	0,00	4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	0,00	0,00	0,00	0,00	6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,00	0,00	0,00	0,00	8	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,75	0,25	0,00	0,00	10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,75	0,25	0,00	12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,25	0,00	14	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla 18. Tabla de cálculo de las pérdidas por sombras de la edificación en Sevilla (Elaboración propia)

TOTAL DE PÉRDIDAS POR SOMBRAS					
#	A	B	C	D	
13	0,00	0,00	0,00	0,08	
11	0,00	0,00	0,02	0,00	
9	0,02	0,08	0,10	0,00	
7	0,41	0,14	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	0,00	0,00	0,00	0,00	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	0,14	0,18	0,00	0,00	
12	0,00	0,05	0,08	0,00	
14	0,00	0,00	0,00	0,00	
	0,56	0,435	0,1975	0,075	<b>SUMA TOTAL</b>
					<b>1,27%</b>

Tabla 19. Tabla de resultados de las pérdidas por sombras de la edificación en Sevilla (Elaboración propia)

Conociendo anteriormente las pérdidas por orientación e inclinación y ahora el porcentaje de pérdidas por sombras, podemos concluir que si son válidas por la Normativa CTE-HE4. Para la edificación en la ciudad de Sevilla obtuvimos los siguientes resultados:

PERDIDAS	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	SOMBRAS	TOTAL
		5,00%	1,27%

Tabla 20. Resultados de los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombras en Sevilla (Elaboración propia)

- Quito y Guayaquil

Las dos ciudades utilizan la misma tabla.

OBSTACULIZACIÓN					TABLA B.2. - No. 4				
#	A	B	C	D	#	A	B	C	D
13	0,00	0,00	1,00	0,75	13	0,00	0,00	0,00	0,18
11	0,00	1,00	0,75	0,00	11	0,00	0,01	0,18	1,05
9	1,00	0,75	0,50	0,00	9	0,05	0,32	0,70	2,23
7	0,75	0,25	0,00	0,00	7	0,52	0,77	1,32	3,56
5	0,00	0,00	0,00	0,00	5	1,11	1,26	1,85	4,66
3	0,00	0,00	0,00	0,00	3	1,75	1,60	2,20	5,44
1	0,00	0,00	0,00	0,00	1	2,10	1,81	2,40	5,78
2	0,00	0,00	0,00	0,00	2	2,11	1,80	2,30	5,73
4	0,00	0,00	0,00	0,00	4	1,75	1,61	2,00	5,19
6	0,00	0,00	0,00	0,00	6	1,09	1,26	1,65	4,37
8	0,00	0,00	0,00	0,00	8	0,51	0,82	1,11	3,28
10	0,75	0,25	0,00	0,00	10	0,05	0,33	0,57	1,98
12	0,00	0,75	0,25	0,00	12	0,00	0,02	0,15	0,96
14	0,00	0,00	0,25	0,00	14	0,00	0,00	0,00	0,17

Tabla 21. Tabla de cálculos de las pérdidas por sombras de la edificación en Quito y Guayaquil (Elaboración propia)

TOTAL DE PÉRDIDAS POR SOMBRAS				
#	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,14
11	0,00	0,01	0,14	0,00
9	0,05	0,24	0,35	0,00
7	0,39	0,19	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,04	0,08	0,00	0,00
12	0,00	0,02	0,04	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,48	0,54	0,5225	0,135
	<b>SUMA TOTAL</b>			
	<b>1,68%</b>			

Tabla 22. Tabla de resultados de las pérdidas por sombras de la edificación en Quito y Guayaquil (Elaboración propia)



Conociendo anteriormente las pérdidas por orientación e inclinación y ahora el porcentaje de pérdidas por sombras, podemos concluir que si son válidas por la CTE-HE4. Para la edificación en las ciudades de Quito y Guayaquil obtuvimos los siguientes resultados:

PERDIDAS	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	SOMBRAS	TOTAL
	10,00%	1,68%	11,68%

Tabla 23. Resultados de los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombras en Quito y Guayaquil  
(Elaboración propia)

## 7.6. CÁLCULO DEL ÁNGULO ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES.

Una vez obtenidos los valores límite para la inclinación del captador, se procede a realizar un pre dimensionado para hallar el valor de  $\beta$  que mejor se comporte en el modelo estudiado, para esto se procederá a realizar el cálculo de la irradiación inclinada. Se debe probar diversos valores de  $\beta$  que estén dentro del rango admisible, y se observará cual presenta una mejora más elevada en su funcionamiento.

Para calcular la irradiación global inclinada se necesita calcular los siguientes valores: DMM, Coeficiente Albedo, Latitud ( $\varphi$ ), Irradiación global horizontal, Gamma ( $\gamma$ ), La declinación ( $\delta$ ), Excentricidad ( $\varepsilon_o$ ), Ángulo del orto ( $\omega$ ), Irradiación extraterrestre ( $H_0$ ,  $h$ ), Índica de claridad (KT), Difusa horizontal, Directa horizontal, Irradiación Albedo y Coeficiente de absorción Klein.

- El DMM son los días medios de cada mes del año, contando a partir del primer día del año, por lo que son valores fijos para el cálculo de la irradiación global inclinada.
- La terraza donde los paneles solares van a estar instalados va a tener una superficie de hormigón, por lo que el coeficiente de albedo va a ser de 0,4.
- La latitud es fija para cada ciudad de las que se estudia en el trabajo, y la irradiación global horizontal ya se lo calculó anteriormente para cada ciudad.
- El valor gamma ( $\gamma$ ) que es el ángulo diario del sol del día medio mensual, es calculado con la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{\pi(DMM - 1)}{365}$$

- La declinación del sol ( $\delta$ ) es el ángulo entre la línea que une la Tierra y el Sol y el plano del ecuador terrestre. Es análoga a la latitud en la superficie de la Tierra, pero es aplicada al cielo.

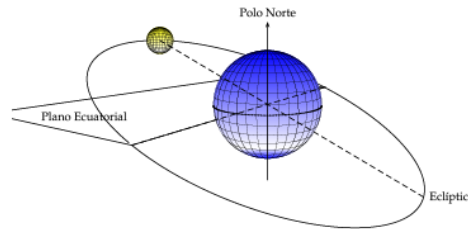


Figura 34. Declinación del sol (Norma Solar Térmica)

En el cálculo de la declinación solar ( $\delta$ ) se emplea la fórmula de Spencer.

$$\delta = (0,006918 - (0,399912 * \text{COS}(\gamma)) + (0,070257 * \text{SEN}(\gamma)) - \\ (0,006785 * \text{COS}(2 * \gamma)) + (0,000907 * \text{SEN}(2 * \gamma)) - \\ (0,002697 * \text{COS}(3 * \gamma)) + (0,00148 * \text{SEN}(3 * \gamma))) * \frac{180}{\pi}$$

- La excentricidad ( $\varepsilon_o$ ) es la medida de cuánto se desvía la órbita de un objeto del círculo perfecto. Con la fórmula de Duffie y Beckmann podemos obtener los valores de la excentricidad para cada mes.

$$\varepsilon_o = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 * \gamma}{365}\right)$$

Estos cuatro primeros datos van a ser iguales para las cuatro ciudades del trabajo. Con la definición ya establecida de los DMM se utiliza cada una de las tres fórmulas y obtenemos los siguientes resultados para cada mes:

MES	DMM	$\gamma$	Declinación	Excentricidad
ENERO	17	0,2754	-20,905	1,03160
FEBRERO	45	0,7574	-13,279	1,02358
MARZO	74	1,2566	-2,446	1,00966
ABRIL	105	1,7903	9,469	0,99226
MAYO	135	2,3067	18,684	0,97743
JUNIO	161	2,7543	22,974	0,96923
JULIO	199	3,4084	21,164	0,96832
AGOSTO	230	3,9421	13,344	0,97743
SEPTIEMBRE	261	4,4757	2,202	0,99282
OCTUBRE	292	5,0093	-9,680	1,01020
NOVIEMBRE	322	5,5258	-19,070	1,02436
DICIEMBRE	347	5,9561	-23,106	1,03143

Tabla 24. Valores del DMM, ángulo del sol, la declinación y excentricidad en La Coruña (Elaboración propia)

- El cálculo del ángulo orto ( $\omega$ ) es el ángulo del sol con la línea horizontal, siendo la diferencia entre el instante en curso y el medio día solar donde  $\omega=0$ . Para su cálculo se necesita la latitud de donde estará ubicada la edificación y transformar los valores de la declinación a radianes, para utilizar la siguiente fórmula:

$$\omega = \text{ACOS}(-\text{TAN}(\delta) * \text{TAN}(\varphi))$$

- La irradiación extraterrestre ( $H_0, h$ ) es la cantidad de energía solar que incide sobre una unidad de área perpendicular a los rayos solares en el espacio exterior. Se mide en vatios por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Ahora se debe el cálculo de la irradiación extraterrestre utilizando esta fórmula:

$$H_0, h = \frac{1,365 * 24 * 3,6}{\pi * \varepsilon_o * (\text{COS}(\varphi) * \text{COS}(\delta) * \text{SENO}(\omega) + \omega * \text{SENO}(\delta) * \text{SENO}(\varphi))}$$

- Con los valores de la irradiación global horizontal y la extraterrestre se calcula el índice de claridad, la cual mide la proporción de la radiación solar directa que llega a la superficie terrestre en comparación con la radiación solar directa que se esperaría si no hubiera atmósfera. Es una medida de la "transparencia" atmosférica con respecto a la radiación solar.

$$KT = \frac{(H_g, h)}{(H_0, h)}$$

- Ahora se procede a calcular la irradiación difusa horizontal ( $H_{d,h}$ ), que se refiere a la radiación solar que llega a la superficie terrestre desde el cielo, pero que no proviene directamente del Sol. Se dispersa en todas direcciones debido a la interacción con la atmósfera y las nubes

$$H_{d,h} = H_g, h * (0,775 + 0,00606(\omega - 90) - (0,505 + 0,00456(\omega - 90)) * \text{COS}(114,6KT - 103,1))$$

- La irradiación directa horizontal ( $H_{b,h}$ ), es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra en un plano horizontal desde el Sol, sin que esta haya sido desviada o dispersada por la atmósfera. Para el cálculo solo se debe restar la irradiación global horizontal con la irradiación difusa horizontal.
- Irradiación albedo ( $\rho$ ) es la cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie debido a su coeficiente de albedo. Representa la parte de la irradiación global que no es absorbida por la superficie y se refleja de vuelta hacia la atmósfera. Simplemente es el resultado de la multiplicación del coeficiente de albedo por la irradiación global horizontal.
- El coeficiente de absorción Klein ( $R_b$ ) es un parámetro que se usa en algunos modelos para calcular cuánto sol llega a un panel solar o a una superficie. Este coeficiente ayuda a ajustar los cálculos según el ángulo desde el que incide la luz solar y las propiedades del material de la superficie. Aunque no es un término común en todos los estudios, se usa para mejorar la precisión en la estimación de la cantidad de luz solar que recibe una superficie. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega) + \frac{\pi}{180} * \omega * \text{sen}(\varphi - \beta) * \text{sen}(\delta)}{\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega) + \frac{\pi}{180} * \omega * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)}$$

Con todos estos valores ya podemos calcular la irradiación global inclinada ( $H_{g,h,\beta}$ ), para la cual necesitaremos de la siguiente fórmula:

$$(H_{g,h,\beta}) = (H_{b,h} * R_b) + \left( H_{d,h} * \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \left( \rho * \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

El ángulo de inclinación del panel solar  $\beta$  es el variable en la fórmula por la cual la irradiación global inclinada puede cambiar dependiendo del valor que se desee utilizar. El valor obtenido lo debes multiplicar para el número de días de cada mes para obtener la irradiación global inclinada mensual, y luego sumar los doce meses para la anual. Con los valores de la irradiación global horizontal se debe realizar lo mismo.

Con los dos valores podemos ir calculando los porcentajes de mejora entre cada uno para determinar el ángulo preciso que optimice la efectividad de los paneles solares para la proveer agua caliente sanitaria en la edificación para cada ciudad.

### 7.6.1. CÁLCULO DEL ÁNGULO PRECISO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE OPTIMICE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN LA CORUÑA.

Para el cálculo de la inclinación  $\beta$  más efectiva para la edificación en La Coruña empezaremos con el ejemplo del cálculo para el mes de enero, el cual ya quedó definido la tabla anterior que nos arroja los valores de:

MES	DMM	$\gamma$	$\delta$	Excentricidad $\epsilon$
ENERO	17	0,2754	-20,905° (-0,3649 rad)	1,0316

Tabla 25. Valores del DMM, ángulo del sol, la declinación y excentricidad en La Coruña en enero (Elaboración propia)

Se realiza el cálculo del ángulo orto ( $\omega$ ) donde necesitaremos la latitud de la edificación que sería 43,33°, el cual en radianes sería 0,756.

$$\omega = \text{ACOS}(-\text{TAN}(-0,3549 - 20,905) * \text{TAN}(0,756)) = 1,2037 = 68,88^\circ = 1,2022 \text{ rad}$$

Se continua con el cálculo de la irradiación extraterrestre:

$$H_0, h = \frac{1,365 * 24 * 3,6}{\pi * 1,0316 * (\text{COS}(0,756) * \text{COS}(-20,905) * \text{SENO}(1,2037) + 1,2037 * \text{SENO}(-20,905) * \text{SENO}(0,756))}$$

$$H_0, h = 13,15 \text{ MJ/m}^2$$

Ahora se obtiene el índice de claridad:

$$KT = \frac{5,3}{13,15} = 0,41$$

Ya con el índice de claridad y el ángulo orto se calcula la irradiación horizontal difusa y directa.



$$H_{d,h} = H_{g,h} * (0,775 + 0,00606(\omega - 90) - (0,505 + 0,00456(\omega - 90))) * \cos(114,6KT - 103,1)$$

$$H_{d,h} = 2,26 \text{ W/m}^2$$

$$H_{b,h} = H_{o,h} - H_{d,h} = 13,15 - 2,26 = 3,14 \text{ MJ/m}^2$$

Se continua con el cálculo de la irradiación Albedo, utilizando su coeficiencia que ya definimos anteriormente de 0,4.

$$\rho = 0,4 * H_{o,h} = 0,4 * 5,4 = 2,16$$

Finalmente, antes de obtener el valor de la irradiación global inclinada del mes de enero, se calcula el coeficiente de absorción Klein. Esta fórmula se deja en función del ángulo  $\beta$ , para obtener diferentes resultados y definir cuál es el ángulo preciso de inclinación que optimice la efectividad de los paneles solares para las instalaciones. Para el cálculo usaremos en ángulo  $\beta$  promedio de los ángulos del rango permitido que eran  $9^\circ 20'$  y  $62^\circ 20'$ , que sería  $35^\circ 50'$  (0,625 rad).

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega) + \frac{\pi}{180} * \omega * \text{sen}(\varphi - \beta) * \text{sen}(\delta)}{\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega) + \frac{\pi}{180} * \omega * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)}$$

$$R_b = \frac{\cos(0,756 - \beta) * \cos(-0,365) * \text{sen}(1,2022) + \frac{\pi}{180} * 1,204 * \text{sen}(0,756 - \beta) * \text{sen}(-0,365)}{\cos(0,756) * \cos(-0,365) * \text{sen}(1,2022) + \frac{\pi}{180} * 1,204 * \text{sen}(0,756) * \text{sen}(-0,365)}$$

$$R_b = 2,38$$

Ahora con los valores obtenidos de las irradiaciones difusas horizontal, directa horizontal y de Albedo, además del valor del coeficiente de absorción Klein que depende del ángulo  $\beta$  propuesto, obtenemos la irradiación global inclinada para el mes de enero en la ciudad de La Coruña.

$$(H_{g,h,\beta}) = (H_{b,h} * R_b) + \left( H_{d,h} * \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \left( \rho * \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

$$(H_{g,h,\beta}) = (3,13 * 2,37) + \left( 2,27 * \frac{1 + \cos(0,625)}{2} \right) + \left( 2,16 * \frac{1 - \cos(0,625)}{2} \right)$$

$$(H_{g,h,\beta}) = 9,721 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 31 \text{ días} = 301,36 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \text{ mensual}$$

En una tabla creada en Excel se formula todos estos cálculos para obtener la irradiación global inclinada para cada mes del año, con el ángulo  $\beta$  de 0,625.



MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Global horizontal (Hg,h)	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global horizontal mensual	167,40	224,00	353,40	372,00	477,40	486,00	539,40	474,30	417,00	337,90	192,00	158,10
DMM	17	45	74	105	135	161	199	230	261	292	322	347
Gamma	0,275427	0,757425	1,256637	1,790277	2,306704	2,754273	3,408413	3,942053	4,475694	5,009334	5,52576	5,956115
Declinación en el DMM	-20,90	-13,28	-2,45	9,47	18,68	22,97	21,16	13,34	2,20	-9,68	-19,07	-23,11
excentricidad (E <sub>0</sub> )	1,031597	1,023584	1,009656	0,992262	0,977431	0,969234	0,968322	0,977431	0,992815	1,010198	1,024365	1,031428
Integral	0,339533	0,478	0,681345	0,90372	1,069745	1,144727	1,113264	0,974348	0,768778	0,545121	0,372215	0,301022
Angulo del orto en DMM	68,88	77,14	87,69	99,05	108,60	113,57	111,42	102,93	92,08	80,74	70,97	66,27
extraterrestre horz (H <sub>0</sub> ,h)	13,15	18,37	25,82	33,66	39,25	41,65	40,47	35,75	28,65	20,67	14,31	11,66
Indice claridad (KT)	0,41	0,44	0,44	0,37	0,39	0,39	0,43	0,43	0,49	0,53	0,45	0,44
Difusa horizontal (H <sub>d</sub> ,h)	2,26	3,44	5,24	6,99	8,88	9,69	9,55	7,99	6,12	4,13	2,57	2,00
Directa horizontal (H <sub>b</sub> ,h)	3,14	4,56	6,16	5,41	6,52	6,51	7,85	7,31	7,78	6,77	3,83	3,10
Irrad. Albedo	2,16	3,20	4,56	4,96	6,16	6,48	6,96	6,12	5,56	4,36	2,56	2,04
Coefficiente Klein	2,38	1,88	1,44	1,11	0,91	0,82	0,86	1,02	1,30	1,71	2,24	2,58
Global inclinada (Hg,h,β)	9,721	12,0	14,0	12,8	14,5	14,7	16,0	15,3	16,2	15,7	11,1	10,0
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global inclinada mensual	<b>301,36</b>	<b>336,27</b>	<b>435,37</b>	<b>384,02</b>	<b>450,46</b>	<b>441,55</b>	<b>496,63</b>	<b>473,46</b>	<b>485,08</b>	<b>488,23</b>	<b>334,26</b>	<b>309,71</b>
Corrección (%)	80,0	50,1	23,2	3,2	-5,6	-9,1	-7,9	-0,2	16,3	44,5	74,1	95,9

Tabla 26. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en La Coruña (Elaboración propia)

Con los cálculos de cada mes podemos ver las mejoras a nivel anual y por invierno y verano.

VARIABLES	grados	radianes
Latitud ( $\phi$ )	43,33	0,7563
Inclinación captador ( $\beta$ )	35,83	0,6254
Coefficiente Albedo	0,4	

Global Anual	
4198,9	1166,4
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

Invierno	Verano
1432,8	2766,1
MJ/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año

IRRADIACIÓN GLOBAL INCLINADA			
Global Anual		Invierno	Verano
4936,4	1371,2	2205,2	2731,2
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año

Mejora
18%

Mejora	Mejora
54%	-1%

Tabla 27. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación 35,83 (Elaboración propia)

Con el ángulo de inclinación del captador a 35,83°, la radiación global inclinada presenta una mejora del 18% con respecto a la horizontal, en invierno de un 54% y en verano una desmejora de un -1%.

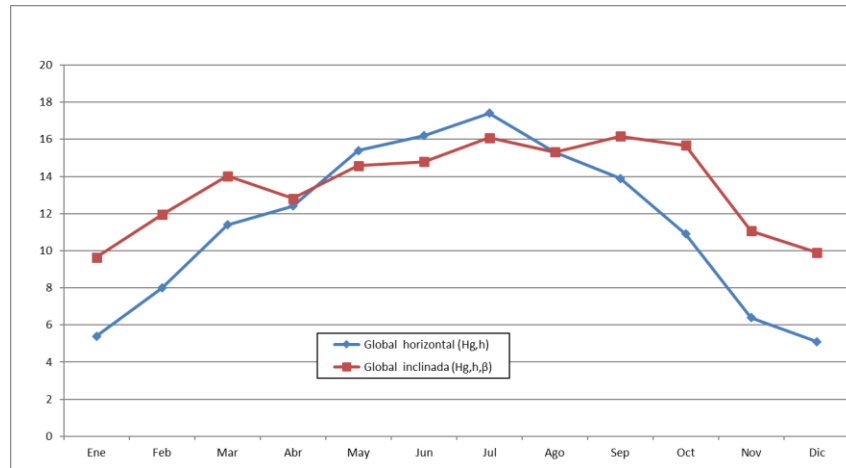


Figura 35. Gráfico comparativo de la irradiación global horizontal e inclinada (Elaboración propia)

Ahora con la variable del ángulo de inclinación del captador ( $\beta$ ) podemos identificar cual podrá optimizar de la mejor manera la efectividad en la captación.

Con los cálculos realizados obtenemos la siguiente solución:

- El ángulo de inclinación óptimo es de  $31^\circ$  proporcionando una mejora anual del 17%.
- En invierno, la mejora es del 49%, meses en donde se necesita una mayor optimización y mejora, mientras que en verano se observa una ligera mejora del 0,14%.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Global horizontal (Hg,h)	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global horizontal mensual	167,40	224,00	353,40	372,00	477,40	486,00	539,40	474,30	417,00	337,90	192,00	158,10
DMM	17	45	74	105	135	161	199	230	261	292	322	347
Gamma	0,275427	0,757425	1,256637	1,790277	2,306704	2,754273	3,408413	3,942053	4,475694	5,009334	5,52576	5,956115
Declinación en el DMM	-20,90	-13,28	-2,45	9,47	18,68	22,97	21,16	13,34	2,20	-9,68	-19,07	-23,11
excentricidad ( $E_0$ )	1,031597	1,023584	1,009656	0,992262	0,977431	0,969234	0,968322	0,977431	0,992815	1,010198	1,024365	1,031428
Integral	0,339533	0,478	0,681345	0,90372	1,069745	1,144727	1,113264	0,974348	0,768778	0,545121	0,372215	0,301022
Angulo del orto en DMM	68,88	77,14	87,69	99,05	108,60	113,57	111,42	102,93	92,08	80,74	70,97	66,27
extraterrestre horz ( $H_0$ ,h)	13,15	18,37	25,82	33,66	39,25	41,65	40,47	35,75	28,65	20,67	14,31	11,66
Indice claridad (KT)	0,41	0,44	0,44	0,37	0,39	0,39	0,43	0,43	0,49	0,53	0,45	0,44
Difusa horizontal ( $H_d$ ,h)	2,26	3,44	5,24	6,99	8,88	9,69	9,55	7,99	6,12	4,13	2,57	2,00
Directa horizontal ( $H_b$ ,h)	3,14	4,56	6,16	5,41	6,52	6,51	7,85	7,31	7,78	6,77	3,83	3,10
Irrad. Albedo	2,16	3,20	4,56	4,96	6,16	6,48	6,96	6,12	5,56	4,36	2,56	2,04
Coefficiente Klein	2,24	1,80	1,41	1,12	0,94	0,86	0,90	1,04	1,29	1,65	2,11	2,41
Global inclinada (Hg,h, $\beta$ )	9,278	11,6	13,9	12,9	14,8	15,1	16,4	15,5	16,1	15,3	10,7	9,5
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global inclinada mensual	<b>287,61</b>	<b>325,88</b>	<b>430,29</b>	<b>387,13</b>	<b>459,48</b>	<b>452,65</b>	<b>508,48</b>	<b>479,61</b>	<b>482,62</b>	<b>475,05</b>	<b>319,89</b>	<b>293,75</b>
Corrección (%)	71,8	45,5	21,8	4,1	-3,8	-6,9	-5,7	1,1	15,7	40,6	66,6	85,8

Tabla 28. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en La Coruña con el ángulo óptimo (Elaboración propia)

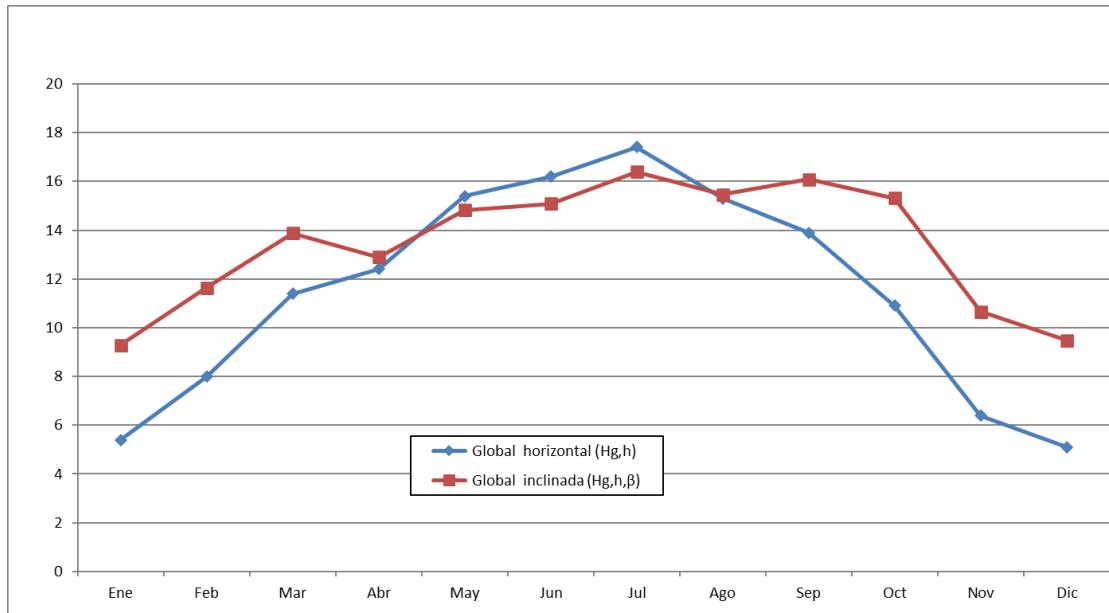


Figura 36. Gráfico comparativo de la irradiación global horizontal e inclinada con un ángulo óptimo (Elaboración propia)

VARIABLES	grados	radianes
Latitud ( $\phi$ )	43,33	0,7563
Inclinación captador ( $\beta$ )	31	0,5411
Coefficiente Albedo	0,4	

Global Anual	
4198,9	1166,4
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

Invierno	Verano
1432,8	2766,1
MJ/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año

IRRADIACIÓN GLOBAL INCLINADA			
Global Anual		Invierno	Verano
4902,4	1361,8	2132,5	2770,0
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año

Mejora
17%

Mejora	Mejora
49%	0,14%

Tabla 29. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en La Coruña (Elaboración propia)

### 7.6.2. CÁLCULO DEL ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN SEVILLA.

Sevilla está ubicada a una latitud de **37° 23' 24"**. Para esta ubicación, el ángulo óptimo de inclinación para maximizar la captación solar se ha determinado como **23°**. Este ángulo ha sido calculado para mejorar la irradiación global inclinada a lo largo del año en esta ciudad.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Global horizontal (Hg,h)	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9
dias/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global horizontal mensual	226,30	305,20	446,40	576,00	694,40	729,00	771,90	713,00	537,00	381,30	264,00	213,90
DMM	17	45	74	105	135	161	199	230	261	292	322	347
Gamma	0,275427	0,757425	1,256637	1,790277	2,306704	2,754273	3,408413	3,942053	4,475694	5,009334	5,52576	5,956115
Declinación en el DMM	-20,90	-13,28	-2,45	9,47	18,68	22,97	21,16	13,34	2,20	-9,68	-19,07	-23,11
excentricidad (E <sub>0</sub> )	1,031597	1,023584	1,009656	0,992262	0,977431	0,969234	0,968322	0,977431	0,992815	1,010198	1,024365	1,031428
Integral	0,433633	0,56671	0,753448	0,946946	1,083484	1,142545	1,117979	1,005933	0,830875	0,629408	0,465544	0,395572
Angulo del orto en DMM	73,02	79,61	88,13	97,32	104,98	108,91	107,21	100,45	91,68	82,51	74,68	70,96
extraterrestre horz (H <sub>0</sub> ,h)	16,79	21,78	28,56	35,27	39,76	41,57	40,64	36,91	30,97	23,87	17,90	15,32
Indice claridad (KT)	0,43	0,50	0,50	0,54	0,56	0,58	0,61	0,62	0,58	0,52	0,49	0,45
Difusa horizontal (H <sub>d</sub> ,h)	3,04	4,28	5,97	7,90	9,35	10,01	9,69	8,47	6,71	4,81	3,38	2,75
Directa horizontal (H <sub>b</sub> ,h)	4,26	6,62	8,43	11,30	13,05	14,29	15,21	14,53	11,19	7,49	5,42	4,15
Irrad. Albedo	2,92	4,36	5,76	7,68	8,96	9,72	9,96	9,20	7,16	4,92	3,52	2,76
Coefficiente Klein	1,72	1,49	1,26	1,07	0,96	0,90	0,93	1,02	1,18	1,40	1,66	1,81
Global inclinada (Hg,h,β)	10,369	14,1	16,6	20,0	21,8	22,9	23,8	23,4	19,9	15,3	12,4	10,3
dias/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global inclinada mensual	<b>321,44</b>	<b>395,69</b>	<b>513,68</b>	<b>600,94</b>	<b>675,92</b>	<b>687,36</b>	<b>737,02</b>	<b>724,08</b>	<b>598,18</b>	<b>474,69</b>	<b>370,99</b>	<b>317,79</b>
Corrección (%)	42,0	29,6	15,1	4,3	-2,7	-5,7	-4,5	1,6	11,4	24,5	40,5	48,6

Tabla 30. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en Sevilla con el ángulo óptimo (Elaboración propia)

Esta tabla muestra la irradiación global inclinada mensual para los paneles solares en Sevilla, considerando el ángulo de inclinación óptimo de **23°**.

VARIABLES	grados	radianes
Latitud ( $\phi$ )	37,396	0,6527
Inclinación captador ( $\beta$ )	23	0,3927
Coefficiente Albedo	0,4	

Global Anual	
5858,4	1627,3
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

Invierno	Verano
1837,1	4021,3
MJ/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año

IRRADIACIÓN GLOBAL INCLINADA			
Global Anual		Invierno	Verano
6417,8	1782,7	2394,3	4023,5
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año	MJ/m <sup>2</sup> año

Mejora
10 %

Mejora	Mejora
30%	0,05%

Tabla 31. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en Sevilla (Elaboración propia)

En estas tablas obtenemos las mejoras en la captación solar al utilizar el ángulo de inclinación óptimo de **23°**, mostrando una mejora a la eficiencia anual del 10% y una mejora estacional en invierno de 30% y en verano de 0,05%.

El análisis para Sevilla demuestra que el ángulo de inclinación óptimo de  $23^\circ$  maximiza la captación de energía solar durante el año. La aplicación de este ángulo resulta en una mejora significativa en la irradiación global inclinada, evidenciando un aumento en la eficiencia energética, particularmente en las estaciones del año más críticas.

### 7.6.3. CÁLCULO DEL ÁNGULO ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN QUITO

Quito se encuentra a una latitud de  $00^\circ 12' 36''$ . Debido a su proximidad al ecuador, el ángulo óptimo de inclinación para los paneles solares en Quito se ha calculado como  $5^\circ$ . Este ángulo es el ángulo menor del rango permitido y está diseñado para no afectar en la eficiencia de la captación solar en la región.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Global horizontal (Hg,h)	17,3	17,5	17,9	17,4	17,1	17,8	19,3	19,6	20	18,5	18,3	17,6
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global horizontal mensual	536,30	490,00	554,90	522,00	530,10	534,00	598,30	607,60	600,00	573,50	549,00	545,60
DMM	17	45	74	105	135	161	199	230	261	292	322	347
Gamma	0,275427	0,757425	1,256637	1,790277	2,306704	2,754273	3,408413	3,942053	4,475694	5,009334	5,52576	5,956115
Declinación en el DMM	-20,90	-13,28	-2,45	9,47	18,68	22,97	21,16	13,34	2,20	-9,68	-19,07	-23,11
excentricidad ( $E_0$ )	1,031597	1,023584	1,009656	0,992262	0,977431	0,969234	0,968322	0,977431	0,992815	1,010198	1,024365	1,031428
Integral	0,932114	0,971934	0,998837	0,987317	0,949138	0,922927	0,934626	0,974323	0,999476	0,984788	0,943233	0,917514
Angulo del orto en DMM	89,92	89,95	89,99	90,04	90,07	90,09	90,08	90,05	90,01	89,96	89,93	89,91
extraterrestre horz (H0,h)	36,10	37,35	37,86	36,78	34,83	33,58	33,97	35,75	37,25	37,35	36,27	35,53
Índice claridad (KT)	0,48	0,47	0,47	0,47	0,49	0,53	0,57	0,55	0,54	0,50	0,50	0,50
Difusa horizontal (Hd,h)	7,58	7,81	7,93	7,71	7,35	7,16	7,28	7,64	7,94	7,88	7,68	7,50
Directa horizontal (Hb,h)	9,72	9,69	9,97	9,69	9,75	10,64	12,02	11,96	12,06	10,62	10,62	10,10
Irrad. Albedo	6,92	7,00	7,16	6,96	6,84	7,12	7,72	7,84	8,00	7,40	7,32	7,04
Coefficiente Klein	1,05	1,03	1,00	0,97	0,95	0,94	0,94	0,96	0,99	1,02	1,04	1,06
Global inclinada (Hg,h, $\beta$ )	17,774	17,8	17,9	17,1	16,6	17,1	18,6	19,2	19,9	18,7	18,8	18,2
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global inclinada mensual	550,99	497,79	555,58	514,31	515,04	514,38	577,31	594,29	596,84	580,01	562,97	562,80
Corrección (%)	2,7	1,6	0,1	-1,5	-2,8	-3,7	-3,5	-2,2	-0,5	1,1	2,5	3,2

Tabla 32. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en Quito con el ángulo óptimo (Elaboración propia)

Esta tabla muestra la irradiación global inclinada mensual para los paneles solares en Quito, considerando el ángulo de inclinación óptimo de  $5^\circ$ .

VARIABLES	grados	radianes
Latitud ( $\phi$ )	0,21	0,0037
Inclinación captador ( $\beta$ )	5	0,0873
Coefficiente Albedo	0,4	

Global Anual	
6641,3	1844,8
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

IRRADIACIÓN GLOBAL INCLINADA	
Global Anual	
6622,3	1839,5
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

Mejora
-28,60%

Tabla 33. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en Quito (Elaboración propia)

El análisis realizado para Quito indica que un ángulo de inclinación de  $5^\circ$  es el más adecuado debido a su latitud cercana al ecuador. Aunque desmejora la captación de la energía solar en un 28,60%, con ángulos mayor este porcentaje podría ser mucho mayor. Como se encuentra muy cerca de la línea ecuatorial sólo se toma en cuenta a la irradiación global anual y no por estaciones, ya que sus valores de irradiación globales horizontales son muy lineales.

#### 7.6.4. CÁLCULO DEL ÁNGULO ÓPTIMO DE INCLINACIÓN $\beta$ QUE POTENCIE LA EFECTIVIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LOS PANELES SOLARES DE LA EDIFICACIÓN EN GUAYAQUIL

Guayaquil, con una latitud de  $02^\circ 11' 24''$ , presenta condiciones similares a Quito en términos de proximidad al ecuador. El ángulo óptimo de inclinación para Guayaquil se ha establecido en  $3^\circ$ . Este ángulo ha sido ajustado para mejorar la captación solar en esta ubicación a lo largo del año.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Global horizontal (Hg,h)	14	15,1	16,7	15,6	16,2	15,1	15,6	16,7	18,3	16,2	17,8	17,2
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global horizontal mensual	434,00	422,80	517,70	468,00	502,20	453,00	483,60	517,70	549,00	502,20	534,00	533,20
DMM	17	45	74	105	135	161	199	230	261	292	322	347
Gamma	0,275427	0,757425	1,256637	1,790277	2,306704	2,754273	3,408413	3,942053	4,475694	5,009334	5,52576	5,956115
Declinación en el DMM	-20,90	-13,28	-2,45	9,47	18,68	22,97	21,16	13,34	2,20	-9,68	-19,07	-23,11
excentricidad (Ea)	1,031597	1,023584	1,009656	0,992262	0,977431	0,969234	0,968322	0,977431	0,992815	1,010198	1,024365	1,031428
Integral	0,912173	0,958804	0,995799	0,99555	0,965916	0,943562	0,953645	0,986184	1,000839	0,97497	0,9249	0,895673
Angulo del orto en DMM	89,16	89,48	89,91	90,37	90,74	90,93	90,85	90,52	90,08	89,63	89,24	89,07
extraterrestre horz (H0,h)	35,33	36,84	37,74	37,08	35,44	34,33	34,67	36,19	37,30	36,97	35,57	34,68
Índice claridad (KT)	0,40	0,41	0,44	0,42	0,46	0,44	0,45	0,46	0,49	0,44	0,50	0,50
Difusa horizontal (Hd,h)	7,03	7,43	7,79	7,58	7,41	7,13	7,23	7,57	7,87	7,60	7,48	7,28
Directa horizontal (Hb,h)	6,97	7,67	8,91	8,02	8,79	7,97	8,37	9,13	10,43	8,60	10,32	9,92
Irrad. Albedo	5,60	6,04	6,68	6,24	6,48	6,04	6,24	6,68	7,32	6,48	7,12	6,88
Coefficiente Klein	1,03	1,02	1,00	0,99	0,97	0,97	0,97	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04
Global inclinada (Hg,h, $\beta$ )	14,226	15,3	16,7	15,5	16,0	14,8	15,3	16,5	18,3	16,3	18,1	17,6
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Global inclinada mensual	441,00	427,12	518,82	464,84	494,86	444,91	475,59	512,38	548,20	506,11	543,11	544,36
Corrección (%)	1,6	1,0	0,2	-0,7	-1,5	-1,8	-1,7	-1,0	-0,1	0,8	1,7	2,1

Tabla 34. Cálculos para obtención de la irradiación global inclinada mensual en Guayaquil con el ángulo óptimo (Elaboración propia)

Esta tabla muestra la irradiación global inclinada mensual para los paneles solares en Guayaquil, considerando el ángulo de inclinación óptimo de  $3^\circ$ .

**Tabla: Mejora en la Captación Solar en Guayaquil**

VARIABLES	grados	radianes
Latitud ( $\phi$ )	2,19	0,0382
Inclinación captador ( $\beta$ )	3	0,0524
Coefficiente Albedo	0,4	

Global Anual	
5917,4	1643,7
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

IRRADIACIÓN GLOBAL INCLINADA	
Global Anual	
5921,3	1644,8
MJ/m <sup>2</sup> año	kWh/m <sup>2</sup> año

Mejora
7%

Tabla 35. Resultados de las mejoras con el ángulo de inclinación óptima en Guayaquil (Elaboración propia)

El análisis para Guayaquil muestra que el ángulo de inclinación óptimo de  $3^\circ$  proporciona una mejora en la captación de energía solar durante el año. Este ángulo permite una adaptación eficiente a las condiciones solares de la región, mejorando la irradiación global inclinada y optimizando el rendimiento energético de los paneles solares.

## 7.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ÁNGULOS DE ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN.

Se presentan los ángulos de inclinación y orientación obtenidos para las ciudades de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil, los cuales han sido calculados considerando las características geográficas y climáticas particulares de cada región.

CIUDAD	$\beta$	$\alpha$
La Coruña	$31^\circ$	$-10^\circ$
Sevilla	$23^\circ$	$23^\circ$
Quito	$5^\circ$	$100^\circ$
Guayaquil	$3^\circ$	$91^\circ$

Tabla 36. Ángulos de orientación e inclinación óptimos para cada ciudad (Elaboración propia)

El estudio de los ángulos de inclinación y orientación de los paneles solares en La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil pone de manifiesto diferencias notables que son el resultado de las latitudes, climas y particularidades geográficas de cada una de estas ciudades.



En La Coruña, la inclinación de 31 grados y la orientación de -10 grados indican una disposición hacia el suroeste. Esta inclinación relativamente elevada es esencial para optimizar la captación de radiación solar en los meses invernales, cuando el sol se encuentra en una posición baja en el cielo y los días son más cortos. La orientación ligeramente negativa (suroeste) permite que el panel aproveche mejor la luz solar de la tarde, equilibrando así la captación a lo largo de las estaciones, a pesar de la considerable variabilidad en la nubosidad típica del clima oceánico de la zona.

En Sevilla, con una inclinación de 23 grados y una orientación de 23 grados, se presenta un enfoque adaptado a su clima mediterráneo. La inclinación menor en comparación con La Coruña refleja una estrategia diseñada para maximizar la captación solar durante los meses estivales, cuando el sol se encuentra más alto en el cielo. La orientación hacia el sur (23 grados) garantiza una alta eficiencia a lo largo del año, aprovechando los largos días soleados y la menor variabilidad estacional en comparación con las regiones del norte. Esto contribuye a disminuir las pérdidas por sombras e inclinación, resultando en una mayor producción de energía solar.

En Quito, con una inclinación de apenas 5 grados y una orientación de 100 grados, se evidencia una adaptación a la latitud ecuatorial. La inclinación baja es adecuada para la captación uniforme de radiación solar durante todo el año, dado que el sol se encuentra cerca del cenit en la línea ecuatorial. La orientación de 100 grados, que se aproxima al este, refleja una estrategia para captar la radiación solar de manera efectiva a lo largo del día. La menor inclinación minimiza las pérdidas.

En Guayaquil, se presenta una inclinación de 3 grados y una orientación de 91 grados, lo que resulta en una disposición casi horizontal. Este ángulo de inclinación reducido favorece la captación de radiación solar en la región ecuatorial durante todo el año, mientras que la orientación hacia el este (91 grados) facilita una adecuada recepción de luz desde el amanecer. La combinación de una baja inclinación y una ligera orientación hacia el este está diseñada para optimizar la captación solar en climas tropicales, minimizando las pérdidas ocasionadas por sombras y logrando así una eficiencia máxima a lo largo del año.

En resumen, los ángulos de inclinación y orientación de los paneles solares en cada ciudad están íntimamente ligados a su latitud y a las condiciones climáticas particulares. Ciudades como La Coruña y Sevilla, que presentan climas más variables y estacionales, requieren ajustes más significativos en sus ángulos para optimizar la captación solar durante todo el año. Por otro lado, Quito y Guayaquil, ubicadas cerca del ecuador y con climas más estables, muestran inclinaciones y orientaciones que maximizan la captación solar continua, adaptándose a la menor variabilidad en la altura del sol a lo largo del año.



Estos ajustes aseguran que cada ubicación logre la máxima eficiencia de sus sistemas solares, considerando sus características geográficas y climáticas.

## 7.8. CÁLCULO DE IRRADIACIÓN NETA

Este cálculo es fundamental para determinar con precisión la cantidad de energía solar disponible que puede ser utilizada de manera efectiva por los colectores solares. La irradiación neta se obtiene después de haber calculado previamente la irradiación global horizontal e inclinada, así como las pérdidas asociadas a la orientación, inclinación y sombras.

Este valor representa la cantidad de energía solar realmente utilizable por el sistema, ajustada a las condiciones locales específicas que permiten evaluar de manera más precisa la energía solar disponible y ajustada a las condiciones de cada ubicación. Se lo calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Neta = Inclinada * \frac{(100 - \text{pérdidas totales})}{100}$$

A continuación, se muestran las tablas con los resultados de los cálculos de la irradiación neta para cada mes de cada ciudad estudiada.

- **La Coruña**

MES	Pérdidas (%)			Irradiación (MJ/mes)		
	Orientación	Sombras	Totales	Horizontal	Inclinada	Neta
Enero	5	3,11	8,11	5,3	9,2776	8,5252
Febrero	5	3,11	8,11	7,7	11,6387	10,6948
Marzo	5	3,11	8,11	10,6	13,8802	12,7545
Abril	5	3,11	8,11	12,2	12,9045	11,8579
Mayo	5	3,11	8,11	15	14,8219	13,6199
Junio	5	3,11	8,11	15,2	15,0885	13,8648
Julio	5	3,11	8,11	16,8	16,4027	15,0724
Agosto	5	3,11	8,11	14,8	15,4712	14,2165
Septiembre	5	3,11	8,11	12,4	16,0873	14,7827
Octubre	5	3,11	8,11	9,8	15,3242	14,0814
Noviembre	5	3,11	8,11	5,9	10,6629	9,7981
Diciembre	5	3,11	8,11	4,6	9,4758	8,7073
	(%)	(%)	(%)	MJ/día	MJ/día	MJ/día

Tabla 37. Cálculo de irradiación neta en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla

MES	Pérdidas (%)			Irradiación (MJ/mes)		
	Orientación	Sombras	Totales	Horizontal	Inclinada	Neta
Enero	5	1,27	6,27	5,3	10,3691	9,7190
Febrero	5	1,27	6,27	7,7	14,1317	13,2456
Marzo	5	1,27	6,27	10,6	16,5704	15,5314
Abril	5	1,27	6,27	12,2	20,0312	18,7753
Mayo	5	1,27	6,27	15	21,8040	20,4369
Junio	5	1,27	6,27	15,2	22,9120	21,4754
Julio	5	1,27	6,27	16,8	23,7748	22,2842
Agosto	5	1,27	6,27	14,8	23,3573	21,8928
Septiembre	5	1,27	6,27	12,4	19,9394	18,6892
Octubre	5	1,27	6,27	9,8	15,3125	14,3524
Noviembre	5	1,27	6,27	5,9	12,3664	11,5910
Diciembre	5	1,27	6,27	4,6	10,2513	9,6085
	(%)	(%)	(%)	MJ/día	MJ/día	MJ/día

Tabla 38. Cálculo de irradiación neta en Sevilla (Elaboración propia)

- Quito

MES	Pérdidas (%)			Irradiación (MJ/mes)		
	Orientación	Sombras	Totales	Horizontal	Inclinada	Neta
Enero	10	1,68	11,68	5,3	17,774	15,698
Febrero	10	1,68	11,68	7,7	17,778	15,702
Marzo	10	1,68	11,68	10,6	17,922	15,829
Abril	10	1,68	11,68	12,2	17,144	15,141
Mayo	10	1,68	11,68	15	16,614	14,674
Junio	10	1,68	11,68	15,2	17,146	15,143
Julio	10	1,68	11,68	16,8	18,623	16,448
Agosto	10	1,68	11,68	14,8	19,171	16,931
Septiembre	10	1,68	11,68	12,4	19,895	17,571
Octubre	10	1,68	11,68	9,8	18,710	16,525
Noviembre	10	1,68	11,68	5,9	18,766	16,574
Diciembre	10	1,68	11,68	4,6	18,155	16,034
	(%)	(%)	(%)	MJ/día	MJ/día	MJ/día

Tabla 39. Cálculo de irradiación neta en Quito (Elaboración propia)

- **Guayaquil**

MES	Pérdidas (%)			Irradiación (MJ/mes)		
	Orientación	Sombras	Totales	Horizontal	Inclinada	Neta
Enero	10	1,68	11,68	5,3	14,226	12,564
Febrero	10	1,68	11,68	7,7	15,254	13,473
Marzo	10	1,68	11,68	10,6	16,736	14,781
Abril	10	1,68	11,68	12,2	15,495	13,685
Mayo	10	1,68	11,68	15	15,963	14,099
Junio	10	1,68	11,68	15,2	14,830	13,098
Julio	10	1,68	11,68	16,8	15,342	13,550
Agosto	10	1,68	11,68	14,8	16,528	14,598
Septiembre	10	1,68	11,68	12,4	18,273	16,139
Octubre	10	1,68	11,68	9,8	16,326	14,419
Noviembre	10	1,68	11,68	5,9	18,104	15,989
Diciembre	10	1,68	11,68	4,6	17,560	15,509
	(%)	(%)	(%)	MJ/día	MJ/día	MJ/día

Tabla 40. Cálculo de irradiación neta en Guayaquil (Elaboración propia)

## 7.9. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

El dimensionamiento de un sistema de captación solar térmica es la optimización de características específicas y el dimensionamiento de componentes para satisfacer con la máxima eficiencia la demanda de agua caliente sanitaria de un edificio. El ajuste garantiza que el sistema solar térmico se adapta a las necesidades particulares del usuario y del sitio donde se implementa, lo que mejora enormemente la rentabilidad.

El dimensionado del sistema de captación solar térmica es un proceso fundamental para garantizar que el sistema esté optimizado para satisfacer la demanda de ACS de manera eficiente.

Hemos calculado previamente la cantidad diaria de agua caliente requerida en la edificación, basándonos en el número de ocupantes y las prácticas de consumo específicas.

Este cálculo ha permitido establecer el perfil de demanda de ACS para cada una de las ubicaciones estudiadas. Se utiliza los datos de irradiación global horizontal e inclinada, ajustados por las pérdidas debido a la orientación, inclinación y sombras de los colectores solares, para obtener la irradiación neta disponible. Estos cálculos han



proporcionado una visión clara de la cantidad de energía solar efectiva que se puede capturar en cada ubicación.

Con los datos de demanda e irradiación ya calculados, se procede a la selección de colectores solares adecuados para el sistema. Además, se debe calcular el área necesaria para colectores solares que aseguren que se capture suficiente energía solar para cubrir la demanda de ACS. La selección y dimensionamiento precisos de los colectores aseguran que el sistema sea capaz de generar la cantidad necesaria de agua caliente, maximizando así su eficiencia y rendimiento.

El tamaño del sistema de almacenamiento es otro componente importante del diseño. Para la demanda diaria y el comportamiento térmico se dimensiona el tanque de almacenamiento de agua caliente para que sea el óptimo y pueda garantizar que el tanque pueda almacenar suficiente agua caliente durante todo el año, sin disminuir la eficiencia del sistema. Se necesita un almacenamiento óptimo para cuando la irradiación solar disminuya en el invierno el suministro de agua caliente sanitaria sea continuo.

También se debe realizar el cálculo de la capacidad del sistema, que incluye la dimensión de los componentes de circulación de fluidos. En esto se abarca la selección de bombas, tuberías y otros elementos necesarios para asegurar un flujo eficiente de agua caliente desde los colectores hasta el tanque de almacenamiento. También incorporaremos sistemas de control y regulación, como válvulas, termostatos y reguladores de flujo, para optimizar la operación del sistema y garantizar su rendimiento eficiente.

El dimensionamiento del sistema de captación solar se inicia teniendo datos de la media de horas de sol que lo vemos en el anexo 6 y de la temperatura ambiente media mensual de cada ciudad, en el anexo 7. El diseño del sistema depende en gran medida de estos datos para lograr un alto nivel de eficiencia porque determina la cantidad de energía solar disponible y también tiene un impacto en la eficiencia térmica. Ahora se presenta los cuadros de los valores mensuales para cada ciudad.

- Promedio de horas de sol diarias por mes.

HORAS DE SOL				
MES	LA CORUÑA	SEVILLA	QUITO	GUAYAQUIL
ENERO	9,389	9,924	5,8	5,8
FEBRERO	10,512	10,813	5,6	5,9
MARZO	11,933	11,959	6	6,5
ABRIL	13,419	13,161	6,4	6,5
MAYO	14,692	14,179	6,7	5,7
JUNIO	15,348	14,697	7,4	5
JULIO	15,034	14,949	7,9	4,7
AGOSTO	13,926	13,568	8,3	4,9
SEPTIEMBRE	12,505	12,483	7,9	4,8
OCTUBRE	11,028	11,087	6,8	4,4
NOVIEMBRE	9,722	9,856	5,9	5
DICIEMBRE	9,03	9,208	5,9	6
PROMEDIO	12,2	12,2	6,7	5,4

Tabla 41. Horas de sol de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Tablas IDAE, Norma Solar Térmica)

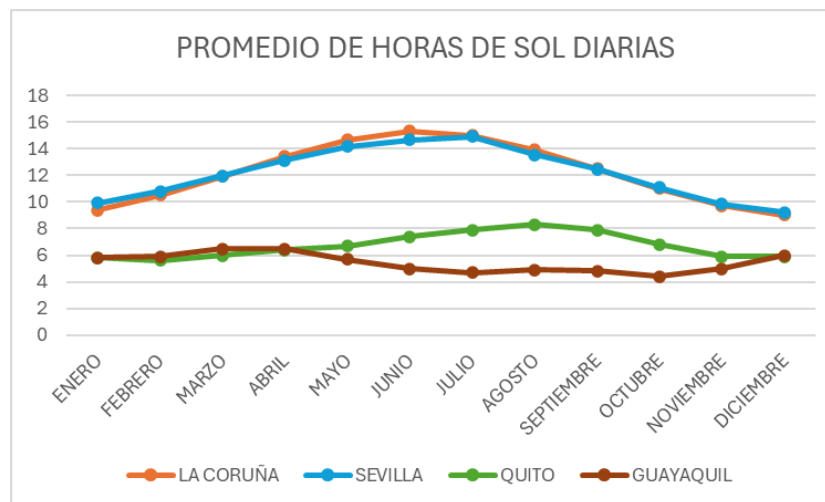


Figura 37. Horas de sol de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia)

TEMPERATURA AMBIENTE				
MES	LA CORUÑA	SEVILLA	QUITO	GUAYAQUIL
ENERO	12	11	11,1	24,8
FEBRERO	12	13	11,2	25
MARZO	14	14	11,2	25,3
ABRIL	14	17	11,3	25,3
MAYO	16	21	11,5	24,7
JUNIO	19	25	11,4	23,6
JULIO	20	29	11,5	23,1
AGOSTO	21	29	11,7	23
SEPTIEMBRE	20	24	11,5	23
OCTUBRE	17	20	11,3	23,3
NOVIEMBRE	14	16	11,1	23,7
DICIEMBRE	12	12	11,1	24,6
PROMEDIO	15,9	19,3	11,3	24,1

Tabla 42. Temperatura ambiente en La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Tablas IDAE, Norma Solar Térmica)

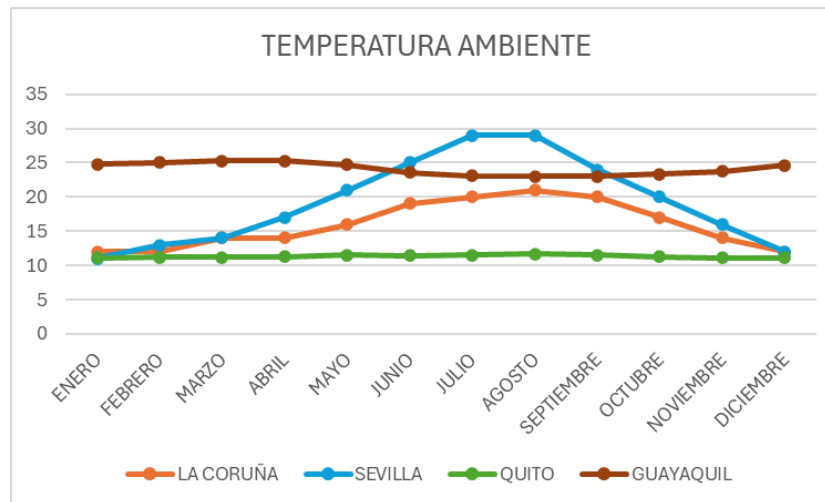


Figura 43. Temperatura ambiente en La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia)

### 7.9.1. SELECCIÓN DEL CAPTADOR SOLAR

Para realizar el estudio entre diferentes captadores comerciales se debe empezar calculando el área mínima de captación requerida en base a la demanda media diaria de calor, para ello se utiliza los siguientes valores:

- D= El promedio anual de la demanda media diaria de energía térmica, en MJ/día.

Se calcula el promedio de la demanda energética anual obtenida en el capítulo 7.4 del trabajo:

LA CORUÑA		
Demanda energética (MJ)		
ANUAL	157459,25	MJ/año
PROMEDIO DIARIO	431,40	MJ/día

Tabla 42. Demanda energética de La Coruña (Elaboración propia)

SEVILLA		
Demanda energética (MJ)		
ANUAL	148529,03	MJ/año
PROMEDIO DIARIO	406,93	MJ/día

Tabla 43. Demanda energética de Sevilla (Elaboración propia)

QUITO		
Demanda energética (MJ)		
ANUAL	161003,89	MJ/año
PROMEDIO DIARIO	441,11	MJ/día

Tabla 44. Demanda energética de Quito (Elaboración propia)

GUAYAQUIL		
Demanda energética (MJ)		
ANUAL	141009,71	MJ/año
PROMEDIO DIARIO	386,33	MJ/día

Tabla 45. Demanda energética de Guayaquil (Elaboración propia)

- $f =$  Contribución solar mínima. Obtenida en el apartado 7.2. de la tabla de contribución solar mínima.

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA		
PAÍS	CIUDAD	%
ESPAÑA	LA CORUÑA	30%
ESPAÑA	SEVILLA	70%
ECUADOR	QUITO	60%
ECUADOR	GUAYAQUIL	50%

Tabla 46. Contribución solar mínima de La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil (Elaboración propia)

- $H_{\beta}$  = Irradiación anual sobre el plano del captador. Obtenida del apartado 7.6. del trabajo.

CIUDAD	La Coruña	Sevilla	Quito	Guayaquil
$H_{\beta}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	4902,44	6417,78	6622,31	5921,28

Tabla 47. Irradiación anual sobre el plano del captador de cada ciudad (Elaboración propia)

$\eta$  = Rendimiento medio de la instalación, estimado como 0,35. (Cañada, 2008)

Entonces, con estos valores podemos calcular el área mínima de captación solar con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{D * f * 365}{H_{\beta} * \eta}$$

CIUDAD	La Coruña	Sevilla	Quito	Guayaquil
Áres (S)	27,53	46,29	41,68	34,02

Tabla 48. Rendimiento medio de las instalaciones de cada ciudad (Elaboración propia)

Además, de calcular el área mínima de captación requerida en base a la demanda media diaria de calor, debemos definir el rango de superficie según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), donde su finalidad es garantizar que la superficie de captación del sistema solar térmico esté dentro de unos límites, asegurando así la eficiencia energética y la viabilidad financiera del sistema.

En este rango, al área mínima garantiza que el sistema de solar térmico sea lo suficientemente grande como para satisfacer de manera eficiente las demandas básicas de agua caliente. El área mínima se calcula dividiendo la demanda anual de agua caliente sanitaria por el consumo diario, corrigiendo luego con un factor de 80. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$S_{min} = \frac{\text{Demanda ACS (litros/año)}}{365} \div 80$$

El rango de área máxima define el límite superior de la superficie de recogida, evitando que el sistema se vuelva demasiado grande y caro. También evita problemas excesivos como el desperdicio de energía y costes innecesarios. La fórmula para calcular la superficie máxima es similar a la anterior, pero con un factor de 50 en lugar de la situación 80. La fórmula de cálculo es:



$$S_{\max} = \frac{\text{Demanda\_ACS}}{365 \times 45}$$

En la sección 7.1 del trabajo obtenemos que la demanda de ACS es de 799350 litros al año, por lo que el rango quedaría de la siguiente manera:

$$S_{\min} = \frac{799,350}{365 \times 80} = \frac{799,350}{29,200} = 27.36 \text{ m}^2$$

$$S_{\max} = \frac{799,350}{365 \times 45} = \frac{799,350}{16,425} = 48.68 \text{ m}^2$$

Con las dos condiciones el rango de superficies para los colectores solares quedaría de la siguiente manera en cada ciudad:

CIUDAD	La Coruña	Sevilla	Quito	Guayaquil
Áres (Smin)	27,53	46,29	41,68	34,02
Áres (Smax)	48,68	48,68	48,68	48,68

Tabla 49. Rango de áreas mínimas y máximas para los colectores solares de cada ciudad (Elaboración propia)

Una vez determinada el rango de superficie de captación solar necesaria, se procede a la elección del captador. De cada una de las opciones de captadores solares, del anexo 8, 9 y 10, se debe obtener los siguientes valores de la ficha técnica: la superficie de captación, el factor óptico y el factor de pérdida.

MODELOS DE CAPTADORES SOLARES				
MARCA	MODELO	Superficie de Captación	Factor óptico	Factor de pérdida
VISSMANN	VITOSOLL 300-TM	1,51	0,504	1,29
VISSMANN	VITOSOLL 200-TM	1,63	0,79	1,85
ICARO	2.0 VF	1,87	0,755	3,72
ICARO	2.3 HF	1,87	0,737	4,043

Tabla 50. Modelo de captadores a evaluación para el diseño de las instalaciones (Elaboración propia)



Para escoger el modelo del captador más óptimo se calcula el rendimiento del captador, para esto será necesario calcular la irradiancia sobre la superficie con inclinación y orientación arbitraria como se muestra a continuación:

$$G_{\beta\gamma} = \frac{\dot{H}_{g\beta\gamma}}{3600 * n}$$

Donde:

$G_{\beta\gamma}$ : irradiancia incidente sobre el captador.

$\dot{H}_{g\beta\gamma}$ : irradiación neta.

$n$ : número de horas útiles de sol que llegan al captador.

Modelo de cálculo de irradiancia incidente sobre el captador para el mes de enero en La Coruña:

$$G_{\beta\gamma} = \frac{8,5252 \text{ MJ} * 10^6 \text{ J} * 1 \text{ hr}}{3600 \text{ sg} * 9,389 \text{ hr} * 1 \text{ MJ}}$$

$$G_{\beta\gamma} = 252,22 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Obtenida la irradiancia sobre la superficie se puede calcular el rendimiento del captador con la siguiente expresión:

$$n_{\beta\gamma} = n_0 - k * \frac{(T_m - T_a)}{G_{\beta\gamma}}$$

$n_{\beta\gamma}$ : rendimiento del captador.

$n_0$ : factor óptico (factor de ganancias).

$k$ : factor de pérdidas.

$T_m$ : temperatura media del fluido caloportador.

$T_a$ : Temperatura ambiente media mensual durante las horas de sol (°C). (Anexo III).

De los cinco captadores el que mejores resultados arrojó fue el siguiente:

<b>Captador</b>	<b>VITOSOLL 200-TM</b>
<b>S= 1,63</b>	<b>Factor optico = 0,79</b> <b>Factor perdidas = 1,85</b>

Tabla 51. Valores del captador VITOSOLL 200-TM (Elaboración propia)

Modelo de cálculo del rendimiento del captador para el mes de enero:

$$n\beta\gamma = 0,79 - 1,85 \frac{w}{m^2 * ^\circ C} * \frac{(60 ^\circ C - 12 ^\circ C)}{252,22 \frac{w}{m^2}}$$

$$n\beta\gamma = 0,44$$

El cálculo para todos los meses quedaría así:

MES	Horas sol	Rendimiento m <sup>2</sup> captador		
		Gβγ	T ambiente	rendimiento
Enero	9,389	252,22	12	0,44
Febrero	10,512	282,61	12	0,48
Marzo	11,933	296,90	14	0,50
Abril	13,419	245,46	14	0,44
Mayo	14,692	257,51	16	0,47
Junio	15,348	250,93	19	0,49
Julio	15,034	278,49	20	0,52
Agosto	13,926	283,57	21	0,54
Septiembre	12,505	328,37	20	0,56
Octubre	11,028	354,69	17	0,57
Noviembre	9,722	279,95	14	0,49
Diciembre	9,03	267,85	12	0,46
		W/m <sup>2</sup>	°C	---

Tabla 52. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia)

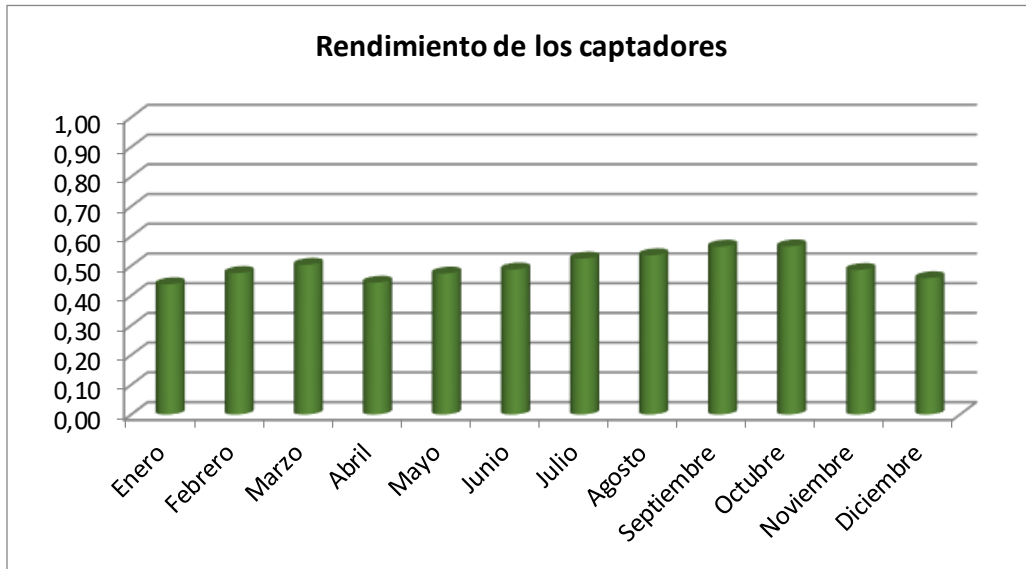


Figura 38. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia)

Procedemos a calcular la irradiación útil. El modelo de cálculo de la energía total que el sistema puede proporcionar en un mes ( $Q_{mes}$ ) para el mes de enero es el siguiente:

$$Q_{mes} = \dot{H}_g \beta \gamma * n_{\beta \gamma} * N_{mes}$$

$$Q_{mes} = 8,5252 \frac{MJ}{día} * 0,44 * 31 \frac{día}{mes}$$

$$Q_{mes} = 115,74 \frac{MJ}{mes}$$

En la instalación se producen pérdidas por distribución, intercambio y acumulación. Estas pérdidas se suelen cuantificar en un 10%. La fórmula para el cálculo de la energía útil disponible después de considerar las pérdidas generales de instalación ( $Q_{útil}$ ) para el mes de enero es:

$$Q_{util} = 0,9 * Q_{mes}$$

$$Q_{util} = 0,9 * 115,44 \frac{MJ}{mes}$$

$$Q_{util} = 104,16 \frac{MJ}{mes}$$

Ahora se calcula la superficie total de captación necesaria para alcanzar un FS de 100%. Modelo de cálculo de S captador para el mes de enero:



$$Stotal = \frac{Qt, \text{mes}}{Qutil, \text{mes}}$$

$$Stotal = \frac{14182,22 \frac{MJ}{\text{mes}}}{104,16 \frac{MJ}{\text{mes}}}$$

$$Stotal = 136,16 m^2$$

Modelo de cálculo de Numero de captadores para un FS de 100% en el mes de enero:

$$Nc = \frac{Stotal}{Sc}$$

$$Nc = \frac{136,16 m^2}{1,63 m^2}$$

$$Nc = 84$$

El Factor de Suficiencia (FS) es un indicador de qué tan bien el sistema de recolección satisface las necesidades energéticas de un número determinado de colectores solares. Según los cálculos, FS 100% significa que el sistema puede satisfacer plenamente la necesidad de agua caliente. Modelo de cálculo de FS en el mes de enero con 29 captadores que cubriría un área de  $47,27 m^2$  quedando dentro del rango establecido anteriormente.

$$FS = \frac{Nc \text{ elegido}}{Nc 100\%} * 100$$

$$FS = \frac{29}{84} * 100$$

$$FS = 34,72$$

Modelo de cálculo de Aporte solar en el mes de enero:

$$\text{Aporte solar} = \frac{FS * Qt, \text{mes}}{100}$$

$$\text{Aporte solar} = \frac{34,72 * 14182,22}{100}$$

$$\text{Aporte solar} = 4923,75 \frac{MJ}{\text{mes}}$$

A continuación, se muestran las tablas de resultados.

**Nº de captadores elegido = 29**

MES	Aportación Solar (MJ)					
	Qmes	Qutil,mes	S captador	Ncapt. 100%	FS	Aporte Solar
Enero	115,74	104,16	136,16	84	34,72	4923,75
Febrero	142,48	128,23	99,90	61	47,32	6061,32
Marzo	199,03	179,13	77,59	48	60,92	8467,29
Abril	157,70	141,93	92,83	57	50,92	6709,11
Mayo	200,08	180,08	74,03	45	63,85	8512,20
Junio	202,87	182,58	69,16	42	68,35	8630,63
Julio	244,97	220,47	56,61	35	83,50	10421,60
Agosto	236,03	212,43	58,75	36	80,46	10041,47
Septiembre	250,41	225,37	54,81	34	86,24	10653,16
Octubre	246,95	222,25	58,71	36	80,52	10505,98
Noviembre	142,86	128,58	102,47	63	46,13	6077,77
Diciembre	123,75	111,38	124,79	77	37,88	5264,88
	<b>MJ/mes</b>	<b>MJ/mes</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	---	---	<b>MJ/mes</b>
					<b>FS = 61,14</b>	<b>96269,15</b>

Tabla 53. Aportación solar mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia)

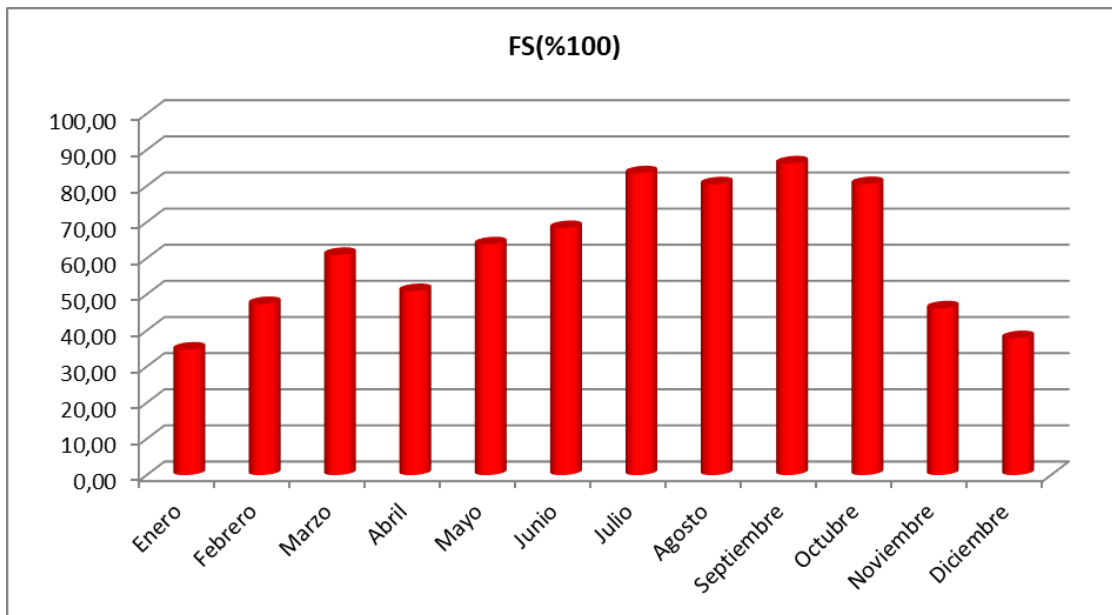


Figura 39. Aportación solar mensual del captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia)

Eligiendo 29 captadores no se supera el 100% de FS en ningún mes. Teniendo un FS de 61,14 teniendo un rendimiento aceptable.

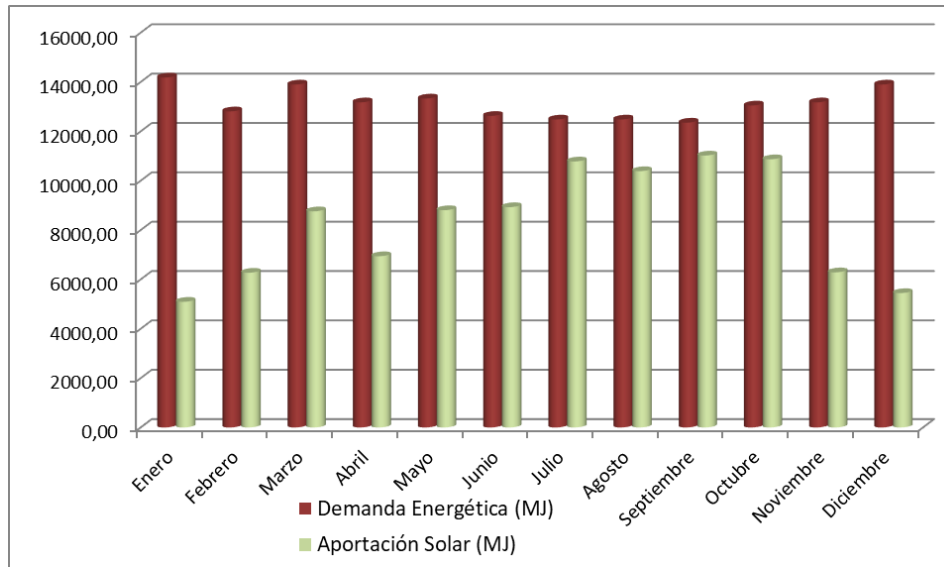


Figura 40. Comparación de la demanda energética y la aportación solar con el captador VITOSOLL 200-TM en La Coruña (Elaboración propia)

A continuación, se muestra un cuadro de cada ciudad con los resultados del Factor de Suficiencia con cada tipo de colector. Se tomaron en cuenta dos factores fundamentales:

- Que la cantidad de paneles sumen un área total que se encuentre dentro del rango calculado para cada ciudad.
- Que solamente un mes sobre pase el 100% del FS, o dos meses pero que sólo uno tenga más del 110%.

CAPTADOR	VIESSMANN VITOSOLL 200		VIESSMANN VITOSOLL 300		ICARO 2.0 VF		ICARO 2.3 HF	
	CANTIDAD	FS	CANTIDAD	FS	CANTIDAD	FS	CANTIDAD	FS
LA CORUÑA	29	61,14	32	37,75	26	24,6	26	13,56
SEVILLA	X	X	31	62,64	X	X	X	X
QUITO	27	94,11	32	64,64	26	79,74	26	69,92
GUAYAQUIL	23	87,55	32	71,13	25	87,57	26	85,39

Tabla 54. Resultados de los factores de suficiencia con cada modelo de captador para cada ciudad (Elaboración propia)

Con estos resultados, elegimos los siguientes captadores para cada ciudad con la cada correspondiente:

CIUDAD	CAPTADOR	CANTIDAD
LA CORUÑA	VIESSMANN VITOSOLL 200-TM	29
SEVILLA	VIESSMANN VITOSOLL 300-TM	31
QUITO	VIESSMANN VITOSOLL 200-TM	27
GUAYAQUIL	VIESSMANN VITOSOLL 200-TM	25

Tabla 55. Modelos de captadores seleccionados para cada ciudad (Elaboración propia)

Ahora se muestra los cuadros de valores y las gráficas de los resultados utilizando la cantidad seleccionada de cada captador para cada una de las tres ciudades restantes:

- Sevilla:

MES	Horas sol	Rendimiento m <sup>2</sup> captador		
		Gβy	T ambiente	rendimiento
Enero	9,92	272,04	11	0,27
Febrero	10,81	340,27	13	0,33
Marzo	11,96	360,76	14	0,34
Abril	13,16	396,27	17	0,36
Mayo	14,18	400,37	21	0,38
Junio	14,70	405,89	25	0,39
Julio	14,95	414,08	29	0,41
Agosto	13,57	448,21	29	0,41
Septiembre	12,48	415,88	24	0,39
Octubre	11,09	359,59	20	0,36
Noviembre	9,86	326,68	16	0,33
Diciembre	9,21	289,86	12	0,29
		W/m <sup>2</sup>	°C	---

Tabla 56. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia)

Se seleccionaron 31 captadores modelos Viessmann Vitosoll 300-TM.

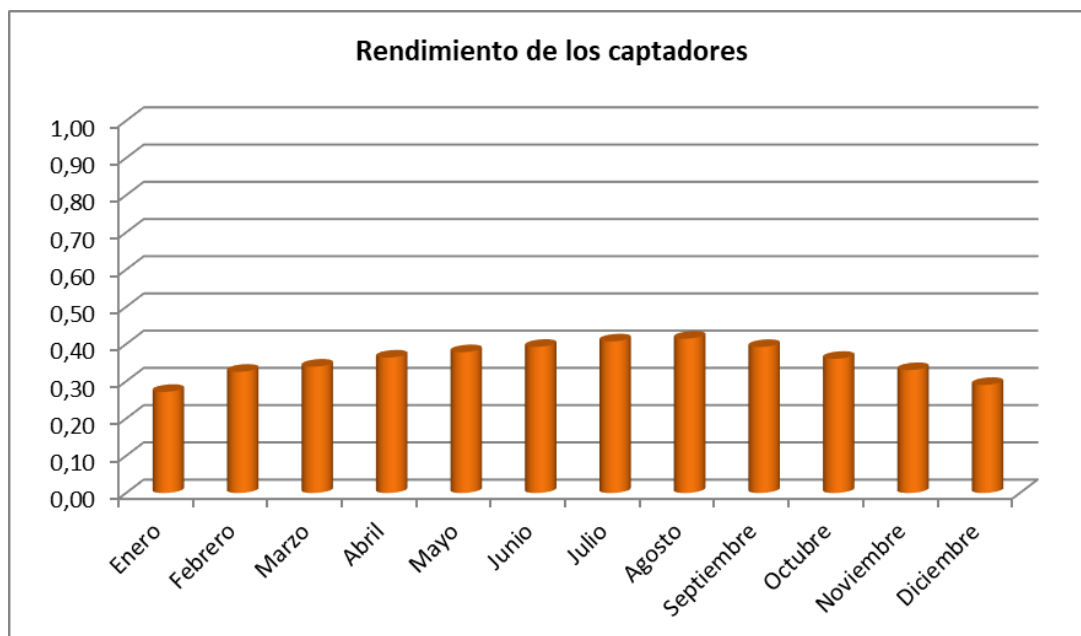


Figura 41. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia)



Nº de captadores elegido = 31			46,3	46,81	54,8	
			S min	S actual	S max	
Aportación Solar (MJ)						
MES	Qmes	Qutil,mes	S captador	Ncapt. 100%	FS	Aporte Solar
Enero	81,84	73,66	188,69	125	24,81	3447,98
Febrero	120,84	108,75	115,43	76	40,55	5090,80
Marzo	163,47	147,12	90,62	60	51,66	6886,67
Abril	205,04	184,53	68,43	45	68,41	8638,03
Mayo	239,70	215,73	57,85	38	80,91	10098,18
Junio	253,04	227,74	49,42	33	94,72	10660,42
Julio	281,45	253,31	43,67	29	107,19	11857,30
Agosto	281,50	253,35	43,66	29	107,21	11859,36
Septiembre	219,97	197,97	55,46	37	84,40	9267,20
Octubre	160,40	144,36	86,45	57	54,14	6757,38
Noviembre	114,84	103,35	124,83	83	37,50	4838,00
Diciembre	86,49	77,84	178,54	118	26,22	3643,89
	<b>MJ/mes</b>	<b>MJ/mes</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>MJ/mes</b>
				<b>FS =</b>	<b>62,64</b>	<b>93045,21</b>

Tabla 57. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia)

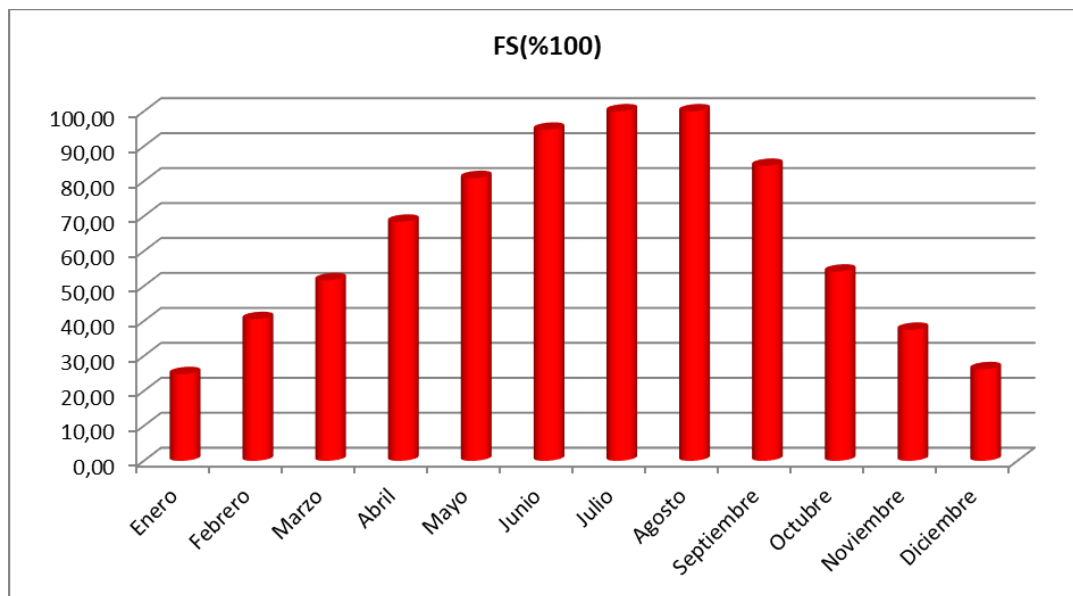


Figura 42. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 300-TM en Sevilla (Elaboración propia)

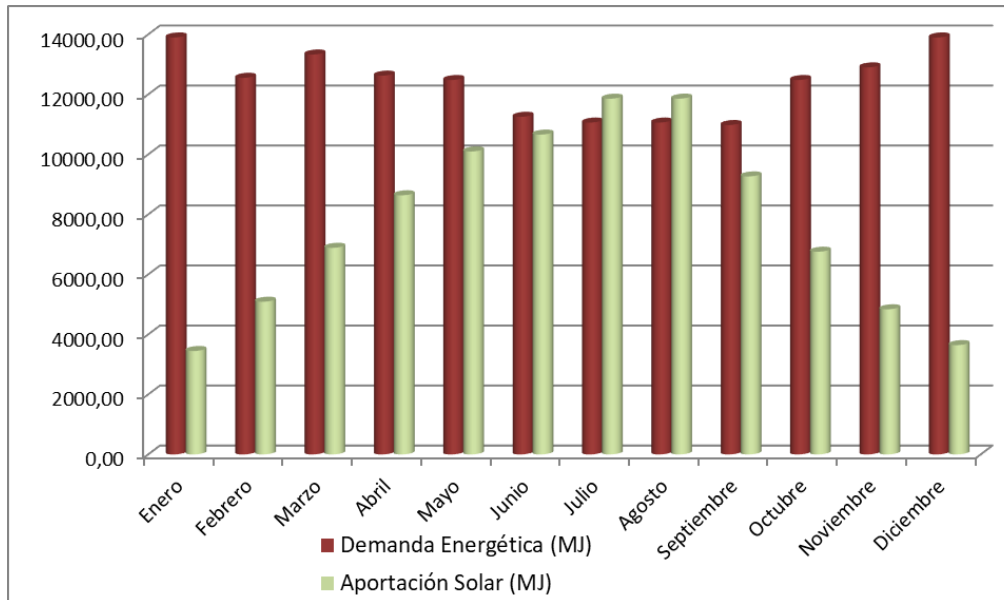


Figura 43. Comparación de la demanda energética y la aportación solar de los captadores en Sevilla (Elaboración propia)

Por las condiciones geográficas y climáticas de Sevilla los porcentajes de sus rendimientos mensuales oscilan entre un 30% a un 40%, lo que afecta al momento de elegir los captadores. Elegir los captadores solares más eficientes para el edificio de Sevilla fue un proceso complicado, ya que tres de las cuatro opciones evaluadas no cumplían los requisitos. Los captadores seleccionados cumplen con las áreas mínima y máxima y superan el 100% del factor de oferta (FS) en sólo dos meses del año (julio y agosto), pero no por encima del 110%. El FS anual es 62,64%, valor generalmente aceptado, sin embargo, los meses más críticos, enero y diciembre, presentaron FS de 24,81% y 26,22%, respectivamente. La reducción de la eficiencia durante los meses fríos se debe en parte a los efectos de las altas temperaturas del verano y la radiación solar, que limitan la capacidad de permitir FS superiores al 100% durante más de dos meses.

- Quito:

MES	Horas sol	Rendimiento m <sup>2</sup> captador		
		Gβy	T ambiente	rendimiento
Enero	5,8	751,82	11,1	0,67
Febrero	5,6	778,85	11,2	0,67
Marzo	6	732,81	11,2	0,67
Abril	6,4	657,17	11,3	0,65
Mayo	6,7	608,36	11,5	0,64
Junio	7,4	568,44	11,4	0,63
Julio	7,9	578,33	11,5	0,63
Agosto	8,3	566,65	11,7	0,63
Septiembre	7,9	617,82	11,5	0,64
Octubre	6,8	675,03	11,3	0,66
Noviembre	5,9	780,31	11,1	0,67
Diciembre	5,9	754,91	11,1	0,67
		W/m <sup>2</sup>	°C	---

Tabla 58. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia)

Se seleccionaron 27 captadores modelos Viessmann Vitosoll 200-TM.

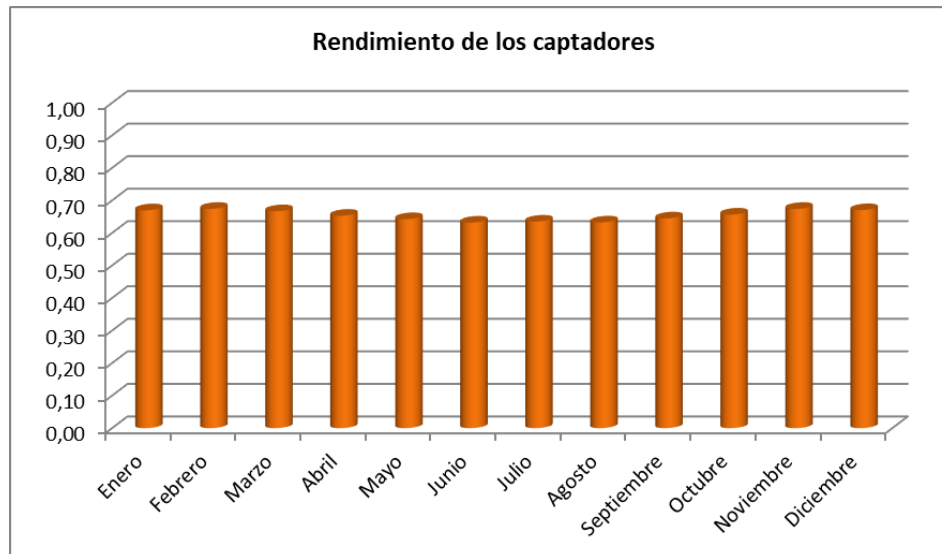


Figura 44. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia)

Nº de captadores elegido = 27		41,7	44,01	48,7		
		S min	S actual	S max		
Aportación Solar (MJ)						
MES	Qmes	Qutil,mes	S captador	Ncapt. 100%	FS	Aporte Solar
Enero	325,89	293,30	46,81	29	94,02	12908,04
Febrero	296,36	266,72	46,20	28	95,26	11738,44
Marzo	327,20	294,48	46,43	28	94,79	12959,88
Abril	296,57	266,92	49,57	30	88,79	11747,00
Mayo	292,27	263,04	51,87	32	84,85	11576,37
Junio	287,04	258,34	50,90	31	86,47	11369,41
Julio	323,70	291,33	46,93	29	93,78	12821,30
Agosto	331,88	298,70	45,39	28	96,96	13145,61
Septiembre	339,88	305,89	43,25	27	101,75	13462,21
Octubre	336,32	302,69	45,35	28	97,03	13321,31
Noviembre	335,16	301,64	44,14	27	99,72	13275,20
Diciembre	333,12	299,80	45,89	28	95,91	13194,41
	<b>MJ/mes</b>	<b>MJ/mes</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>MJ/mes</b>
					<b>FS = 94,11</b>	<b>151519,17 MJ</b>

Tabla 59. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia)

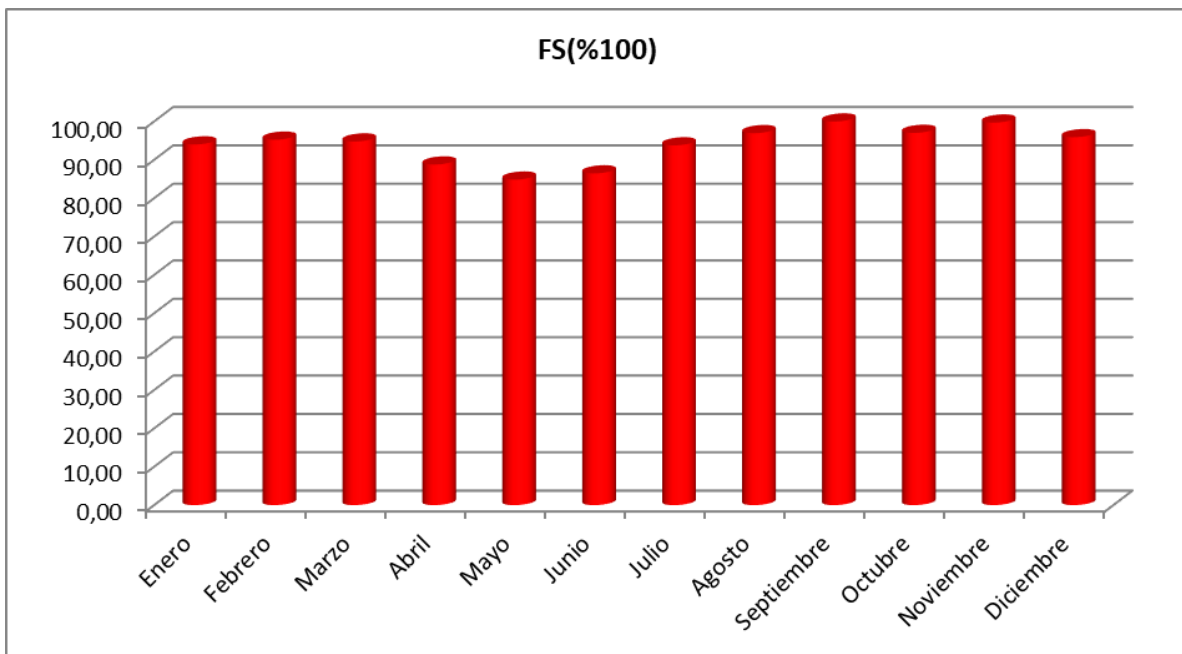


Figura 45. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Quito (Elaboración propia)

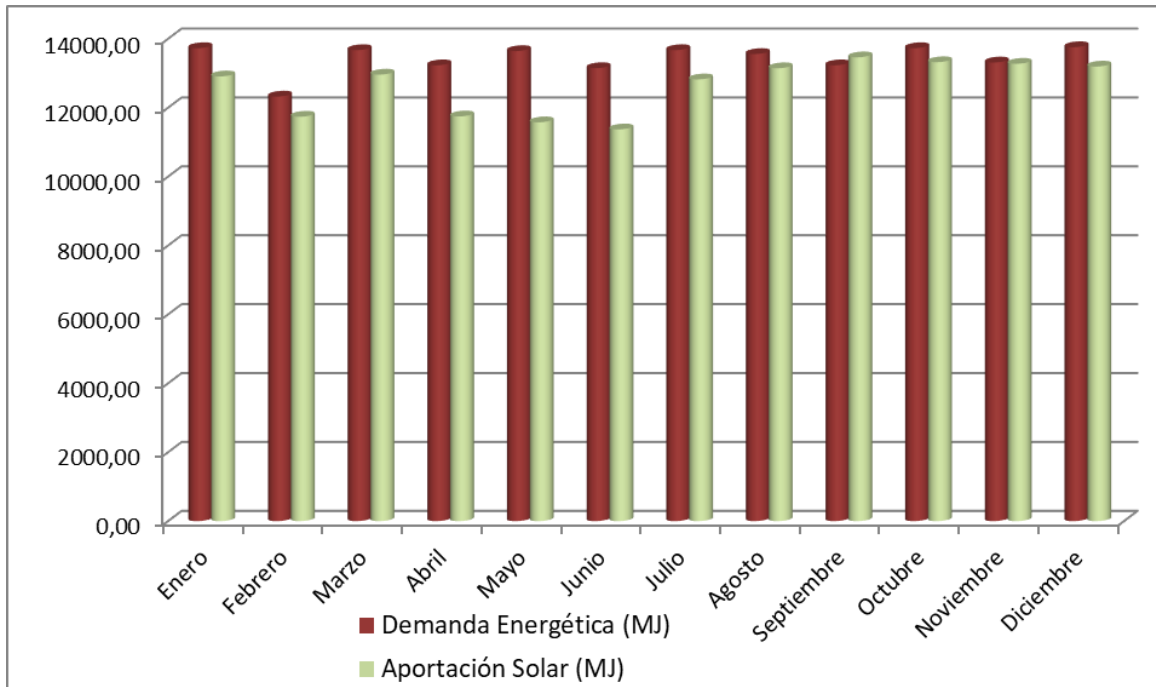


Figura 46. Comparación de la demanda energética y la aportación solar de los captadores en Quito (Elaboración propia)

El desempeño de los recolectores seleccionados se mantuvo consistentemente por encima del 63% durante todo el año con poca variación mensual. Esta estabilidad facilita la elección del mejor captador que aproveche la luz del día y temperaturas similares en todos los meses. Con el colector solar seleccionado, FS anual alcanza el 94,11%, sólo un mes supera el 100% y ningún otro mes está por debajo del 84%. El aporte de energía solar cubre casi por completo las necesidades del edificio, demostrando la excelente capacidad del sistema para cubrir las necesidades de agua caliente sanitaria. Este ambiente favorable demuestra cómo la ubicación ecuatorial de Quito optimiza el potencial de la energía solar, maximizando la eficiencia de los captadores solares y asegurando un suministro fiable y casi completo de agua caliente sanitaria.

- Guayaquil

MES	Horas sol	Rendimiento m <sup>2</sup> captador		
		Gβy	T ambiente	rendimiento
Enero	5,8	601,73	24,8	0,68
Febrero	5,9	634,30	25	0,69
Marzo	6,5	631,69	25,3	0,69
Abril	6,5	584,82	25,3	0,68
Mayo	5,7	687,07	24,7	0,69
Junio	5	727,67	23,6	0,70
Julio	4,7	800,80	23,1	0,70
Agosto	4,9	827,54	23	0,71
Septiembre	4,8	933,96	23	0,72
Octubre	4,4	910,31	23,3	0,72
Noviembre	5	888,28	23,7	0,71
Diciembre	6	718,01	24,6	0,70
		W/m <sup>2</sup>	°C	---

Tabla 60. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia)

Se seleccionaron 23 captadores modelos Viessmann Vitosoll 200-TM.

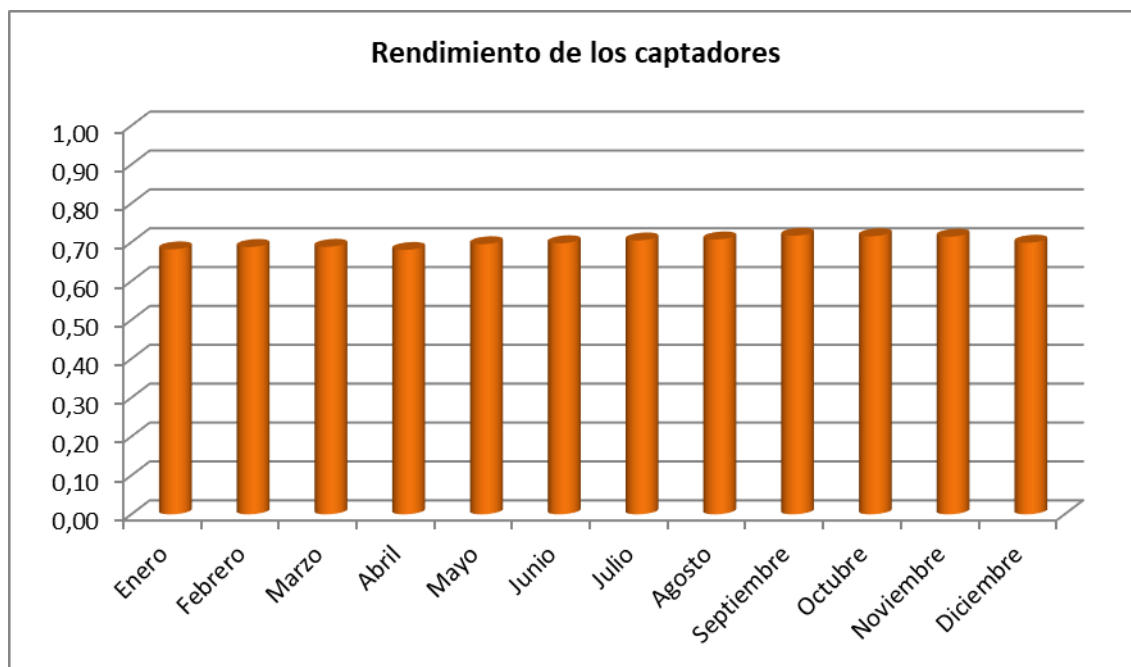


Figura 47. Rendimiento mensual del captador VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia)

Nº de captadores elegido = 23			34,0	37,49	48,7	
			S min	S actual	S max	
Aportación Solar (MJ)						
MES	Qmes	Qutil,mes	S captador	Ncapt. 100%	FS	Aporte Solar
Enero	265,55	238,99	49,02	30	76,48	8959,76
Febrero	259,51	233,55	45,30	28	82,75	8755,97
Marzo	315,43	283,89	40,86	25	91,74	10642,94
Abril	279,27	251,34	44,67	27	83,93	9422,74
Mayo	303,74	273,36	43,16	26	86,85	10248,33
Junio	274,06	246,65	47,63	29	78,71	9247,03
Julio	296,02	266,42	46,42	28	80,77	9988,14
Agosto	320,07	288,06	43,03	26	87,13	10799,51
Septiembre	347,01	312,31	37,97	23	98,74	11708,39
Octubre	319,79	287,81	42,48	26	88,26	10790,01
Noviembre	342,68	308,41	37,92	23	98,88	11562,27
Diciembre	335,96	302,37	39,02	24	96,07	11335,67
	MJ/mes	MJ/mes	m <sup>2</sup>	---	---	MJ/mes
				FS =	87,55	123460,74

Tabla 61. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia)

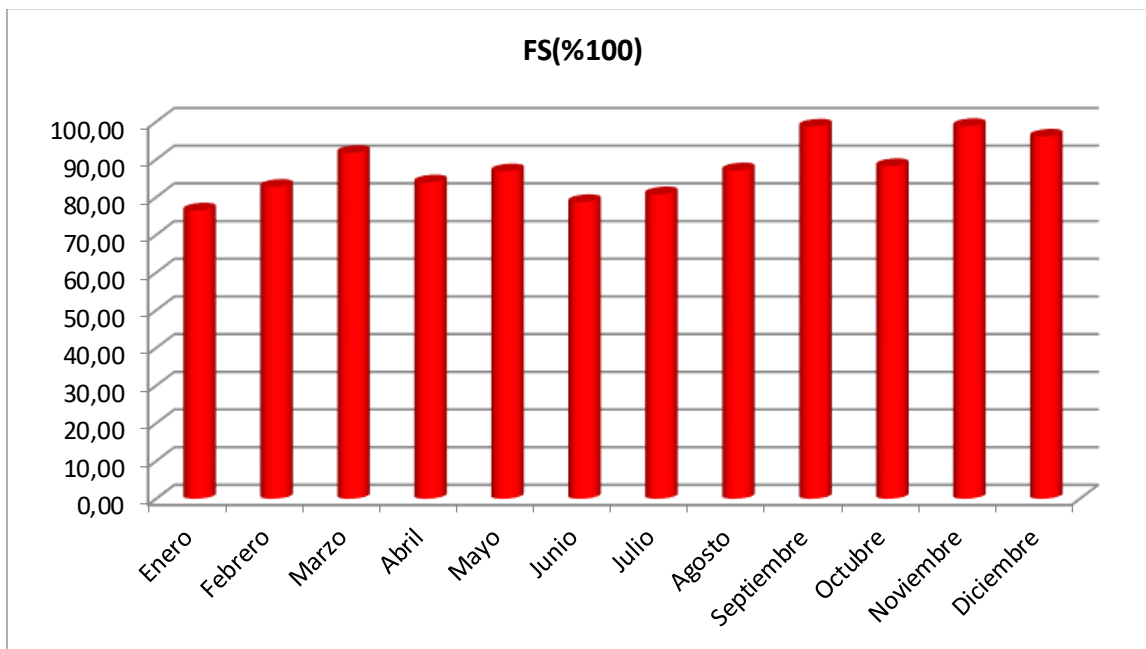


Figura 48. Factor de suficiencia de los captadores VITOSOLL 200-TM en Guayaquil (Elaboración propia)

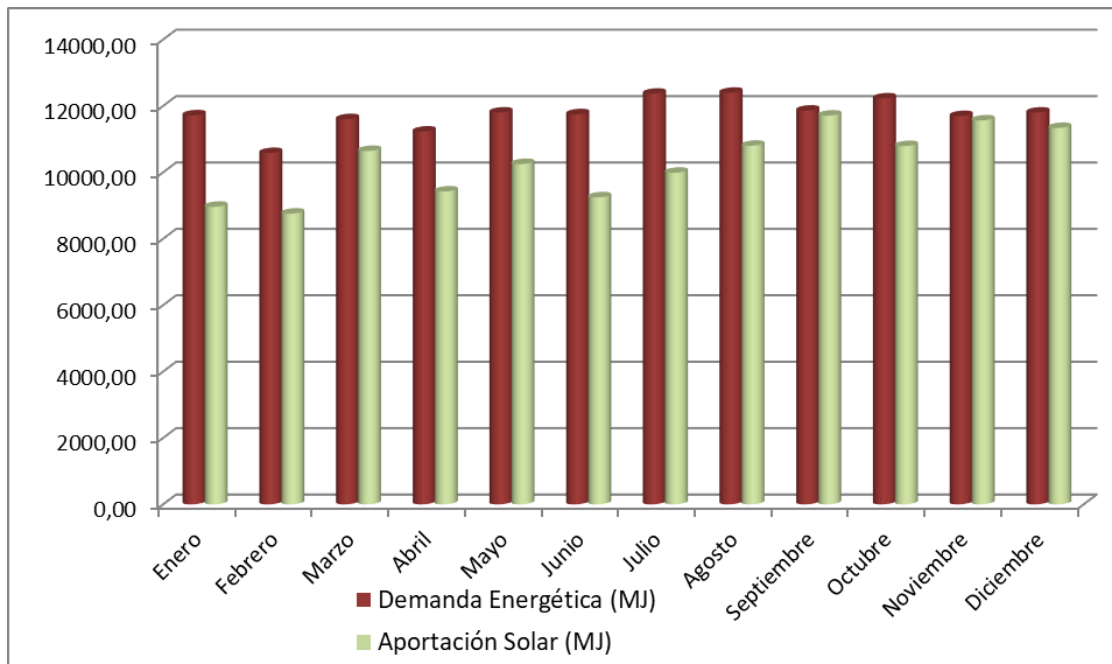


Figura 49. Comparación de la demanda energética y la aportación solar de los captadores en Guayaquil (Elaboración propia)

En Guayaquil, el rendimiento mensual de los captadores solares seleccionados fue incluso superior al de Quito. Se requirió la instalación de solo 23 captadores, siendo la ciudad que necesitó menos área para la colocación de los paneles en su edificación. El factor de suministro (FS) anual alcanzó el 87,55%, y aunque se intentó mejorar esta cifra aumentando la cantidad de captadores a 24, se observó que el FS en los meses de julio y agosto superaba el 110%. Todos los modelos de captadores evaluados mostraron un buen rendimiento y un sólido FS anual. Dado que las diferencias de rendimiento entre los modelos no eran significativas, se optó por el modelo que requería la menor cantidad de captadores, para poder optimizar así el espacio y los costos asociados.

### 7.9.2. DISEÑO DE CONEXIONES DE LOS CAPTADORES

Como se indica el HE-4 CTE se debe instalar los captadores en filas con la misma cantidad de elemento con un mínimo de 3 por línea hasta un máximo de 6. Para cumplir esta parte de la norma la cantidad de los captadores se ven variado mínimamente de la siguiente manera:



CIUDAD	CANTIDAD	A	POR HILERA	CANTIDAD	A
LA CORUÑA	29	47,27	6	30	48,90
SEVILLA	31	46,81	4	32	48,32
QUITO	27	44,01	4	28	45,64
GUAYAQUIL	25	40,75	5	25	40,75

Tabla 62. Diseño de conexiones para cada ciudad de los captadores, cantidades, hileras y áreas (Elaboración propia)

Cada fila se las conectará entre sí en paralelo, instalando válvulas de cierre a la entrada y a la de las diferentes baterías de los captadores solares., tal cual indica la normativa. Los captadores de cada fila también serán conectados en paralelo, generando un conexionado completo de todos los captadores solares del sistema.

- La Coruña: Se aumento un captador lo que significó que el área total supere por  $0,2m^2$  al máximo algo que no afecta de gran manera al rendimiento, y su FS aumenta a 63,25%. Su diseño será de 5 filas de 6 captadores en cada una.

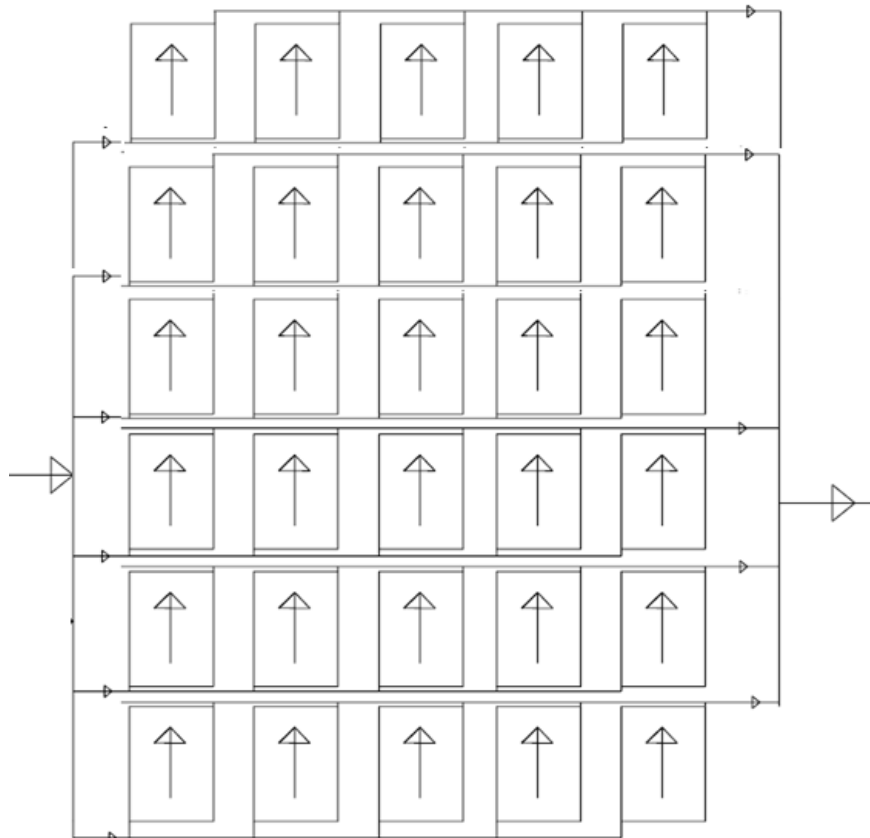


Figura 50. Diseño de conexiones de los captadores en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla: Se aumentó un captador lo que aumenta su FS a 64,67%, pero por décimas dos meses del año (julio y agosto) superan el 110% de su FS mensual, algo tampoco significativo. Su diseño será de 8 filas con 4 captadores solares en cada una.

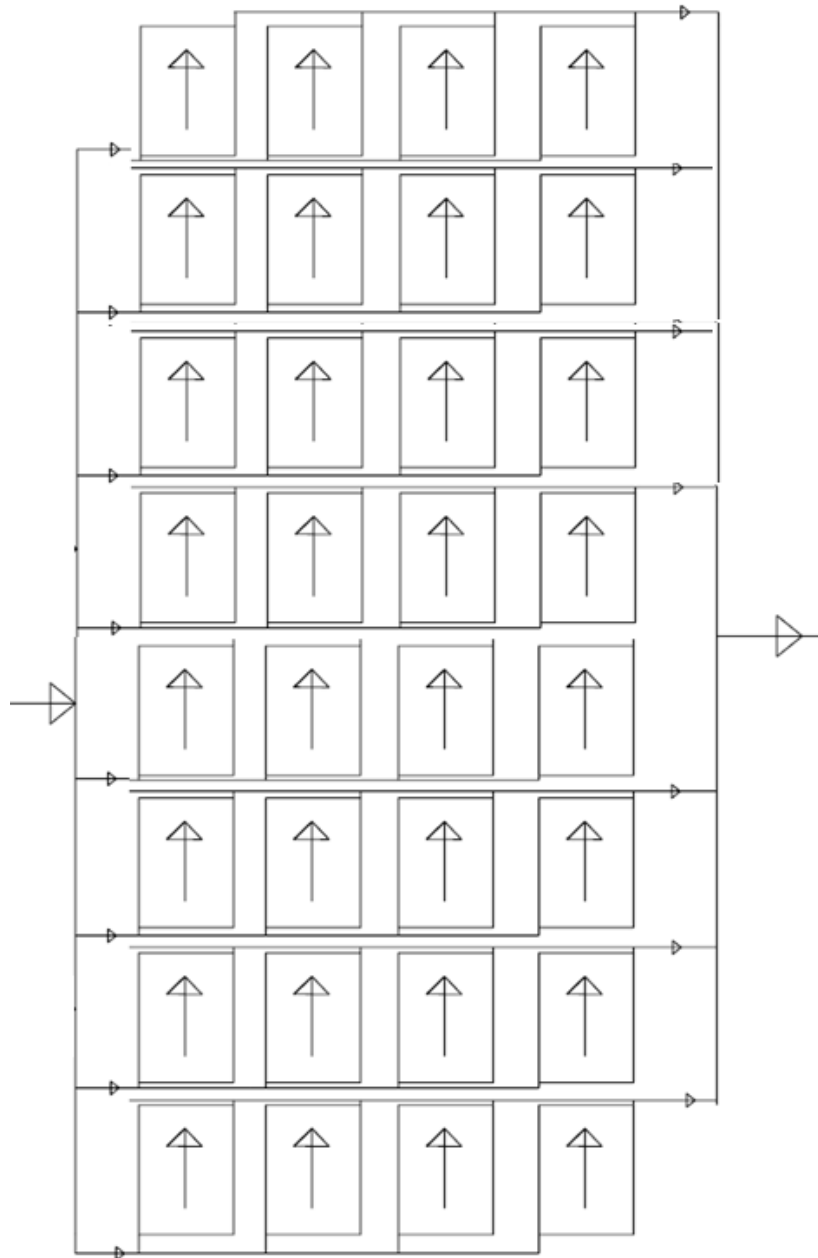


Figura 51. Diseño de conexiones de los captadores en Sevilla (Elaboración propia)

- Quito: De igual manera se aumenta un captador más en su dimensionado, donde 4 meses superan por décimas el 100% pero su FS aumenta hasta un 97,59%. Estará diseñado con 7 filas con 4 captadores en cada una de ellas.

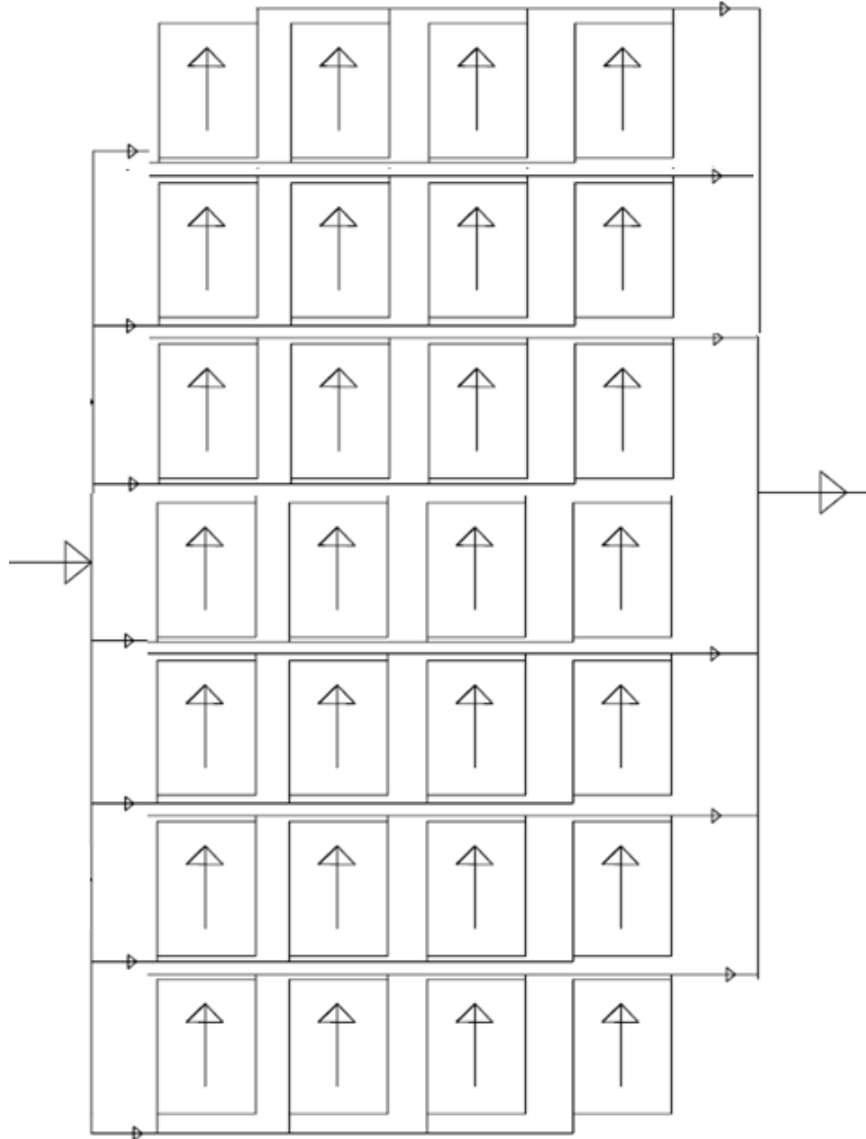


Figura 52. Diseño de conexiones de los captadores en Quito (Elaboración propia)

- Guayaquil: Mantiene su cantidad de captadores solares. Se lo diseña con 5 filas de 5 captadores solares.

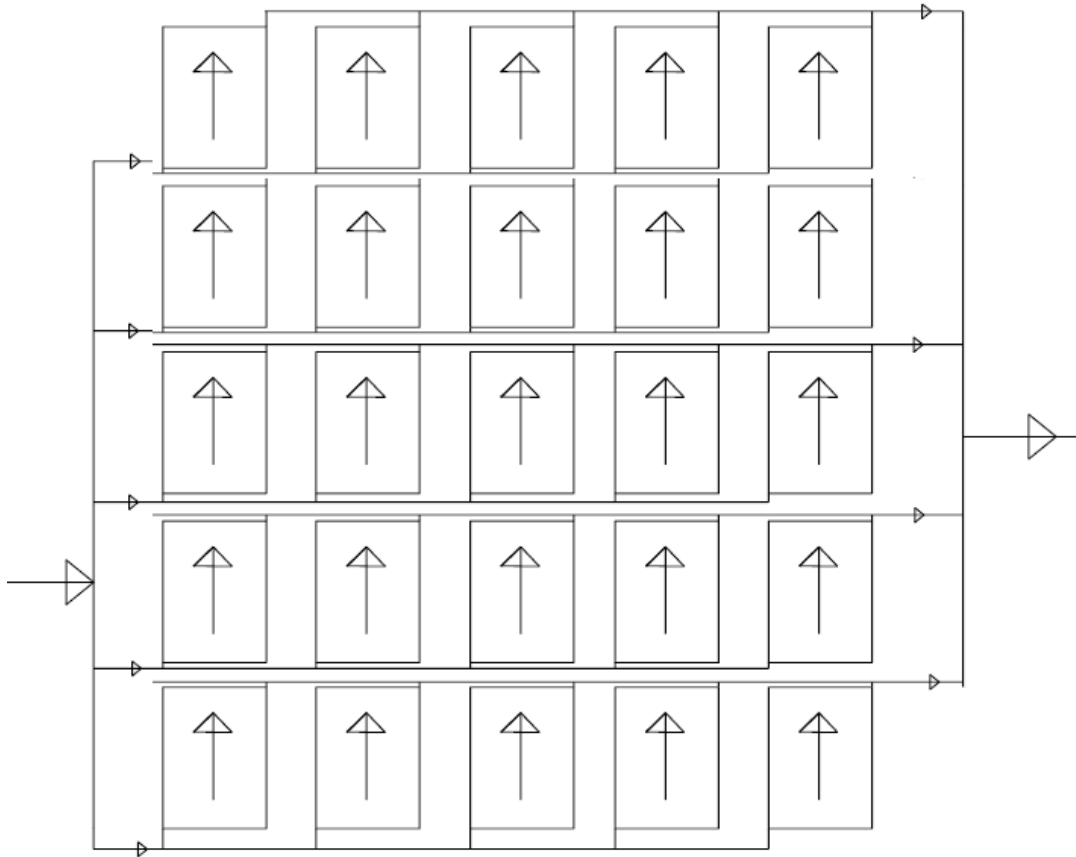


Figura 53. Diseño de conexiones de los captadores en Guayaquil (Elaboración propia)

### 7.9.3. COMPARACIÓN DE LOS CAPTADORES SOLARES SELECCIONADOS

En la siguiente tabla vemos como las dos ciudades de Ecuador presentan un mejor Factor de Suministro con sus captadores, aun utilizando menos unidades.

CIUDAD	CAPTADOR	CANTIDAD	FS
LA CORUÑA	VISSMANN VITOSOLL 200-TM	30	63,25
SEVILLA	VISSMANN VITOSOLL 300-TM	32	64,67
QUITO	VISSMANN VITOSOLL 200-TM	28	97,59
GUAYAQUIL	VISSMANN VITOSOLL 200-TM	25	87,55

Tabla 63. Cantidades de captadores por ciudad y sus factores de suficiencia por ciudad (Elaboración propia)

También el rendimiento de los captadores es mucho más favorable para ambas ciudades ecuatorianas, se entiende por su ubicación geográfica y su clima estable a lo largo del año.

Rendimiento captador				
CIUDAD	LA CORUÑA	SEVILLA	QUITO	GUAYAQUIL
Enero	44%	27%	67%	68%
Febrero	48%	33%	67%	69%
Marzo	50%	34%	67%	69%
Abril	44%	36%	65%	68%
Mayo	47%	38%	64%	69%
Junio	49%	39%	63%	70%
Julio	52%	41%	63%	70%
Agosto	54%	41%	63%	71%
Septiembre	56%	39%	64%	72%
Octubre	57%	36%	66%	72%
Noviembre	49%	33%	67%	71%
Diciembre	46%	29%	67%	70%

Tabla 64. Rendimientos de los captadores por ciudad (Elaboración propia)

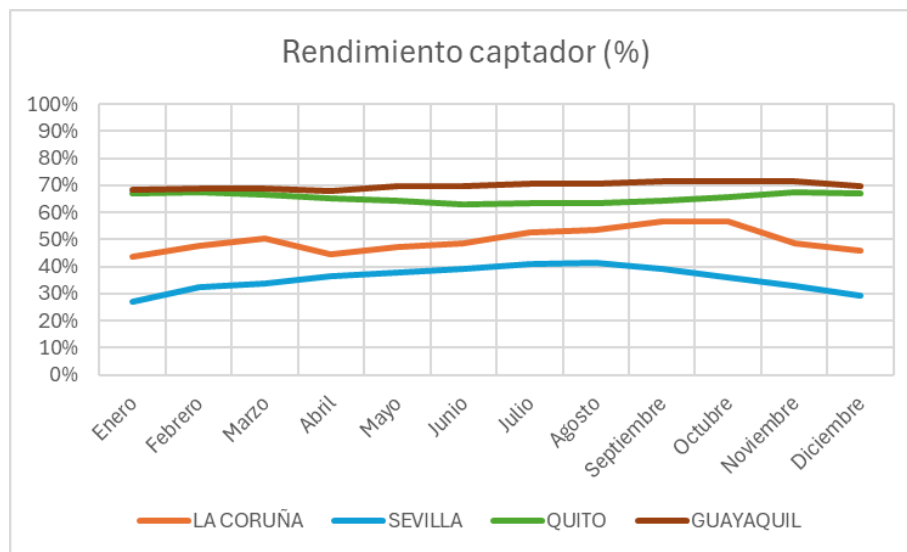


Figura 54. Rendimiento de los captadores por ciudad (Elaboración propia)

El rendimiento de los captadores solares seleccionados para Quito y Guayaquil se caracteriza por ser alto y bastante estable durante todo el año, con poca variación entre los meses de menor y mayor rendimiento. En comparación, Sevilla tiene una curva de tipos más pronunciada que sube en verano y baja en invierno, con una diferencia significativa de hasta el 14% entre enero y julio y agosto. Por otro lado, la producción de A Coruña también muestra una variación estacional similar a la de



Sevilla, con una diferencia del 13% entre los meses de mayor y menor producción. Mientras que los filiales del Deportivo vencieron al Sevilla por 14, el rendimiento del FS fue ligeramente inferior.

## 7.10. DIMENSIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO TÉRMICO

### 7.10.1. VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Se requiere que el sistema de acumulación se ajuste a la demanda, ya que, de acuerdo con el Código Técnico, no se puede conectar ningún sistema de generación auxiliar. Se establecen las limitaciones para el volumen de acumulación de acuerdo con la ecuación

$$50 \leq V/A \leq 180$$

*Diseño del volumen de acumulación. (H-4 CTE, CTE, 2013)*

Dado que V es el volumen total de acumulación en litros y A es el total del área de los captadores expresado en  $m^2$ .

Dentro del capítulo anterior se puede apreciar las áreas de captación total en cada ciudad:

CIUDAD	CANTIDAD	A
LA CORUÑA	30	48,90
SEVILLA	32	48,32
QUITO	28	45,64
GUAYAQUIL	25	40,75

*Tabla 65. Cantidad de captadores y sus áreas de captación por ciudad (Elaboración propia)*

Además, se debe tener en cuenta que el volumen total de captación que se elegirá para cada ciudad debe cubrir la demanda diaria de agua caliente sanitaria de 2190 litros.

Los cálculos arrojaron los siguientes resultados:

CIUDAD	A	V (litros)	V/A
LA CORUÑA	48,9	2500	51,1
SEVILLA	48,32	2500	51,7
QUITO	45,64	2300	50,4
GUAYAQUIL	40,75	2200	54,0

*Tabla 66. Límites de volumen de acumulación para cada ciudad (Elaboración propia)*

Con los valores obtenidos elegimos los siguientes captadores para cada ciudad:

CIUDAD	ACUMULADOR
LA CORUÑA	CORDIVARI DAB 2.500
SEVILLA	CORDIVARI DAB 2.500
QUITO	CORDIVARI DAB 2.500
GUAYAQUIL	CORDIVARI DAB 2.500

Tabla 67. Modelo de acumulador de cada ciudad (Elaboración propia)

### 7.10.2. SISTEMA DE APOYO

Para una eficiente instalación solar térmica es necesario un sistema de apoyo que auxilie al sistema principal en caso de que su energía generada llegue a ser nula por diferentes condiciones climáticas adversas. Este sistema de apoyo debe tener la capacidad de satisfacer por completo la demanda de ACS en ausencia de la contribución de la energía solar térmica.

En este trabajo una instalación de una caldera de gas natural sería el sistema de apoyo idóneo, ya que sus emisiones en kg/kW\*h son menores a otros sistemas. Debido de que la caldera de apoyo debe ser capaz de funcionar sin contribución solar, esta debe disponer de la potencia necesaria para calentar el agua que contiene el depósito en funcionamiento de una hora.

Para su elección debemos realizar el cálculo de la energía necesaria para el calentamiento del ACS con la siguiente fórmula:

$$Q = V * \Delta T_m * C_p$$

Donde:

- Q= Energía en KWh para cada mes
- V= Volumen de agua en litros
- $\Delta T_m$  =Diferencia de temperatura mensual (Temperatura deseada – Temperatura media de agua de red general)
- $C_p$  = Capacidad calorífica del agua (aproximadamente 0.001163 kWh/L°C)

Se muestra la tabla de resultado de la potencia necesaria para cada ciudad:

CIUDAD	V (litros)	T red menor	Q kWh
LA CORUÑA	2500	10	145,38
SEVILLA	2500	11	142,47
QUITO	2300	11,5	129,73
GUAYAQUIL	2200	16,3	111,81

Tabla 68 Potencia necesaria para cada ciudad (Elaboración propia)

Una vez calculado los valores de la potencia necesaria que debe tener la caldera de gas natural para sustentar la demanda de agua caliente sanitaria, elegimos los siguientes modelos para las edificaciones de cada ciudad:

CIUDAD	CALDERA A GAS NATURAL
LA CORUÑA	Viessmann Vitocrossal 300
SEVILLA	Viessmann Vitodens 200-W
QUITO	Viessmann Vitocrossal 300
GUAYAQUIL	Viessmann Vitodens 100-W

Tabla 69. Modelo de caldera de gas natural de cada ciudad (Elaboración propia)

Ahora conociendo el déficit energético anual entre la demanda y la aportación solar podemos calcular el costo anual de energía de cada edificación en cada ciudad.

COSTO ANUAL DE ENERGÍA DE SISTEMA DE APOYO (€)					
CIUDAD	DEMANDA ENERGÉTICA (kWh)	APORTACIÓN SOLAR (kWh)	DÉFICIT ENERGÉTICO (kWh)	COSTO ENERGÉTICO	TOTAL (€)
LA CORUÑA	43738,68	35962,62	7776,07	0,0764	594,09
SEVILLA	41258,03	34683,52	6574,51	0,0764	502,29
QUITO	44723,30	43647,50	1075,80	0,0830	89,29
GUAYAQUIL	39169,36	37724,12	1445,25	0,0830	119,96

Tabla 70. Costo anual de energía del sistema de apoyo (Elaboración propia)



## 8. COSTOS

### 8.1. COSTOS DE INSTALACIÓN

De los elementos seleccionados para la instalación solar térmica, estos son los valores de mercado, que se lo obtiene de los anexos 11, 12 y 13

CAPTADOR	PRECIO
VISSMANN VITOSOLL 200-TM	€ 938,68
VISSMANN VITOSOLL 300-TM	€ 1.296,35

CALDERA A GAS NATURAL	PRECIO
Viessmann Vitocrossal 300	€ 5.600,00
Viessmann Vitodens 200-W	€ 3.700,00
Viessmann Vitodens 100-W	€ 2.500,00

ACUMULADOR	PRECIO
CORDIVARI DAB 2.500	€ 4.549,99

Tabla 71. Valores de los diferentes captadores, calderas y acumuladores que se utilizan en los proyectos (Elaboración propia)

De acuerdo con los elementos elegidos para las edificaciones de cada ciudad, los costos son los siguientes:

LA CORUÑA				
	ELEMENTO	UNIDAD	PRECIO UNI.	TOTAL
CAPADORES	VITOSOLL 200-TM	30	€ 939,68	€ 28.190,40
CALDERA	Viessmann Vitocrossal 300	1	€ 5.600,00	€ 5.600,00
ACUMULADOR	CORDIVARI DAB 2.500	1	€ 4.549,99	€ 4.549,99
<b>TOTAL</b>				<b>€ 38.340,39</b>

Tabla 72. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en La Coruña (Elaboración propia)

SEVILLA				
ELEMENTO		UNIDAD	PRECIO UNI.	TOTAL
CAPADORES	VITOSOLL 300-TM	32	€ 1.296,68	€ 41.493,76
CALDERA	Viessmann Vitocrossal 300	1	€ 3.700,00	€ 3.700,00
ACUMULADOR	CORDIVARI DAB 2.500	1	€ 4.549,99	€ 4.549,99
<b>TOTAL</b>				<b>€ 49.743,75</b>

Tabla 73. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en Sevilla (Elaboración propia)

QUITO				
ELEMENTO		UNIDAD	PRECIO UNI.	TOTAL
CAPADORES	VITOSOLL 200-TM	28	€ 939,68	€ 26.311,04
CALDERA	Viessmann Vitocrossal 300	1	€ 5.600,00	€ 5.600,00
ACUMULADOR	CORDIVARI DAB 2.500	1	€ 4.549,99	€ 4.549,99
<b>TOTAL</b>				<b>€ 36.461,03</b>

Tabla 74. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en Quito (Elaboración propia)

GUAYAQUIL				
ELEMENTO		UNIDAD	PRECIO UNI.	TOTAL
CAPADORES	VITOSOLL 200-TM	25	€ 939,68	€ 23.492,00
CALDERA	Viessmann Vitocrossal 300	1	€ 5.600,00	€ 5.600,00
ACUMULADOR	CORDIVARI DAB 2.500	1	€ 2.500,00	€ 2.500,00
<b>TOTAL</b>				<b>€ 31.592,00</b>

Tabla 75. Costos de los elementos para la instalación solar térmica de la edificación en Guayaquil (Elaboración propia)

COSTOS DE LAS INSTALACIONES	
CIUDAD	INSTALACIONES
LA CORUÑA	€ 38.340,39
SEVILLA	€ 49.743,75
QUITO	€ 36.461,03
GUAYAQUIL	€ 31.592,00

Tabla 76. Costos de instalación para un sistema solar térmica en cada ciudad (Elaboración propia)



## 8.2. COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

### 8.2.1. MANTENIMIENTO

#### Captadores Solares

- **Limpieza:** Es necesaria una limpieza periódica de los colectores solares para evitar cualquier contaminación por polvo, hojas u otros materiales que puedan perjudicar su rendimiento. Es recomendable limpiar con frecuencia las zonas que acumulan polvos o residuos.
- **Inspección Visual:** Realizar inspecciones visuales regulares para detectar posibles daños, fugas o corrosión en los captadores y sus conexiones.
- **Revisión de Conexiones:** Se debe asegurar de que las conexiones entre captadores y el sistema de tuberías estén en buen estado y no presenten fugas.

#### Acumuladores

- **Revisión del Estado del Agua:** Verificación de la calidad del agua y en caso de que sea necesario, se debería realizar tratamientos para evitar la acumulación de sedimentos y la corrosión.
- **Inspección de Corrosión:** Revisión periódica del acumulador para la detección de cualquier signo de corrosión y tomar medidas correctivas si es necesario.
- **Mantenimiento del Aislante:** Asegurarse de que el material aislante del acumulador se encuentre en buen estado para mantener la eficiencia térmica.

#### Calderas de Apoyo

- **Mantenimiento Regular:** Realizar mantenimiento regular, incluyendo la limpieza de quemadores, revisión de sistemas de combustión, y chequeo de sistemas de control.
- **Inspección de Componentes:** Revisar componentes clave como bombas, válvulas y termostatos para asegurar su correcto funcionamiento.
- **Reemplazo de Piezas:** Sustituir piezas desgastadas o dañadas a tiempo para evitar fallos en el sistema.

### 8.2.2. COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL

Se realiza una estimación de los costos de mantenimiento anual para el sistema de instalación solar térmica, obteniendo los siguientes resultados promedio para las cuatro ciudades:

COSTOS PROMEDIO DE MANTENIMIENTO ANUAL	
LIMPIEZA DE CAPTADORES	€ 50,00
INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO	€ 200,00
REEMPLAZO DE COMPONENTES	€ 100,00
MANTENIMIENTO ACUMULADOR	€ 150,00
MANTENIMIENTO CALDERA DE GAS	€ 400,00
<b>TOTAL</b>	<b>€ 900,00</b>

Tabla 77. Costos del promedio anual para el mantenimiento de los sistemas solares térmicos (Elaboración propia)

### 8.3. COSTOS TOTALES DE UN SISTEMA DE SOLAR TÉRMICO

Una vez obtenido los costos de las instalaciones y los mantenimientos de las instalaciones de los sistemas solares térmicos para la generación de ACS para cada una de las cuatro ciudades, se suma sus valores y se obtiene estos resultados finales:

COSTOS TOTALES DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO			
CIUDAD	INSTALACIONES	MANTENIMIENTO	TOTAL
LA CORUÑA	€ 38.340,39	\$ 900,00	\$ 39.240,39
SEVILLA	€ 49.743,75	\$ 900,00	\$ 50.643,75
QUITO	€ 36.461,03	\$ 900,00	\$ 37.361,03
GUAYAQUIL	€ 31.592,00	\$ 900,00	\$ 32.492,00

Tabla 78. Costos totales de un sistema solar térmica para proveer ACS para las cuatro ciudades (Elaboración propia)



## 9. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

### 9.1. GASTOS DE CONSUMO CON GAS NATURAL

Para realizar el cálculo de los gastos que se tendría en las edificaciones de cada ciudad se necesitaría datos esenciales relacionados con el consumo de agua caliente sanitaria, y la eficiencia de los sistemas.

De la misma forma como se realizó los cálculos para diseñar los sistemas solares térmicos, se utiliza los mismos datos como son: la demanda de ACS en litros, la temperatura promedio mensual de la red y la temperatura deseada. Además, también debemos conocer la capacidad calorífica del agua, la eficiencia de la caldera de gas natural y el precio del gas natural.

Como lo hemos realizado anteriormente, se realiza los cálculos utilizando como ejemplo los datos obtenidos del mes de enero en La Coruña.

- Demanda de ACS (Volumen) = 67890 litros.
- Temperatura de red= 10°.
- Temperatura deseada= 60°C.
- Capacidad calorífica del agua ( $C_p$ )= 0,001136 kWh/L°C.
- Eficiencia de la caldera de gas natural ( $E_c$ )= 85%.
- Precio del gas natural en España= 0.0764 €/kWh (Naturgy)

Con esto se empieza calculando la energía necesaria para calentar el agua con la caldera de gas natural utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = V * \Delta T * C_p$$

$$Q = 67890 * (60 - 10) * 0,001163$$

$$Q = 3947,80 \text{ kWh}$$

Este valor de energía debemos dividirla por la eficiencia determinada de la caldera:

$$Q_E = \frac{Q}{E_c}$$

$$Q_E = \frac{3947,80}{0,85}$$

$$Q_E = 4644,47 \text{ kWh}$$

Una vez ya obtenida la energía efectiva para calentar el agua podemos calcular el costo mensual del consumo de gas natural, con el precio del gas natural ya establecido para La Coruña.

$$C_g = Q_E * P_g$$

$$C_g = 4644,47 \text{ kWh} * 0,0764 \text{ €/kWh}$$

$$C_g = 354,84 \text{ €}$$

Realizando este ejemplo de cálculo se completa una tabla detallada para cada mes y obtener el gasto anual de gas natural para obtener agua caliente sanitaria.

- La Coruña

LA CORUÑA						
Tª ACS =	60	Demanda energética (MJ)			EFICIENCIA	PRECIO GAS NATURAL
MES	Demanda ACS (litros)	T red	Salto termico	Energía	85%	€ 0,0764
	litros/mes				Energía Eficente	COSTO MENSUAL
Enero	67890	10	50	3947,80	4644,47	€ 354,84
Febrero	61320	10	50	3565,76	4195,01	€ 320,50
Marzo	67890	11	49	3868,85	4551,59	€ 347,74
Abril	65700	12	48	3667,64	4314,87	€ 329,66
Mayo	67890	13	47	3710,94	4365,81	€ 333,55
Junio	65700	14	46	3514,82	4135,08	€ 315,92
Julio	67890	16	44	3474,07	4087,14	€ 312,26
Agosto	67890	16	44	3474,07	4087,14	€ 312,26
Septiembre	65700	15	45	3438,41	4045,19	€ 309,05
Octubre	67890	14	46	3631,98	4272,92	€ 326,45
Noviembre	65700	12	48	3667,64	4314,87	€ 329,66
Diciembre	67890	11	49	3868,85	4551,59	€ 347,74
Total anual	799350				51565,65	€ 3.939,62
	litros/año				(MJ)	COSTO ANUAL

Tabla 79. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla

SEVILLA						
Tª ACS =	60	Demanda energética (MJ)			EFICIENCIA	PRECIO GAS NATURAL
MES	Demanda ACS (litros)	T red	Salto termico	Energía	85%	€ 0,0764
	litros/mes				Energía Eficente	COSTO MENSUAL
Enero	67890	11	49	3868,85	4551,59	€ 347,74
Febrero	61320	13	47	3351,81	3943,31	€ 301,27
Marzo	67890	14	46	3631,98	4272,92	€ 326,45
Abril	65700	17	43	3285,59	3865,40	€ 295,32
Mayo	67890	21	39	3079,29	3622,69	€ 276,77
Junio	65700	25	35	2674,32	3146,26	€ 240,37
Julio	67890	29	31	2447,64	2879,57	€ 220,00
Agosto	67890	29	31	2447,64	2879,57	€ 220,00
Septiembre	65700	24	36	2750,73	3236,15	€ 247,24
Octubre	67890	20	40	3158,24	3715,58	€ 283,87
Noviembre	65700	16	44	3362,00	3955,29	€ 302,18
Diciembre	67890	12	48	3789,89	4458,70	€ 340,64
Total anual	799350				44527,03	€ 3.401,86
	litros/año				(MJ)	COSTO ANUAL

Tabla 80. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en Sevilla (Elaboración propia)

- Quito (Gas natural en Ecuador = \$0.092 kWh (CONELEC) = 0.083 €/kWh)

QUITO						
Tª ACS =	60	Demanda energética (MJ)			EFICIENCIA	PRECIO GAS NATURAL
MES	Demanda ACS (litros)	T red	Salto termico	Energía	85%	€ 0,0830
	litros/mes				Energía Eficente	COSTO MENSUAL
Enero	67890	11,6	48,4	3821,47	4495,85	€ 373,16
Febrero	61320	11,9	48,1	3430,26	4035,60	€ 334,95
Marzo	67890	11,8	48,2	3805,68	4477,27	€ 371,61
Abril	65700	11,8	48,2	3682,92	4332,85	€ 359,63
Mayo	67890	11,9	48,1	3797,79	4467,98	€ 370,84
Junio	65700	12,1	47,9	3660,00	4305,88	€ 357,39
Julio	67890	11,8	48,2	3805,68	4477,27	€ 371,61
Agosto	67890	12,2	47,8	3774,10	4440,12	€ 368,53
Septiembre	65700	11,8	48,2	3682,92	4332,85	€ 359,63
Octubre	67890	11,6	48,4	3821,47	4495,85	€ 373,16
Noviembre	65700	11,5	48,5	3705,84	4359,81	€ 361,86
Diciembre	67890	11,5	48,5	3829,37	4505,14	€ 373,93
Total anual	799350				52726,47	€ 4.376,30
	litros/año				(MJ)	COSTO ANUAL

Tabla 81. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en Quito (Elaboración propia)

- Guayaquil

GUAYAQUIL						
Tª ACS =	60	Demanda energética (MJ)			EFICIENCIA	PRECIO GAS NATURAL
MES	Demanda ACS (litros)	T red	Salto termico	Energía	85%	€ 0,0830
	litros/mes				Energía Eficente	COSTO MENSUAL
Enero	67890	18,7	41,3	3260,89	3836,34	€ 318,42
Febrero	61320	18,7	41,3	2945,32	3465,08	€ 287,60
Marzo	67890	19,1	40,9	3229,30	3799,18	€ 315,33
Abril	65700	19,1	40,9	3125,13	3676,63	€ 305,16
Mayo	67890	18,4	41,6	3284,57	3864,20	€ 320,73
Junio	65700	17,2	42,8	3270,31	3847,42	€ 319,34
Julio	67890	16,4	43,6	3442,48	4049,98	€ 336,15
Agosto	67890	16,3	43,7	3450,38	4059,27	€ 336,92
Septiembre	65700	16,8	43,2	3300,87	3883,38	€ 322,32
Octubre	67890	16,9	43,1	3403,01	4003,54	€ 332,29
Noviembre	65700	17,4	42,6	3255,03	3829,44	€ 317,84
Diciembre	67890	18,4	41,6	3284,57	3864,20	€ 320,73
Total anual	799350				46178,66	€ 3.832,83
	litros/año				(MJ)	COSTO ANUAL

Tabla 82. Cálculo del costo mensual y anual del gas natural en Guayaquil (Elaboración propia)

COSTO ANUAL DE GAS NATURAL			
CIUDAD	COSTO	MANTENIMIENTO	COSTO TOTAL
LA CORUÑA	€ 3.939,62	\$ 400,00	\$ 4.339,62
SEVILLA	€ 3.401,86	\$ 400,00	\$ 3.801,86
QUITO	€ 4.376,30	\$ 400,00	\$ 4.776,30
GUAYAQUIL	€ 3.832,83	\$ 400,00	\$ 4.232,83

Tabla 83. Costo anual de gas natural de las cuatro ciudades (Elaboración propia)

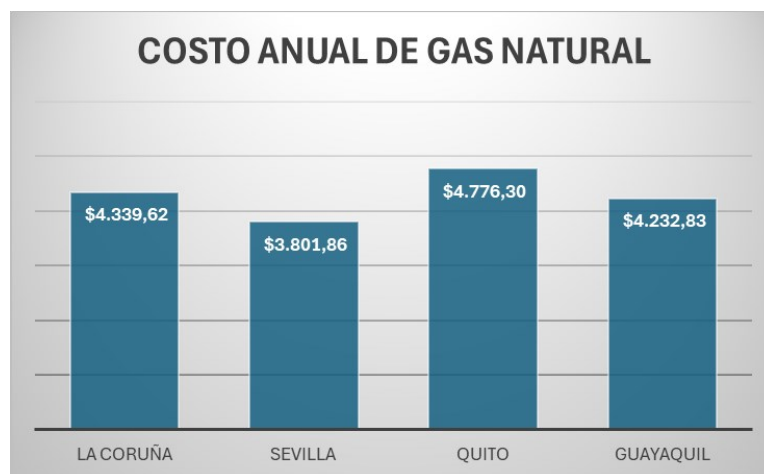


Figura 55. Costo anual de gas natural de las cuatro ciudades (Elaboración propia)



## 9.2. CÁLCULO DEL COSTO BENEFICIO DE LA INVERSIÓN

Con los costos obtenidos de un sistema de una caldera de gas natural para producir agua caliente sanitaria en las edificaciones de cada ciudad podemos calcular el costo beneficio de la inversión en el sistema solar térmico y el tiempo de recuperación de esta. Para realizar este cálculo debemos tener en cuenta los siguientes datos:

- El ahorro anual del sistema solar térmico: Al eliminar el costo de la energía necesaria para obtener el ACS, el ahorro anual por este sistema sería igual al costo de anual del gas natural.
- La vida útil de los sistemas solares térmicos es de alrededor a los 20 años.

Se realiza el cálculo para la edificación en La Coruña con las siguientes fórmulas.

$$COSTO\ TOTAL\ (20\ AÑOS) = COSTO\ INICIAL + (COSTO\ ANUAL\ DE\ ENERGÍA * 20)$$

$$AHORRO\ NETO\ ANUAL = COSTO\ ANUAL_{GAS\ NATURAL} - COSTO\ ANUAL_{SIST.SOLAR\ TÉRMICO}$$

$$AÑOS\ RECUPERACIÓN\ DE\ INVERSIÓN = \frac{COSTO\ TOTAL\ SISTEMA\ SOLAR\ TÉRMICO}{AHORRO\ ANUAL\ NETO}$$

$$BENEFICIO\ EN\ 20\ AÑOS = COSTO\ TOTAL_{SIST.SOLAR\ TÉRMICO} - COSTO\ TOTAL_{GAS\ NATURAL}$$

- La Coruña

COSTOS DE LOS SISTEMAS			
RUBRO	SISTEMA SOLAR TÉRMICO		CALDERA DE GAS NATURAL
COSTO INICIAL	€	39.240,39	€ 5.600,00
COSTO ANUAL DE ENRGÍA	€	594,09	€ 4.339,62
COSTO TOTAL EN 20 AÑOS	€	51.122,22	€ 92.392,40

Tabla 84. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en La Coruña (Elaboración propia)

AHORRO Y BENEFICIO	
<b>AHORRO NETO ANUAL</b>	€ 3.745,53
<b>AÑOS DE RECUPERACIÓN EN LA INVERSIÓN</b>	13,65
<b>BENEFICIO EN 20 AÑOS</b>	€ 41.270,18

Tabla 85. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en La Coruña (Elaboración propia)

- Sevilla

COSTOS DE LOS SISTEMAS		
RUBRO	SISTEMA SOLAR TÉRMICO	CALDERA DE GAS NATURAL
<b>COSTO INICIAL</b>	€ 39.240,39	€ 5.600,00
<b>COSTO ANUAL DE ENERGÍA</b>	€ 502,29	€ 3.801,86
<b>COSTO TOTAL EN 20 AÑOS</b>	€ 49.286,19	€ 81.637,20

Tabla 86. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en Sevilla (Elaboración propia)

AHORRO Y BENEFICIO	
<b>AHORRO NETO ANUAL</b>	€ 3.299,57
<b>AÑOS DE RECUPERACIÓN EN LA INVERSIÓN</b>	14,94
<b>BENEFICIO EN 20 AÑOS</b>	€ 32.351,01

Tabla 87. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en Sevilla (Elaboración propia)

- Quito

COSTOS DE LOS SISTEMAS		
RUBRO	SISTEMA SOLAR TÉRMICO	CALDERA DE GAS NATURAL
<b>COSTO INICIAL</b>	€ 39.240,39	€ 5.600,00
<b>COSTO ANUAL DE ENERGÍA</b>	€ 89,29	€ 4.776,30
<b>COSTO TOTAL EN 20 AÑOS</b>	€ 41.026,19	€ 101.126,00

Tabla 88. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en Quito (Elaboración propia)

AHORRO Y BENEFICIO	
<b>AHORRO NETO ANUAL</b>	€ 4.687,01
<b>AÑOS DE RECUPERACIÓN EN LA INVERSIÓN</b>	8,75
<b>BENEFICIO EN 20 AÑOS</b>	€ 60.099,81

Tabla 89. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en Quito (Elaboración propia)

- Guayaquil

COSTOS DE LOS SISTEMAS		
RUBRO	SISTEMA SOLAR TÉRMICO	CALDERA DE GAS NATURAL
<b>COSTO INICIAL</b>	€ 39.240,39	€ 5.600,00
<b>COSTO ANUAL DE ENRGÍA</b>	€ 119,96	€ 4.232,83
<b>COSTO TOTAL EN 20 AÑOS</b>	€ 41.639,59	€ 90.256,60

Tabla 90. Costos de los dos sistemas energéticos para agua caliente sanitaria en Guayaquil (Elaboración propia)

AHORRO Y BENEFICIO	
<b>AHORRO NETO ANUAL</b>	€ 4.112,87
<b>AÑOS DE RECUPERACIÓN EN LA INVERSIÓN</b>	10,12
<b>BENEFICIO EN 20 AÑOS</b>	€ 48.617,01

Tabla 91. Cálculo de ahorro y beneficio de la inversión del sistema solar térmico en Guayaquil (Elaboración propia)

### 9.2.1. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE COSTOS DE INVERSIÓN

Para realizar el análisis comparativo de la inversión del sistema solar térmico para proveer agua caliente sanitaria en las cuatro ciudades estudiadas primero se vé los gráficos obtenidos de los cálculos, que son los siguientes:

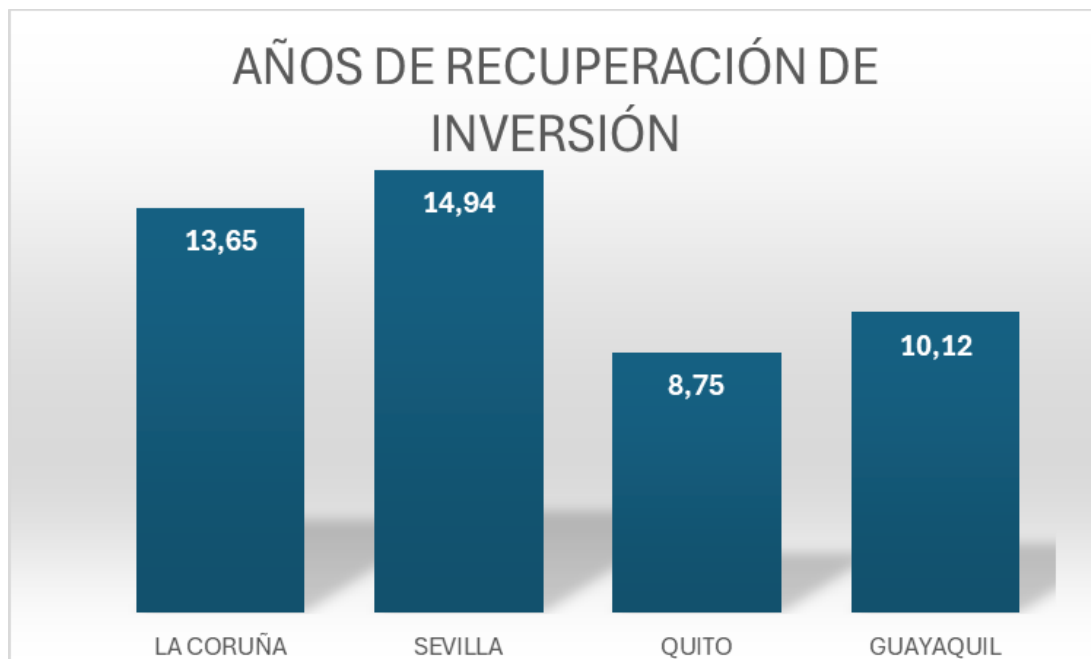


Figura 56. Años de recuperación de inversión del sistema solar térmico de cada ciudad (Elaboración propia)

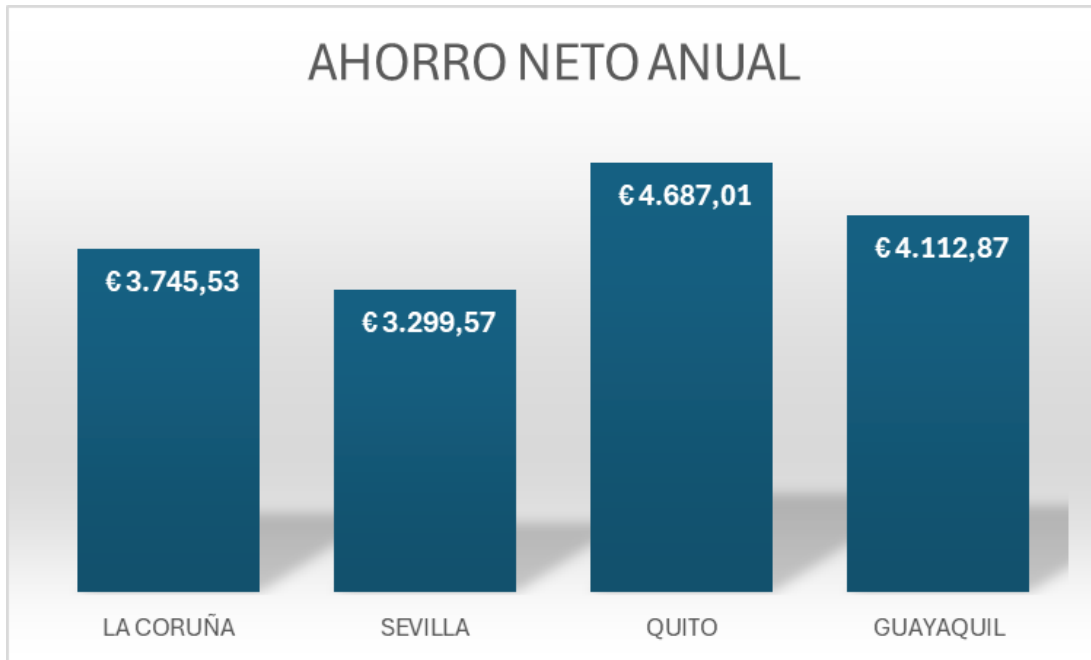


Figura 57. Ahorro neto anual adquirido por el sistema solar térmico de cada ciudad (Elaboración propia)



Figura 58. Beneficio económico obtenido del sistema solar térmico para cada ciudad dentro de los 20 años útiles (Elaboración propia)



Se puede apreciar que existe una notable diferencia en el tiempo de recuperación de la inversión de los sistemas solares térmicos entre las dos ciudades españolas y las dos ecuatorianas, llegando a tener una distancia de casi 5 años entre la ciudad que más rápido recupera su inversión (Quito) y la que más demora en recuperarla (Sevilla). En Quito y Guayaquil los sistemas solares térmicos tienen una recuperación de su inversión de aproximadamente 35-40% más rápida que en España y hasta proporcionan un 50% más de beneficios económicos.

Además, en términos de ahorro neto anual, nuevamente las cifras de las ciudades de Ecuador superan en hasta un 20-30% los ahorros que en La Coruña y Sevilla. A pesar de la notable ventaja de las ciudades ecuatorianas, vemos que las instalaciones solares térmicas para ACS en La Coruña y Sevilla son bastante beneficiosas porque los beneficios económicos son altos y muy rentables. Pero de esta manera podemos apreciar el potencial económico y energético que tiene Ecuador para aprovechar gracias a su ubicación geográfica y sus condiciones climáticas.



## 10. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los resultados de cada instalación de sistemas solares térmicos en La Coruña, Sevilla, Quito y Guayaquil muestra significativas diferencias en sus rendimientos y viabilidad, donde las influencias principales son los factores climáticos y geográficos. Ecuador, gracias a su alta irradiación solar y sus temperaturas estables, presentan una mejor eficiencia en la captación de la energía solar, lo que beneficia para la reducción de captadores solares y sus costos de instalación. Por otro lado, La Coruña y Sevilla, que muestran niveles más bajos de irradiación, necesitan una mayor área de captación para sus sistemas, lo que produce un incremento en su inversión inicial.

La óptima inclinación de los paneles solares en Quito y Guayaquil minimiza las pérdidas térmicas y maximiza la eficiencia de sus sistemas. Esto resulta en un tiempo de recuperación de la inversión más corto y que haya mayores ahorros anuales en comparación a las ciudades españolas. En el ejemplo calculado vimos un tiempo de recuperación de 8,75 y 10,12 años en Quito y Guayaquil, respectivamente, frente a los 13,65 y 14,94 de La Coruña y Sevilla.

Es importante también destacar un positivo impacto ambiental de los sistemas solares térmicos para la generación de agua caliente sanitaria en Ecuador, donde al aprovechar su abundante recurso de energía solar, no solo se ve mejorada la eficiencia energética, sino que su contribución a la reducción de la emisión de gases invernadero es significativa.

Una implementación de gran escala de estas tecnologías solares para la generación de ACS promovería una mayor sostenibilidad ambiental y posicionar a Ecuador en su región como un referente en energía renovables. Además, no solo Ecuador se vería beneficiado económicamente, sino que también reforzaría un compromiso con el medio ambiente y la lucha contra el cambio climático.

En resumen, es fundamental destacar las óptimas condiciones que presenta Ecuador que amplifica significativamente los beneficios de un sistema solar térmico. Aprovechar la alta radiación solar, sus temperaturas estables, su cercanía a la latitud cero crean una oportunidad única para maximizar el uso de la energía solar térmica. Implementar estos sistemas a una mayor escala en Ecuador no sólo va a optimizar el aprovechamiento del mayor recurso natural como es el sol, sino que también promete una reducción considerable de los costos energéticos a largo plazo y de promover una mayor sostenibilidad ambiental en todo el país. Sacar provecho de estas ventajas le va a permitir a Ecuador mejorar su eficiencia energética y posicionarse como líder en la adopción de esta tecnología de energía renovable dentro de su región.



## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (CNEL), C. N. (2022). Análisis del Potencial de Energía Solar Térmica en las Zonas Urbanas y Rurales de Ecuador.
- (CNEL), C. N. (2022). Análisis del Potencial de Energía Solar Térmica en las Zonas Urbanas y Rurales de Ecuador. Obtenido de <https://www.cnel-ep.gob.ec/docs/analisis-potencial-solar-termico-ecuador.pdf>
- (INER), I. N. (2021). *Informe sobre el Potencial y Aplicaciones de la Energía Solar Térmica en Ecuador*. Obtenido de <https://www.iner.gob.ec/documentos/potencial-solar-termico-ecuador.pdf>
- Agencia Nacional de Regulación, C. y. (2022). *Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica NB2*. Buenos Aires: Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia de Electricidad (ARCONEL). Obtenido de <https://www.arconel.gob.ec>
- ASOER. (2024). *Asociación de Energías Renovables del Ecuador*. Obtenido de <https://www.asoer.ec/>
- Bank, E. S. (Febrero de 2018). *Selfbank*. Obtenido de <https://blog.selfbank.es/cuanto-podemos-ahorrar-con-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Basalo, M. Á. (2012). DISEÑO DE UN MODELO INFORMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA EN EL VEHÍCULO SOLAR ANÍBAL . Cartagena, España.
- CalorGasFrío. (2024). *gasfriocalor.com*. Obtenido de [https://www.gasfriocalor.com/placa-solar-viessmann-vitosol-200-tm-163?srsltid=AfmBOopvRoxvRNfpOgQmbQY9Sb\\_9dBdqGzjs-MEQwWWsY5FvSz2RFzIN](https://www.gasfriocalor.com/placa-solar-viessmann-vitosol-200-tm-163?srsltid=AfmBOopvRoxvRNfpOgQmbQY9Sb_9dBdqGzjs-MEQwWWsY5FvSz2RFzIN)
- Cañada Rivera, J. (2008). Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones.
- CASADO, A. (2017). La radiación solar y el índice ultravioleta (UVI): las actividades del INM en torno a la medida de la radiación solar.
- Commission, E. (2020). *Renewable Energy: Solar Thermal Energy*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-energy\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-energy_en)
- Data, C. (2024). *climate.data.org*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/quito-1012/>
- Duffie, J. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley.



- Epdata. (2024). *Epdata.es*. Obtenido de <https://www.epdata.es/horas-luz-provincias-2019/6841c77e-e946-420e-a0c4-cff4de1154f3>
- España Ministerio de la Presidencia. (2013). *RITE 2007: Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios : Real Decreto 1027/2007*. Madrid: ATECYR.
- España. Ministerio de la Vivienda, Boletín Oficial del Estado . (2008). *Código técnico de la edificación (C.T.E.): DB HE, Ahorro de energía. Documento básico. Libro 10. Parte II*. Madrid: Ministerio de la Vivienda.
- Garg, H. P. (2017). *Solar Energy: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill Education.
- IDAE. (2014). Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones. [http://www.cheq4.idae.es/userfiles/file/Metodologia\\_de\\_calculo\\_MetaSol.pdf](http://www.cheq4.idae.es/userfiles/file/Metodologia_de_calculo_MetaSol.pdf).
- INEN, I. E. (2021). *Norma Ecuatoriana de Construcción - Criterios de Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (NEC-HE-ER)*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Obtenido de NEC-HE-ER
- INER. (2024). *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables*. Obtenido de <https://www.iner.gob.ec/>
- Laboratorio Lineal Ferroviario - Historia del Shotcrete*. (Abril de 2015). Obtenido de Historia del Shotcrete: <https://laboratoriolinea6ferroviario.wordpress.com/historia/>
- Macia, A. T. (2017). DISEÑO Y EVALUACION DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCION DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA UN POLIDEPORTIVO UBICADO EN DOS ZONAS CLIMATICAS DIFERENTES. Valencia.
- Ministerio de Transportes, M. y. (2020). *Código Técnico de la Edificación*. Quito.
- PASSAMAI. (2000). *Determinación de radiación solar horaria para días claros mediante planilla de cálculo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Putzmeister - Equipo Robotizado Shotcrete. (Abril de 2017). *BestSupportUnderground - Equipo Robotizado Shotcrete*. Obtenido de BestSupportUnderground - Equipo Robotizado Shotcrete: <http://bestsupportunderground.com/equipo-robotizado-shotcrete/>
- República del Ecuador, M. d. (2020). *Norma Solar Térmica*. Obtenido de [https://www.gob.ec/sites/default/files/2022-04/reglamento\\_ley\\_eficiencia\\_energetica.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/2022-04/reglamento_ley_eficiencia_energetica.pdf)





REY MARTINEZ, F. J. (2005). *Bombas de calor y Energías renovables en edificios*. Paraninfo.

Térmica, G. T. (2023). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*. Madrid, España.

Térmica, M. d. (2022). *Censolar*. Madrid, España: Censolar. Obtenido de <https://www.censolar.com>

térmicos, N. E.-C. (2020). *Comité Europeo de Normalización (CEN)*. Bruselas, Bélgica: Comité Europeo de Normalización (CEN).

Tiempo, T. (2024). *tutiempo.net*. Obtenido de <https://www.tutiempo.net/horas-luz-solar/>



## 12. ANEXOS

### Anexo 1

**Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)**

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".  
Para el cálculo se ha utilizado la ecuación (3.2) con los valores de  $T_1 = 12^\circ\text{C}$  (constante) y  $T = 45^\circ\text{C}$ .

## Anexo 2

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO	
1	ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2	ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3	ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4	ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5	ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6	ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7	BADAJOS	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8	BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9	BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10	BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11	CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12	CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13	CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14	CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15	CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16	CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17	CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18	LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19	CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20	GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21	GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22	GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23	GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24	HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25	HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26	JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27	LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28	LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29	LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30	MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31	MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32	MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33	MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34	NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35	ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36	PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37	LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38	PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39	LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40	SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41	STA. C. DE TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42	SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43	SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44	SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45	TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46	TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47	TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48	VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49	VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50	VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51	ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52	ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6



## Anexo 3

Sitio: Latitud/Longitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Cotopaxi:-1/-79	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
Cuenca-Loja:-3/-79	3,76	3,99	3,98	3,87	3,84	3,53	3,79	4,17	4,29	4,08	4,26	4,05	3,97
Esmeraldas:0/-80	4,05	4,42	4,71	4,51	4,17	3,79	3,75	3,9	3,96	3,88	3,93	3,97	4,09
Guayaquil: -3/-80	4,34	4,58	4,66	4,55	4,37	3,85	3,96	4,3	4,53	4,37	4,62	4,53	4,39
Ibarra-Tulcán:0/-79	3,73	4,01	4,17	3,95	3,75	3,56	3,85	4,01	3,95	3,79	3,81	3,73	3,86
Islas Galápagos:-1/-91 (medido en sitio)	6,25	6,56	6,78	6,49	6,03	5,56	4,92	5,19	5,28	5,49	5,46	6,01	5,84
Manabí:-2/-81	5,05	5,22	5,51	5,45	5	4,01	3,84	4,15	4,42	4,26	4,54	4,91	4,70
Napo: -2/-77	4,45	4,36	4,33	4,04	4,11	3,74	4,01	4,55	4,82	4,59	4,47	4,67	4,35
Quevedo: -1/-80	4,15	4,44	4,63	4,5	4,21	3,68	3,68	3,92	4,01	3,86	4,01	4,09	4,10
Quito:-1/-79	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
Riobamba: -2/-79	3,74	3,97	3,96	3,83	3,76	3,43	3,63	3,98	4,05	3,82	3,99	3,87	3,84
Santa Elena: -3/-81	5,25	5,43	5,62	5,51	5,13	4,32	4,25	4,59	4,97	4,84	5,13	5,28	5,03



## Anexo 4

	Altura de referencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	5	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante	3	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	1128	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	18	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao	19	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	860	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	439	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	4	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón	30	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	0	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	635	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	123	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	1001	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	75	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	685	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	679	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	56	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	488	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	574	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas Gran Canaria	8	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	838	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	155	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	384	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	454	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	655	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	8	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	2	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	42	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	139	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	232	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	740	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	34	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona	449	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	290	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	800	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	40	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	4	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	15	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	1001	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	12	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	1063	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	51	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	915	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	529	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	13	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	691	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	525	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	649	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	200	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

## Anexo 5

Tabla B.1

	$\beta=35^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,84	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,78	4,36	2,23	1,98	2,69	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,98	0,99	1,08	2,55	0,51	0,82	1,11	3,28	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla B.2

	$\beta=90^\circ ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,28	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,86	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,28	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,84
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08



## Anexo 6

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO	
1	ÁLAVA	7	7	11	12	15	19	21	21	19	15	10	7	13,7
2	ALBACETE	6	8	11	13	17	22	26	26	22	16	11	7	15,4
3	ALICANTE	13	14	16	18	21	25	28	28	26	21	17	14	20,1
4	ALMERÍA	15	15	16	18	21	24	27	28	26	22	18	16	20,5
5	ASTURIAS	9	10	11	12	15	18	20	20	19	16	12	10	14,3
6	ÁVILA	4	5	8	11	14	18	22	22	18	13	8	5	12,3
7	BADAJOS	11	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	18,9
8	BALEARES	12	13	14	17	19	23	26	27	25	20	16	14	18,8
9	BARCELONA	11	12	14	17	20	24	26	26	24	20	16	12	18,5
10	BURGOS	5	6	9	11	14	18	21	21	18	13	9	5	12,5
11	CÁCERES	10	11	14	16	19	25	28	28	25	19	14	10	18,3
12	CÁDIZ	13	15	17	19	21	24	27	27	25	22	18	15	20,3
13	CANTABRIA	11	11	14	14	16	19	21	21	20	17	14	12	15,8
14	CASTELLÓN	13	13	15	17	20	24	26	27	25	21	16	13	19,2
15	CEUTA	15	15	16	17	19	23	25	26	24	21	18	16	19,6
16	CIUDAD REAL	7	9	12	15	18	23	28	27	20	17	11	8	16,3
17	CÓRDOBA	11	13	16	18	21	26	30	30	26	21	16	12	20
18	LA CORUÑA	12	12	14	14	16	19	20	21	20	17	14	12	15,9
19	CUENCA	5	6	9	12	15	20	24	23	20	14	9	6	13,6
20	GERONA	9	10	13	15	19	23	26	25	23	18	13	10	17
21	GRANADA	9	10	13	16	18	24	27	27	24	18	13	9	17,3
22	GUADALAJARA	7	8	12	14	18	22	26	26	22	16	10	8	15,8
23	GUIPÚZCOA	10	10	13	14	16	19	21	21	20	17	13	10	15,3
24	HUELVA	13	14	16	20	21	24	27	27	25	21	17	14	19,9
25	HUESCA	7	8	12	15	18	22	25	25	21	16	11	7	15,6
26	JAÉN	11	11	14	17	21	26	30	29	25	19	15	10	19
27	LEÓN	5	6	10	12	15	19	22	22	19	14	9	6	13,3
28	LÉRIDA	7	10	14	15	21	24	27	27	23	18	11	8	17,1
29	LUGO	8	9	11	13	15	18	20	21	19	15	11	8	14
30	MADRID	6	8	11	13	18	23	28	26	21	15	11	7	15,6
31	MÁLAGA	15	15	17	19	21	25	27	28	26	22	18	15	20,7
32	MELILLA	15	15	16	18	21	25	27	28	26	22	18	16	20,6
33	MURCIA	12	12	15	17	21	25	28	28	25	20	16	12	19,3
34	NAVARRA	7	7	11	13	16	20	22	23	20	15	10	8	14,3
35	ORENSE	9	9	13	15	18	21	24	23	21	16	12	9	15,8
36	PALENCIA	5	7	10	13	16	20	23	23	20	14	9	6	13,8
37	LAS PALMAS	20	20	21	22	23	24	25	25	26	25	23	21	22,9
38	PONTEVEDRA	11	12	14	16	18	20	22	23	20	17	14	12	16,6
39	LA RIOJA	7	9	12	14	17	21	24	24	21	16	11	8	15,3
40	SALAMANCA	6	7	10	13	16	20	24	23	20	14	9	6	14
41	STA. C. DE TENERIFE	19	20	20	21	22	24	26	27	26	25	23	20	22,8
42	SEGOVIA	4	6	10	12	15	20	24	23	20	14	9	5	13,5
43	SEVILLA	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12	19,3
44	SORIA	4	6	9	11	14	19	22	22	18	13	8	5	12,6
45	TARRAGONA	11	12	14	16	19	22	25	26	23	20	15	12	17,9
46	TERUEL	5	6	9	12	16	20	23	24	19	14	9	6	13,6
47	TOLEDO	8	9	13	15	19	24	28	27	23	17	12	8	16,9
48	VALENCIA	12	13	15	17	20	23	26	27	24	20	16	13	18,8
49	VALLADOLID	4	6	9	12	17	21	24	23	18	13	8	4	13,3
50	VIZCAYA	10	11	12	13	16	20	22	22	20	16	13	10	15,4
51	ZAMORA	6	7	11	13	16	21	24	23	20	15	10	6	14,3
52	ZARAGOZA	8	10	13	16	19	23	26	26	23	17	12	9	16,8

## Anexo 7

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANO	
1	ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2	ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3	ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4	ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5	ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6	ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7	BADAJOS	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8	BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9	BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10	BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11	CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12	CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13	CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14	CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15	CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16	CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17	CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18	LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19	CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20	GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21	GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22	GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23	GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24	HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25	HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26	JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27	LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28	LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29	LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30	MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31	MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32	MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33	MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34	NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35	ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36	PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37	LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38	PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39	LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40	SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41	STA. C. DE TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42	SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43	SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44	SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45	TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46	TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47	TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48	VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49	VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50	VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51	ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52	ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6





## Anexo 8

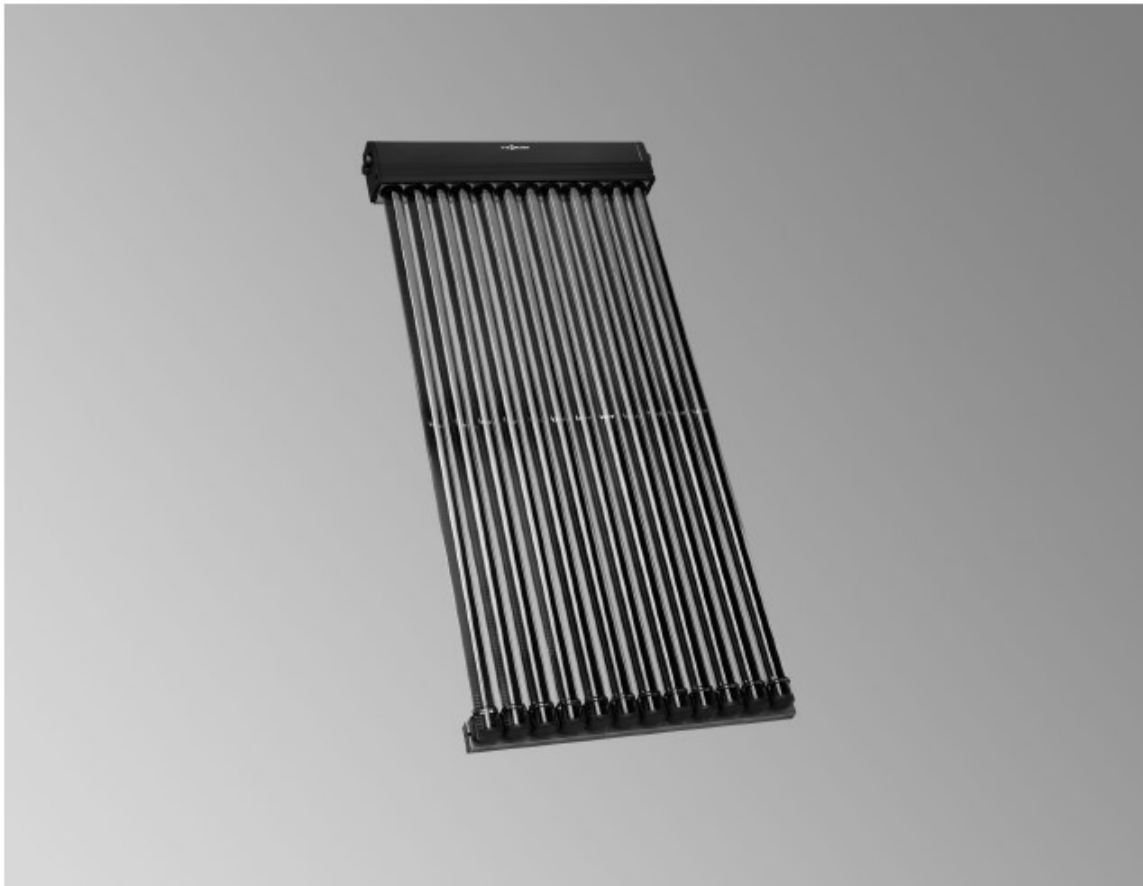
**VIESSMANN**

### **VITOSOL 300-TM**

Colector de tubos de vacío según el principio Heatpipe  
para el uso de la energía solar

#### Datos técnicos

N.º de pedido y precios: consultar la lista de precios



#### **VITOSOL 300-TM** Modelo SP3C

##### **Colector de tubos de vacío**

Para calentamiento de agua sanitaria, de agua de calefacción y de piscinas mediante un intercambiador de calor y para suministro de calor a procesos.

Para montaje sobre cubiertas planas e inclinadas, así como para montaje sobre estructura de apoyo.

Tecnología Thermprotect, para la autolimitación de temperatura y protección frente a sobrettemperatura.



**Datos técnicos**

Modelo SP3C		1,25 m <sup>2</sup>	1,51 m <sup>2</sup>	3,03 m <sup>2</sup>
Número de tubos		10	12	24
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)	m <sup>2</sup>	1,98	2,36	4,62
Superficie de absorción	m <sup>2</sup>	1,26	1,51	3,03
Superficie de apertura	m <sup>2</sup>	1,33	1,60	3,19
Distancia entre colectores	mm	—	88,5	88,5
<b>Dimensiones</b>				
Anchura a	mm	885	1053	2061
Altura b	mm	2241	2241	2241
Profundidad c	mm	150	150	150
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de apertura:				
– Rendimiento óptico	%	75,0	75,2	74,0
– Coeficiente de pérdida de calor k <sub>1</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K)	1,432	1,906	1,868
– Coeficiente de pérdida de calor k <sub>2</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,025	0,006	0,007
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de total:				
– Rendimiento óptico	%	50,4	51,0	51,4
– Coeficiente de pérdida de calor k <sub>1</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K)	0,962	1,292	1,158
– Coeficiente de pérdida de calor k <sub>2</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,017	0,004	0,005
Capacidad térmica	kJ/(m <sup>2</sup> · K)	4,20	3,98	6,34
Peso	kg	33	39	79
Volumen de líquido (medio portador de calor)	Litros	0,75	0,87	1,55
Presión de servicio admisible	bar/MPa	6/0,6	6/0,6	6/0,6
Temperatura máx. de inactividad	°C	155	155	155
Capacidad de producción de vapor	W/m <sup>2</sup>	0	0	0
Conexión	∅ mm	22	22	22

**Datos técnicos para determinar la clase de eficiencia energética (etiqueta ErP)**

Modelo SP3C		1,25 m <sup>2</sup> HW	1,51 m <sup>2</sup>	3,03 m <sup>2</sup>
Superficie total:	m <sup>2</sup>	1,33	2,36	4,61
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de apertura:				
– Rendimiento del colector η <sub>col</sub> , con una diferencia de temperatura de 40 K	%	43	45	46
Rendimiento óptico	%	49,9	50,4	51,3
– Coeficiente de pérdida de calor k <sub>1</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K)	0,96	1,29	1,16
– Coeficiente de pérdida de calor k <sub>2</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,017	0,004	0,005
Factor de corrección de ángulo IAM		1,02	1,02	1,03



## Anexo 9

**VIESSMANN**

**VITOSOL 200-TM**

Colector de tubos de vacío según el principio Heatpipe  
para el aprovechamiento de la energía solar

### Datos técnicos

N.º de pedido y precios: consultar lista de precios



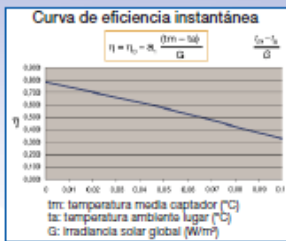
## Datos técnicos

Datos técnicos		1,63 m <sup>2</sup>	3,26 m <sup>2</sup>
Modelo SPEA		1,63 m <sup>2</sup>	3,26 m <sup>2</sup>
Número de tubos		9	18
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)	m <sup>2</sup>	2,67	5,3
Superficie de absorción	m <sup>2</sup>	1,83	3,26
Superficie de apertura	m <sup>2</sup>	1,73	3,46
Distancia entre colectores	mm	44	44
<b>Dimensiones</b>			
Anchura	mm	1194	2364
Altura	mm	2244	2244
Profundidad	mm	160	160
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de absorción:			
- Rendimiento óptico	%	78,5	76,7
- Coeficiente de pérdida de calor $k_1$	W/(m <sup>2</sup> · K)	1,847	1,649
- Coeficiente de pérdida de calor $k_2$	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,005	0,006
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de apertura:			
- Rendimiento óptico	%	73,9	72,3
- Coeficiente de pérdida de calor $k_1$	W/(m <sup>2</sup> · K)	1,74	1,554
- Coeficiente de pérdida de calor $k_2$	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,004	0,006
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie bruta:			
- Rendimiento óptico	%	47,9	47,2
- Coeficiente de pérdida de calor $k_1$	W/(m <sup>2</sup> · K)	1,127	1,014
- Coeficiente de pérdida de calor $k_2$	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,003	0,004
Capacidad térmica	kJ/(m <sup>2</sup> · K)	3,23	3,28
Peso	kg	64	128
Volumen de fluido (medio portador de calor)	litros	0,86	1,72
Presión de servicio admisible	bar/MPa	6/0,6	6/0,6
Si se instala una válvula de seguridad de 8 bar (accesorio)	bar/MPa	8/0,8	8/0,8
Temperatura máx. de inactividad	°C	175	175
Capacidad de producción de vapor	W/m <sup>2</sup>	60	60
Conexión	Ø mm	22	22

## Anexo 10

# Captador Solar **COINTRA**

## Icaro VF - HF Captador Solar plano selectivo de alto rendimiento



Resultados de ensayo referente al área de apertura

Valores referidos a área de apertura	ICARO 2.0 VF	ICARO 2.3 VF	ICARO 2.3 HF
$\eta_0$	0,756	0,750	0,737
$a_1$	3,72 W/m² H	3,706 W/m² H	4,043 W/m² H
$a_2$	0,017 W/m² H	0,009 W/m² H	0,018 W/m² H

### PRESTACIONES

- Indicado para aplicaciones de producción de A.C.S., calentamiento de piscinas, calefacción a baja temperatura o fan-coil y refrigeración por absorción.
- Disponibles modelos de disposición vertical (Icaro VF) y horizontal (Icaro HF).
- Conexionado de hasta 8 captadores por batería en modelos con disposición vertical y hasta 4 en modelos horizontales.
- Cubierta de vidrio templado de bajo contenido en hierro (inferior al 0,05 %), de 4 mm de espesor.
- Superficie absorbente de cobre con recubrimiento selectivo,
- Placa colectora de tubos de cobre.
- Parrilla de 12 tubos en diámetro exterior 8 mm.
- Vaina para sensor de temperatura incluida en el accesorio Kit 4 conexiones.
- Aislamiento en lana de roca de 40 mm de espesor.
- Carcasa exterior en aluminio.

**8 AÑOS**  
GARANTÍA  
EN COMPONENTES

### Certificaciones

Pruebas de Certificación según EN-1 2975-2.  
Con contraseña de Certificación por la Dirección General de Política Energética y Minas.  
Solar Keymark.



### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS	ICARO 2.0 VF	ICARO 2.3 VF	ICARO 2.3 HF
Sup. Total	1,97 m²	2,32 m²	2,32 m²
Sup. Apertura	1,89 m²	2,23 m²	2,23 m²
Sup. Absorbedor	1,87 m²	2,21 m²	1,87 m²
Altura	1,7 m	2 m	1,16 m
Ancho	1,16 m	1,16 m	2 m
Fondo	0,08 m	0,08 m	0,08 m
Número de conexiones	4	4	4
Diámetro conexiones	3/4"	3/4"	3/4"
Peso en vacío	35 Kg	41 Kg	41 Kg
Contenido en líquido	1,4 L	1,5 L	1,5 L
Caudal de trabajo recomendado	100-250 L/h	100-250 L/h	100-250 L/h
Presión máx. de trabajo	10 bar	10 bar	10 bar
Temperatura de estancamiento	177 °C	177 °C	177 °C
Aislamiento an lana de roca de espesor	40 mm	40 mm	40 mm
Grado de absorción	95 %	95 %	95 %
Emisividad	5 %	5 %	5 %
Máximo número de colectores en paralelo	8	8	4
Código	13.007	13.006	13.005

## Anexo 11

### Placa Solar Viessmann Vitosol 200-TM 1.63



Referencia SK06741

**-43%** 1.646,81 €

**938,68 €**

Impuestos incluidos

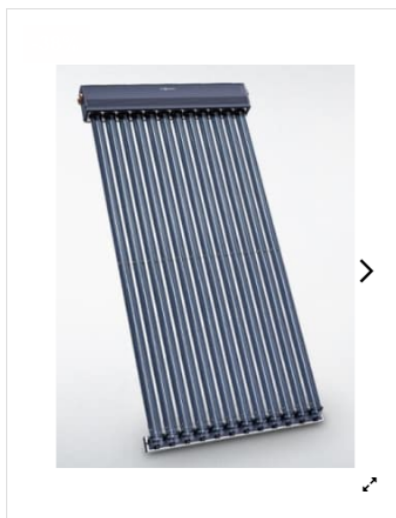
Plazo de entrega: CONSULTAR

Placa Solar Viessmann Vitosol 200-TM 1.63, de tubos de vacío, con una superficie de 1.63 m<sup>2</sup>, 9 tubos, instalación vertical u horizontal, con ThermProtect

1

## Anexo 12

### Placa Solar Viessmann Vitosol 300-TM SP3C 1.51



Referencia SK06738

**-38%** 2.090,88 €

**1.296,35 €**

Impuestos incluidos

Plazo de entrega: CONSULTAR

Placa Solar Viessmann Vitosol 300-TM SP3C 1.51, de tubos de vacío, con una superficie de 1.51 m<sup>2</sup>, instalación vertical u horizontal, con ThermProtect

1

## Anexo 13



### Acumulador ACS CORDIVARI DAB 2.500 LITROS



Nº de producto: DAB250PW08RFP

Calderín: POLYWARM®, capacidad: 2.500 litros, Medidas: 242 X 135 cm,  
Aislamiento: 5cm, Resistencia: Opcional 2"

**4.549,99 €** Impuestos incluidos

Pagado por transferencia 2% de descuento extra

285,00 € al mes



A plazos hasta 3000,00 €. Primer pago de 1834,99 €

1

**COMPRAR**

Disponible 1 día

100% secure payments



Envío **GRATIS** Península. Entregado 3/5 días

