

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL AGUA DE UNA PISCINA CON CAPACIDAD DE 60 m³, CON COLECTORES SOLARES PLANOS PARA LA QUINTA CARMEN”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**PAUL MARCELO DAVALOS SAA
FRANCISCO JAVIER CURICAMA PINARGOTE**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA
CODIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA**

Sangolquí, 2008 - 07

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL AGUA DE UNA PISCINA CON CAPACIDAD DE 60 m³, CON COLECTORES SOLARES PLANOS PARA LA QUINTA CARMEN” fue realizado en su totalidad por Francisco Javier Curicama Pinargote y Paul Marcelo Dávalos Saa, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba
DIRECTOR

Ing. Ernesto Soria
CODIRECTOR

Sangolquí, 2008 - 07 - 07

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA
LA CLIMATIZACIÓN DEL AGUA DE UNA PISCINA CON
CAPACIDAD DE 60 m³, CON COLECTORES SOLARES PLANOS
PARA LA QUINTA CARMEN”

ELABORADO POR:

Francisco Javier Curicama Pinargote.

Paul Marcelo Dávalos Saa

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Crnl. Ing. Juan Díaz T.
COORDINADOR DE LA CARRERA DE ING. MECÁNICA

Sangolquí, 2008-07

DEDICATORIA

Dedico este proyecto en la que he puesto mucho empeño, esfuerzo, y dedicación primeramente a toda mi familia, a mi padre quien me ha inculcado su sabiduría, apoyo y enseñanzas. A mi linda y querida madre que siempre me ha apoyado en todo sentido y momento para la realización de mis aspiraciones y deseos. A mis hermanas, Sandra, Sylvia y Sophia quienes me han proporcionado fortalezas en enfrentar a los obstáculos y de ayudarme siempre en los momentos más difíciles.

Consagro a este proyecto realizado a mis compañeros amigos, profesores, tutores de aula, quienes influyeron profundamente en mi formación académica; así mismo, expreso mi sincero dedicataria de este trabajo realizado a todas las personas dedicadas e instruidas en la ciencia, tecnología e investigación con el afán de perpetuar el constante mejoramiento de nuestro país a través de la ingeniería, una maravillosa y prestigiosa profesión que ha tipificado el progreso y bienestar de la sociedad del siglo veinte.

Paul Dávalos Saá.

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico principalmente a Dios, a la memoria de mi madre quién siempre cuida por mí, a mi padre. A mis hermanos, Mónica y Christian quienes me han acompañado en el proceso de mi formación.

Una dedicación y agradecimiento muy especial a la Fundación Hanns Seidel por la ayuda y la formación recibida, en especial al señor Dr. Klaus Binder por su constante apoyo.

A la Sra. Betsabé Morocho quién me dio todas las facilidades de vivir en Sangolquí, a mi novia Albita quién influyo para que pueda terminar la Ingeniería, a los amigos y personas quienes con sus buenos consejos motivaron para seguir luchando.

A la Escuela Politécnica del Ejército en especial a la Carrera de Ingeniería, así como a mis maestros y profesores quienes me otorgaron todos los conocimientos teóricos prácticos, para que podamos resolver los problemas técnicos de nuestro país.

Francisco Curicama

AGRADECIMIENTO

Primeramente expresamos un agradecimiento infinita a Dios, por brindarnos la oportunidad de poseer todos los recursos posibles para realizar nuestros anhelos. Un agradecimiento especial a la Escuela Politécnica del Ejército y a la Carrera de Ingeniería Mecánica, a los Directores del proyecto de Tesis por haber aportado con los conocimientos teóricos y prácticos, a los propietarios de la “Quinta Carmen” representados por el señor Ricardo Oña y Sra. Carmen Marcillo por permitir implementar sistemas de energías amigables con el medio ambiente, al Ing. Franklin Carrasco, Ing. Hugo Iza y los señores Manuel Oña, Alberto Luna por haber contribuido con su conocimiento para la realización del proyecto de tesis.

Paul Dávalos Saá.

Francisco Curicama

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAG.
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCION Y RESUMEN	xvii
CAPITULO 1	1
Generalidades	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del Problema.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos	2
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación e Importancia del Proyecto	3
CAPITULO 2	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2 Radiación solar local	5
2.1.1 Radiación directa.....	7
2.1.2 Radiación difusa.....	8
2.1.2.1 Radiación de albedo.....	8
2.1.3 Radiación global.....	9
2.1.3.1 Radiación total.....	9
2.1.3.2 Parámetros de posición del Sol.....	9
2.1.3.3 Modelo matemático para calcular la radiación solar.....	15
2.1.3.4 Cartas solares o diagramas solares	25
2.1.3.5 Captadores de radiación solar.....	27

2.1.3.5.1 Sistemas foto térmicos concentradores o colectores de alta temperatura	28
2.1.3.5.2 Sistemas foto térmicos activos o colectores de baja temperatura	30
2.2 Inclinación óptima de colectores	31
2.3 El colector solar plano	32
2.3.1 Características del Colector Solar Plano	33
2.3.1.1 Cubierta transparente ó cobertor:.....	35
2.3.1.2 Placa absorbidora, superficie opaca ó placa colectora	37
2.3.1.3 Instalaciones solares	40
2.3.2 Energía absorbida	44
2.3.3 Energía transformada.....	46
2.3.4 Energía Perdida	48
2.3.4.1 Pérdidas por evaporación.....	48
2.3.4.2 Pérdidas por convección	49
2.3.4.3 Pérdidas por radiación.....	49
2.3.4.4 Pérdidas por conducción	49
2.3.4.5 Cálculo de pérdidas energéticas de una piscina	50
2.3.4.5.1 Pérdida energética para una piscina cubierta	51
2.3.4.5.2 Pérdida energética para una piscina sin cubierta.....	51
2.3.4.5.3 Cálculo de las pérdidas energéticas global	52
2.3.4.5.3.1 Considerando un sistema sin cubierta (al aire libre).....	52
2.3.4.5.3.2 Considerando un sistema con cubierta	52
2.3.4.6 Sistema de implementación de climatización solar para piscina sin cubierta.....	53
2.3.4.7 Sistema de implementación de climatización solar para piscina con cubierta	53
2.3.4.8 Des humectación.....	55
2.3.4.8.1 Sistema de deshumidificación mediante aire exterior	57
2.3.5 Eficiencia del colector solar plano	58
2.3.6 Cálculo del calor útil [Qu] de un colector solar por el método de Klein.....	59
2.3.6.1 Factor de remoción [Fr]	60
2.3.6.1.1 Cálculo del factor de remoción	68

2.3.6.1.1.1 Datos	68
2.3.6.1.1.2 Procedimiento	68
2.3.6.2 Expresión matemática del calor útil [Qu] del colector solar plano	71
2.3.6.2.1 Cálculo del calor útil de un colector [Qu]	72
2.3.6.2.2 Datos	72
2.3.6.2.3 Desarrollo	72
2.3.7 Cálculo del calor útil [Qu] absorbido por un colector solar por el método iterativo de cálculo de calor de absorción entre espaciamiento de placa absorbedora y cubierta transparente	72
CAPITULO 3	82
DISEÑO DEL SISTEMA TERMICO	82
3.1 Demanda de energía de la piscina.....	82
3.1.1 Cálculo de la demanda energética	83
3.2 Diseño del sistema de tuberías para la admisión y salida del agua ..	83
3.2.1 Automatización del sistema de calentamiento y circulación del fluido	86
3.2.2 Recirculación de agua fría.....	87
3.2.3 Cálculo de la potencia para la selección de la bomba.....	88
3.2.3.1 Determinación de la potencia de la bomba hidráulica	91
3.2.3.1.1 Datos	91
3.2.3.1.2 Cálculo de la pérdida hidráulica de un colector solar	91
3.2.3.1.3 Cálculo de la potencia del circuito de cobre	92
3.2.3.1.3.1 Datos	92
3.2.3.1.3.2 Desarrollo	93
3.2.3.1.4 Cálculo de la potencia del circuito de PVC.....	94
3.2.3.1.4.1 Datos	94
3.2.3.1.4.2 Desarrollo	94
3.2.4 Determinación de la energía disipada por el circuito hidráulico.....	96
3.2.4.1 Cálculo de las pérdidas energéticas en el circuito hidráulico	97
3.2.4.1.1 Datos	97
3.2.4.1.2 Desarrollo	98
3.2.5 Sistema de conexiones de los colectores solares	99
3.3 Diseño del sistema de colectores solares planos.....	101

3.3.1 Análisis	102
3.3.1.1 Descripción y justificación del diseño de climatización cerrado...	102
3.3.2 Determinación del número o cantidad de colectores solares para satisfacer la demanda energética de un sistema de aprovechamiento de la energía solar para climatizar una piscina	103
3.3.2.1 Método por el área superficial de la piscina	104
3.3.2.2 Método analítico de cálculo termodinámico de relación de demanda energética y calor útil aportado unitario [Qd/ Qu]	105
3.3.2.2.1 Radiación solar total del sector “Selva Alegre” – Sangolquí.....	106
3.3.2.3 Método de determinación mediante el uso de software o programas solares: CENSOL	109
3.3.3 Factor sombra	113
3.3.4 Cálculos de des humectación.....	113
3.4 Diseño de la estructura soporte de los colectores.....	114
CAPITULO 4	116
DISEÑO ESTRUCTURAL	116
4.1 Definición de cargas	116
4.2 Características de la estructura.....	117
4.3 Orientación de la estructura	118
4.4 Selección de materiales	120
4.5 Simulación en SAP 2000.....	122
CAPITULO 5	128
CONSTRUCCION Y MONTAJE.....	128
5.1 Organigrama de proceso.....	128
5.2 Instalación de material cerámico	131
5.3 Instalación del sistema de tuberías carga y descarga del agua	132
5.4 Construcción e instalación de los colectores solares planos.....	134
5.5 Construcción de la estructura soporte.....	137
5.5.1 Estructura metálica cubierta de la piscina	137
5.5.2 Estructura metálica soporte de los colectores	138
5.6 Instalación del sistema de control	142
5.6.1 Control manual	144
5.6.2 Control automático	145
CAPITULO 6	148

PRUEBAS DE OPERACIÓN.....	148
6.1 Hoja de pruebas	148
6.1.1 Datos de irradiación.....	148
6.2 Datos	152
6.2.1 Eficiencia	152
6.2.2 Presentación de datos registrados en el programa	156
6.3 Análisis de datos	164
6.3.1 Análisis de eficiencia	164
6.3.2 Confiabilidad y Disponibilidad del sistema de climatización solar ..	167
6.3.2.1 Confiabilidad.....	167
6.3.2.2 Disponibilidad	168
6.4 Homologación	169
6.4.1 Fracción solar	169
CAPITULO 7	172
ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO	172
7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	172
7.1.1 Determinación de costos	172
7.1.2 Materiales.....	172
7.1.3 Mano de obra	177
7.1.4 Otros costos	178
7.2 Análisis financiero	178
7.2.1 Flujo de caja	180
7.2.2 TIR Y VAN.....	185
7.2.3 Recuperación de la inversión	186
CAPITULO 8	188
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	188
8.1 CONCLUSIONES.....	188
8.2 RECOMENDACIONES	189
FUENTES DE INFORMACIÓN	190
Referencias bibliográficas	190
APENDICE A: Planos, Diagramas de Proceso, Ejemplos de cálculo, Fotocopias anexos, programa PLC, carta de conformidad y Fotos.....	191
APENDICE B: MANUAL DE OPERACIÓN	223
APENDICE C: MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	224

INDICE DE FIGURAS

ORDEN	CONTENIDO	PAG.
2.1	Declinación terrestre	9
2.2	Angulo zenit θ_z , de inclinación β , azimut superficial γ azimut solar γ_s , y de incidencia θ	14
2.3	Espectro energético del sol	16
2.4	Espectro de ondas de la radiación solar	17
2.5	Representación esquemática de un piranometro	24
2.6	Representación esquemática de un pirheliómetro	24
2.7	Representación esquemática de un Heliógrafo.....	25
2.8	Carta solar de forma polar para el sector Selva Alegre, provincia de Pichincha	26
2.9	Carta solar de tipo cartesiano para el sector selva alegre, provincia de Pichincha	27
3.0	Tipos de concentradores solares	30
3.1	Tipos de colectores para climatizar piscinas (el modelo de colector plano también es el más óptimo para el calentamiento de agua de uso doméstico).....	34
3.2	Variación de la reflectancia y absortancia con la longitud de onda en superficies opacas.....	38
3.3.1	Aplicaciones de sistemas solares	42
3.3.2	Aplicaciones de sistemas solares	43
3.4	Flujo energético radiante incidente sobre un colector plano solar.....	45
3.5	Flujo energético alrededor de un colector	46
3.6	Pérdidas energéticas en una piscina.....	48
3.7	Grado de significancia de pérdida energética de una piscina	50
3.8	Partes constituidas de un colector solar plano	60
3.9	Sección transversal en corte de un colector solar plano	61
4.0	Diseño de colector plano de serpentín puesto sobre placa acanalado.....	66
4.1	Analogía eléctrica de transferencia de calor producido	

	para un colector solar de una cubierta transparente	73
4.2	Resultante de la analogía eléctrica de transferencia de calor producido para un colector solar de una cubierta transparente	74
4.3	Recta característica de la eficiencia del colector	81
4.4	Esquema hidráulico convencional	84
4.5	Sistema convencional de circuito hidráulico para climatizar piscina de caída de presión baja	84
4.6.1	Sistema sencillo de climatización solar de una piscina	85
4.6.2	Sistema completo de climatización solar de una piscina.....	85
4.7	Circuito hidráulico de recirculación de agua fría de una piscina	87
4.8	Circuito térmico en serie, geometría cilíndrica	96
4.9	Conexión de los colectores solares.....	99
5.0	Instalación correcta en paralelo de los colectores.....	100
5.1	Programa solar CENSOL	110
5.2	Entrada de datos en el programa solar: CENSOL	110
5.3	Factor de corrección K	111
5.4.1	Estructura soporte para los colectores	114
5.4.2	Montaje de los colectores sobre la estructura soporte	115
5.5	Estructura soporte de colectores en 3 dimensiones.....	118
5.6	Estructura soporte vista frontal.....	119
5.7	Estructura soporte vista lateral.....	119
5.8	Estructura soporte vista superior.....	120
5.9	Ubicación de las cargas de: peso de los colectores, loseta, granizo	123
6.0	Ubicación de la carga distribuida vista frontal	123
6.1	Ubicación de la carga distribuida vista isométrica.....	124
6.2	Ubicación de la carga puntual (sismo, viento) en flechas verdes	125
6.3	Diagrama de colores de radios de esfuerzos sobre los elementos estructurales	126
6.3.1	Diagrama de colores de radios de esfuerzos sobre los elementos estructurales (vista en perspectiva)	127

6.4	Esquema general del circuito hidráulico de la planta baja...	133
6.5.1	Construcción y armado del colector solar	135
6.5.2	Colectores solares terminados	136
6.5.3	Montaje e instalación de los colectores solares	136
6.6	Estructura metálica cubierta	138
6.7.1	Elaboración del marco estructural y sujeción de placas base	140
6.7.2	Elaboración y soldada de soportes (patas)	140
6.7.3	Soldada del marco, montaje y soldada de los transversales e instalación de los colectores solares.....	141
6.7.4	Esquema final de los colectores sobre el soporte metálico.	141
6.8	Ilustración grafica del PLC para automatizar el sistema de climatización.....	143
6.9	Ilustración gráfica del módulo de entradas analógicas.....	144
7.0	Esquema general del control automático	144
7.1	Representación gráfica del sistema	156
7.2	Representación de datos en tiempo real.....	157
7.3	Registro de datos histórico para Mayo 14 de 2008	157
7.4	Registro de datos histórico para Mayo 15 de 2008	158
7.5	Registro de datos histórico para Mayo 16 de 2008	158
7.6	Registro de datos histórico para Mayo 17 de 2008	159
7.7	Registro de datos histórico para Mayo 18 de 2008	159
7.8	Registro de datos histórico para Mayo 19 de 2008	160
7.9	Registro de datos histórico para Mayo 20 de 2008	160
8.0	Registro de datos histórico para Mayo 21 de 2008	161
8.1	Registro de datos histórico para Mayo 22 de 2008	161
8.2	Registro de datos histórico para Mayo 23 de 2008	162
8.3	Registro de datos histórico para Mayo 24 de 2008	162
8.4	Registro de datos histórico para Mayo 25 de 2008	163
8.5	Registro de datos histórico para Mayo 28 de 2008	163
8.6	Gráfica de la eficiencia del colector solar para 4 de mayo ..	164
8.7	Gráfica de la eficiencia del colector solar para 5 de mayo ..	165
8.8	Gráfica de la eficiencia del colector solar para 6 de mayo ..	166
8.9	Gráfico de recuperación de inversión.....	186

INDICE DE TABLAS

ORDEN	CONTENIDO	PAG.
2.1	Características del sol	6
2.2	Factor de albedo para algunas superficies.....	8
2.3	Tabla de cálculo de días representativo n y día medio de declinación de cada mes.....	11
2.4	Instrumentos meteorológicos de medida de la radiación	23
2.5	Coefficiente de transmitancia y de transferencia total de calor de plástico y vidrio para cubiertas transparentes.....	36
2.6	Coefficiente de transmitancia del tedlar y mylar	36
2.7	Incremento de temperatura del fluido obtenido según número de cubiertas dado.....	36
2.8	Absortancia solar, emitancia de onda larga y relación de radiación para superficies típicas	39
2.9	Condiciones de confort.....	55
3.0	Temperaturas del agua	55
3.1	Humedad absoluta de aire saturado para 65%HR.....	56
3.2	Masa evaporada por unidad de tiempo y área según número de bañistas.....	57
3.3	Conductividad térmica de aislantes térmicos utilizados en colectores planos	62
3.4	Conductividades térmicas de los materiales usados para placa absorbadora.....	65
3.5	Factor Ut específico para un colector con número de cubiertas dada.....	78
3.6	Características de entrada de diseño.....	101
3.7	Resultados que se desea obtener de la climatización	102
3.8	Radiación total mensual incidente sobre el sector Selva Alegre, provincia de Pichincha	107
3.9	Descripción general del colector solar.....	108
4.0	Cargas sobre la estructura soporte de colectores.....	121
4.1	Características de los elementos estructurales	121
4.2	Cargas distribuidas sobre los perfiles de la estructura.....	122

4.3	Materiales utilizados para la instalación cerámica	132
4.4	Descripción constructiva del colector solar	135
4.5	Materiales utilizados para elaborar la estructura soporte de los colectores	139
4.6.1	Hoja de Pruebas Para días representativos del mes de mayo.....	149
4.6.2	Hoja de Pruebas Para días representativos del mes de mayo.....	150
4.6.3	Hoja de Pruebas Para días representativos del mes de mayo.....	152
4.7	Datos calculados de eficiencia para días representativos del mes de mayo	158
4.8	Materiales utilizados en la construcción de la Estructura Soporte	173
4.9	Materiales utilizados en la construcción de los Colectores Solares	174
5.0	Materiales utilizados en la construcción del Sistema Hidráulico	175
5.1	Costos del sistema de control	176
5.2	Costos de infraestructura de la piscina	177
5.3	Costos de mano de obra	177
5.4	Costos diversos.....	178
5.5	Estimación energética de GLP.....	179
5.6	Costo total de Implementación del Sistema	180
5.7	Abastecimiento de energía solar anual	181
5.8	Abastecimiento de energía solar para el mes de Junio.....	182
5.9	Flujo de caja del proyecto	184
6.0	Representación de las cantidades de TIR y VAN	185
6.1	TIR y VAN al final del Período.....	186

INTRODUCCION Y RESUMEN

Este proyecto tiene un mayor enfoque dentro de la ingeniería mecánica en el área de energías. El término energía para definirlo de manera absoluta es muy complicado, puesto que la energía se manifiesta de distintas maneras en la naturaleza por las condiciones primordiales físicas de la materia o cuerpos, es decir se puede presenciar energía en estado de movimiento (cinética), o estar relacionado en el estado de posición (potencial) o en el manifiesto de radiación electromagnética comunicante en los objetos; dadas estas condiciones primordiales, la energía se puede manifestar o se clasifican de las siguientes maneras: mecánica, térmica, química, eléctrica, radiante o atómica. Una de las propiedades fantásticas de la energía es en la capacidad de su transformación hacia otro tipo, el proceso de transformación puede sufrir pérdidas disipadas a la naturaleza o puede generar ganancia; otra capacidad consecuente de la energía de un sistema físico es la realización de **trabajo**, el trabajo está relacionado directamente y principalmente con la energía mecánica. El propósito de realizar transformación energética depende del uso, o servicio que se desea obtener. Si se desea obtener un uso o servicio a través de la energía, quiere decir que la energía está profundamente relacionada con el desarrollo de la sociedad humana de forma determinante.

La forma de obtención de la energía constituye de *formas convencionales y no-convencionales*. El método convencional básicamente consiste en la extracción de sustancias (petróleo, gas natural, gas asociado, carbón etc.) de origen animal y vegetal preservadas durante millones de años en el subsuelo para producir energía térmica o eléctrica principalmente (las sustancias previamente preparadas químicamente a través de su industrialización). Su principal ventaja es en su disponibilidad permanente para su utilización. Su desventaja es en su agotamiento inevitable debido a su incapacidad de regeneración, su adquisición posee un costo en función del ritmo de extracción, su utilización no es de alta calidad ni limpia, es decir que su uso conlleva o maneja procesos de transformación energética de pérdidas significativas y producen gran impacto de contaminación ambiental. En la actualidad se comprueba las consecuencias o hechos del uso mayoritario y dependiente y el manejo sin control organizado

de los sistemas convencionales energéticos en el mundo tales como: el precio elevado del barril de petróleo, guerras entre naciones para el apoderamiento de los yacimientos de extracción, calentamiento global entre otras.

El método no-convencional para obtener energía consiste en la posibilidad de su aprovechamiento mediante configuraciones de los recursos naturales geográfica, orográfica y meteorológica. Dado que los recursos naturales son amplios, esta clasificación corresponde a un tema global denominado *energías alternativas*. Las ventajas principales de las energías alternativas es su capacidad de regeneración en la escala humana de tiempo, el costo de su adquisición una vez que se implementa el sistema de aprovechamiento adecuado es nula, su utilización es considerablemente de alta calidad y limpia, es decir que su uso conlleva procesos de transformación energética de pérdidas y el grado de contaminación específicamente reducidos. El mantenimiento de la funcionalidad de la mayoría estos sistemas es relativamente baja. Sus desventajas principales es en su disponibilidad limitado que siempre está en función del estado o configuración ambiental y natural. Los sistemas de implementación para aprovechar las energías alternativas demandan un estudio previo muy detallado y minucioso y un costo elevado.

La implementación de los sistemas alternativos energéticos se ha llevado a cabo desde hace significativamente muchos años atrás. Los sistemas alternativos de energía más conocidos en la actualidad y de gran potencial para el Ecuador corresponde a:

La biomasa, un sistema que aprovecha de la capacidad de energía producido por la descomposición de materia orgánica de tipo animal o vegetal en un sistema completamente cerrado; **Hidroeléctrica**, un sistema que aprovecha la constitución orográfica de una región territorial que mediante el potencial gravitacional de caída de agua de ríos se lo aprovecha para la impulsión de turbinas de generación eléctrica; **Geotérmica**, un sistema de aprovechamiento de la vasta liberación de energía térmica en forma de vapor ocurridos en el subsuelo producidos por el rozamiento constante de las placas tectónicas para la impulsión de las turbinas de generación eléctrica; **Eólica** un sistema de aprovechamiento mediante la impulsión de álabes y éstas a su vez hacia turbinas de generación eléctrica o bombeo mediante el viento atmosférico; **Solar**, un sistema como su nombre indica, en la captación de energía radiante

producido por las reacciones de fusión continua del sol, se lo aprovecha para generación eléctrica o térmica; ***de mares u océanos*** como su nombre indica, se basa en el aprovechamiento de la agitación y desplazamiento continuo de las olas del mar o océanos para impulsar turbinas de generación eléctrica.

De todo lo mencionado anteriormente, el proyecto llevado a cabo consiste en la utilización de la energía no-convencional alternativa solar térmica para la climatización de agua de una piscina mediante captadores denominados colectores solares planos. La climatización o calentamiento controlado se realiza de forma gradual puesto por los limitantes de disponibilidad del sol. El agua contenida de la piscina circula por los colectores solares que se calienta y se deposita nuevamente en el vaso de la piscina. Para minimizar las pérdidas energéticas producidas por convección, evaporación, radiación se implementó un sistema cerrado o cubierto para garantizar la permanencia de temperatura de confort o adecuada para los bañistas que desean utilizar la piscina.

Para la implementación de un sistema de aprovechamiento de la energía solar para climatizar una piscina de la manera más óptima, se procedió a evaluar varios parámetros importantes tales como: geográficas, meteorológicas, termodinámicas, hidráulicas, mecánicas, de construcción y de automatización que estará descrito detalladamente en el transcurso del contenido del proyecto.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Actualmente en el Ecuador, las Energías Renovables no tienen aplicaciones importantes, en vista de la ausencia de políticas que fortalezcan su aprovechamiento. Las empresas que se dedican a la producción de energía limpias son limitadas y los proyectos realizados en este campo son de poco aporte científico, por este motivo es que los proyectos que se tienen en el Ecuador son de bajo rendimiento, y no muy eficientes.

Debido a la facilidad de conseguir en nuestro país el combustible fósil, el tema de las Energías Renovables no ha sido de gran interés, por tal motivo no existen investigaciones de alto nivel sobre este tema. Otra razón por la cual se ha encontrado la necesidad de desarrollar proyectos que aporten a la elaboración del proyecto es la recuperación de la naturaleza reduciendo la contaminación que producen los combustibles fósiles así como también sus costos de producción de energía térmica.

1.2 Definición del problema

En la actualidad estamos padeciendo los efectos negativos de la contaminación. El uso indebido de los combustibles de origen fósil, han causado grandes cambios en el medio ambiente. Problemas como: el Calentamiento Global, la reducción de la capa de ozono y la lluvia ácida.

En nuestro propio entorno podemos sentir las consecuencias de esta contaminación. La temperatura ambiental llega hasta los 25-28 °C, un calor sofocante, al cual no estamos acostumbrados, cuando años atrás estábamos habituados a temperaturas en un rango de 18-21 °C, en un entorno fresco, el cual difiere en gran medida del actual

Los motivos expuestos anteriormente son el principal propósito que ha llevado a contribuir mediante este proyecto de grado, el diseño y construcción de un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica para la climatización del agua que permita analizar térmicamente el mejoramiento de la eficiencia del mismo y que sirva de referente para concientizar a la comunidad sobre los beneficios de este tipo de aplicaciones sustentadas en el uso de la energía solar térmica.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

“Diseñar y construir un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica para la climatización del agua de una piscina con capacidad de 60 m³, con colectores solares planos para la Quinta Carmen”

1.3.2 Específicos

- Aplicar otras fuentes de energía, utilizando sistemas de aprovechamiento de energía solar térmica y utilizando placas colectoras para el calentamiento del agua
- Fomentar el uso de energías renovables.

- Colaborar con el mejoramiento de las instalaciones de la “*Quinta Carmen*” para un mejor servicio.

1.4 Alcance

El alcance del proyecto es diseñar y construir un sistema colectores solares plano para la climatización del agua de una piscina, el mismo que utilizará la energía proveniente del sol para elevar la temperatura del agua en unos cuantos grados para la satisfacción de las personas que la utilizarán, ya sea para el entretenimiento, mejorar su salud y compartir momentos con la familia.

1.5 Justificación e importancia del proyecto

El consumo de energía en los países industrializados es notable, un elevado incremento anual, y una excesiva dependencia de los combustibles de origen fósil, esta situación origina problemas bien conocidos como el agotamiento del combustible finito en fechas no lejanas, impactos negativos causados sobre el medio ambiente como la lluvia ácida y el efecto invernadero.

El actual modelo energético basado en la quema de combustibles fósiles y la energía nuclear es insostenible, y la única alternativa posible viene dada por un modelo energético basado en la eficiencia energética y las energías renovables o limpias.

El sistema energético debe someterse a los límites de la Naturaleza. La sociedad actual utiliza la energía como si no existiesen límites, pero existen. Hay un límite que no podemos franquear y es la capacidad de la atmósfera para absorber CO₂, CO, SO_x y NO_x.

El Proyecto se sujeta principalmente en la utilización de los colectores solares planos que captan la energía del sol por medio de la radiación solar para la climatización del agua, esta energía limpia no permite la contaminación del medio ambiente y la duración de los paneles es de muchos años. La ubicación de la piscina es en el valle de los Chillós sector Selva Alegre, que cuenta con un clima agradable con temperatura ambiente de los 16°C hasta 25°C y con una buena irradiación solar alrededor de los 4200wh/m² en días de alta

insolación desde las 07:30 hasta las 16:00, tiempo adecuado para elevar la temperatura la temperatura del agua desde los 15⁰C hasta los 25⁰C en días consecutivos con la energía aportada por los colectores solares.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2 Radiación solar local

La radiación solar es una fuente de energía renovable, es decir que tiene la capacidad de regenerar o son virtualmente inextinguibles dentro de la escala humana de tiempo. En los sistemas de aprovechamiento de esta energía los objetivos tienen dos proyecciones: ahorrar las energías no renovables¹ tales como convencionalmente se utilizan las energías fósiles y nucleares, y el segundo proyección es en la disminución del impacto contaminante generado por ellas.

La radiación ó energía solar, como su nombre indica tiene como su fuente primaria el sol. El sol es una estrella de componentes gaseosos calientes principalmente de hidrógeno y en una porción pequeña de helio en fusión continua en su núcleo. Sus características principales se destacan a continuación:

¹ Energías no renovables son aquellas que por su configuración química o física se agotan o no son susceptibles de renovación en un determinado periodo de acuerdo al ritmo de extracción.

Tabla 2.1 Características del sol²

	Sistema Internacional	Sistema Americano
Temperatura superficial:	5 500°C	9 900°F
Temperatura interior:	8x10 ⁶ - 40x10 ⁶ °C	14x10 ⁶ - 72x10 ⁶ °F
Diámetro promedio:	1.39x10 ⁹ m	863 750 millas
Distancia promedio a la tierra:	1.495x10 ¹¹ ± 1.7% m	93 millones millas
Constante solar	1367 W/m ²	7.23 BTU/min .ft ²
Masa:	2x10 ³⁰ Kg	4.4x10 ³⁰ lb
Densidad media:	1.41 Kg/m ³	0.089 lb/ft ³

La potencia radiante del sol que se propaga y llega a la superficie de la tierra es de alrededor de 1.2×10^{17} Vatios (W) (1.14×10^{14} BTU/s). El sol puede proveer energía en la tierra 15 000 veces más que la energía que se utiliza a diario. Para aprovechar esta energía de manera óptima, se debe conocer a profundidad algunos parámetros de gran importancia, tales como:

- Punto geográfico.
- Horas de sol.
- Trayectoria aparente del sol para el punto geográfico (cartas solares).
- Cantidad de energía recibida por unidad de área y tiempo.
- Energía recibida a lo largo del día, mes año.
- Factores micro climáticos.

² La constante solar es el promedio de la energía solar incidente en una unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre. Anteriormente equivalía 1350 W/m² pero según datos recientes, se ha modificado a su valor presentado. Este factor también se denomina **IRRADIANCIA**.

En el transcurso del desarrollo de nuestro proyecto, se detallara de manera profunda los temas y parámetros mencionados.

La tierra, como captador de la energía del sol posee tres movimientos respecto a esta fuente. A continuación se menciona.

Traslación:

La tierra se traslada alrededor del sol en una trayectoria elíptica de excentricidad pequeña, de un factor de 0.017 en su órbita. El plano que transcribe la trayectoria elíptica se denomina plano de la elíptica.

Rotación:

La tierra gira por sí misma, alrededor de un eje que atraviesa por los polos y forma un ángulo medio de 23.45° (sexagesimal) con la normal al plano elíptico. Debido a esta inclinación, existen periodos en el año en donde existe mayor captación de los rayos del sol en los hemisferios norte y sur. Para el norte, el mayor ángulo de incidencia coincide con la posición más alejada del sol, se produce el solsticio de verano (22 junio), el solsticio de invierno (23 de diciembre) coincide con la distancia mínima.

Nutación:

Durante el transcurso del año, el eje de giro posee un movimiento oscilatorio respecto a su posición media.

Así mismo, como captador superficial, la tierra asimila los siguientes tipos de energía radiante incidente:

2.1.1 Radiación directa

Es aquella energía proveniente del sol que llega a la tierra sin cambio de dirección, con la excepción la debida a la refracción atmosférica. Proviene de una dirección claramente definida.

2.1.2 Radiación difusa

Es aquella radiación que llega a la superficie de la tierra con cambio de dirección, estas se deben por choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire tales como gotas de agua, partículas de polvo, presencia de nubes. Va relacionado con el tipo de clima presente en el día. Un clima nublado, presencia de humo, polvo implica una reducción de la energía solar recibida, convierten los rayos directos del sol en energía difusa, que obviamente implica una reducción de la asimilación de la captación de la energía que se desea aprovechar.

2.1.2.1 Radiación de albedo

Es la radiación que llega a la superficie, después de haberse reflejado en las superficies del entorno, procede con las radiaciones recibidas mencionadas anteriormente. Existen factores de albedo según el tipo de superficie del entorno. Las cuales se presentan a continuación:

Tabla 2.2 Factor de albedo para algunas superficies³.

Tipo de superficies	Factor de albedo [%]
<i>Nieve nueva</i>	81
<i>Nieve de algunos días</i>	70
<i>Suelo cultivable despejado</i>	10 -15
<i>Hierba</i>	19 -26
<i>Bosque verde</i>	12
<i>Pavimento de cemento</i>	28
<i>Pavimento de granito</i>	19
<i>Pavimento de piedra</i>	10
<i>Asfalto</i>	14
<i>Arena clara</i>	25 -40
<i>Agua encalmada</i>	5 en invierno y 18 en verano

³ ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente Lluís Jutglar Tabla 1.4

2.1.3 Radiación global

Es la suma de la radiación directa y difusa.

2.1.3.1 Radiación total

Es la suma de la directa, de la difusa y del albedo.

Para cuantificar las radiaciones producidas de un sistema de aprovechamiento de energía solar, se requiere definir los parámetros de posicionamiento del movimiento del sol.

2.1.3.2 Parámetros de posicionamiento del Sol

Dentro de un sistema de aprovechamiento de la energía del sol, se destaca los siguientes parámetros de ubicación del sol sobre el punto geográfico que se desea analizar. Estas se basan en coordenadas geográficas horarias.

1. Declinación [δ].- Basándose en el tipo de movimiento de nutación de la tierra, es el ángulo formado entre la posición y dirección del sol, y el plano del ecuador. Este ángulo varía entre -23.45° a 23.45° .

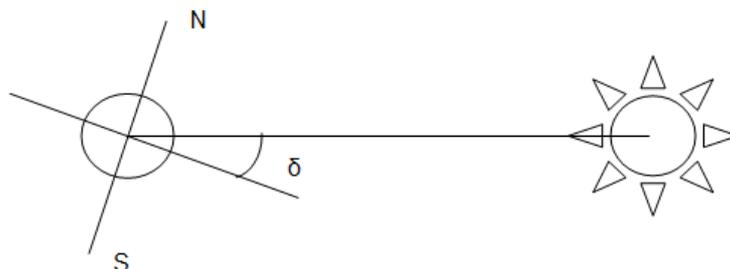


Figura 2.1 declinación terrestre

Para hallar este ángulo de forma aproximada, se recurre utilizar la propuesta por Cooper, existe otro método más aproximado⁴.

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (2.1)$$

Donde:

δ : declinación en grados sexagesimales⁵

n: número del día representativo del año, n=1 para enero 1, n=365 para diciembre 31.

Para determinar el día representativo del año de una forma más inmediata dado una fecha específica, se propone utilizar la tabla siguiente, así mismo existe un día representativo medio de la declinación de cada mes:

⁴ Ecuación propuesta por Lokmanhekim, ver ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente Lluís Jutglar. página 12.

⁵ El argumento de la función trigonométrica seno, es decir el término $(360(284+n)/365)$ debe manejarse en **GRADOS SEXAGESIMALES**.

Tabla 2.3 Tabla de cálculo de días representativo n y día medio de declinación de cada mes

Mes	N	Día medio
Enero	1	17
Febrero	31 + i	16
Marzo	59 + i	16
Abril	90 + i	15
Mayo	120 + i	15
Junio	151 + i	11
Julio	181 + i	17
Agosto	212 + i	16
Septiembre	243 + i	15
Octubre	273 + i	15
Noviembre	304 + i	14
Diciembre	334 + i	10

Ejemplo.

Se desea determinar la declinación para el 22 de julio.

$$i = 22$$

$$n = 181 + 22 = 203 \text{ (tabla 2.3)}$$

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+203}{365}\right) \text{ (ec.2.1)}$$

$$\delta = 20.2407^\circ \text{ ///}$$

2. Latitud [Ø].- Es la distancia angular entre un punto de la superficie terrestre a la línea ecuatorial. Su rango varía entre -90° a 90° , y toma valores positivos en el norte y negativos en el sur.

3. Angulo horario [w].- Es el ángulo debido al desplazamiento del sol con respecto al meridiano de referencia, depende de la hora del día, por cada hora el ángulo horario desplaza 15° (sexagesimal).

4. Angulo Azimut de la superficie [γ].- Es el ángulo formado por la proyección de la normal a la superficie en un plano horizontal con respecto al meridiano del sitio, teniendo al sur el valor de 0° , al este valores positivos y oeste valores negativos.

5. Angulo de Zenit [θ_z].- Es el ángulo formado entre la vertical al observador y el sol.

6. Angulo Beta ó de inclinación [β].- Es el ángulo formado entre la superficie de análisis y la horizontal. Su valor oscila entre 0° a 180° .

7. Angulo de incidencia [θ].- Es el ángulo formado entre la normal de la superficie y la radiación directa. Existe una relación geométrica de cálculo del ángulo de incidencia con los ángulos mencionados anteriormente. Esta relación es:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varnothing \cos \beta - \sin \delta \cos \varnothing \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varnothing \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varnothing \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.2)$$

Donde:

θ : ángulo de incidencia

\varnothing : Latitud

β : ángulo beta de inclinación

γ : ángulo azimut de superficie

ω : ángulo horario.

δ : declinación Ec.2.1.

Análisis del ángulo de incidencia.

Si $\beta = 0$, una superficie horizontal;

La Ec.2.2 resulta:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varnothing + \cos \delta \cos \varnothing \cos \omega \quad (2.3)$$

$\theta = \theta_z$ (el ángulo de incidencia es equivalente al ángulo zenit para $\beta = 0$)

Donde:

θ_z : ángulo zenit.

\varnothing : Latitud.

ω : ángulo horario.

δ : declinación. **(ec.2.1)**.

Para el ocaso, $\theta_z = 90^\circ$ se tiene:

$$\cos 90^\circ = 0 = \sin \delta \sin \varnothing + \cos \delta \cos \varnothing \cos \omega s$$

Si se despeja $\cos \omega s$:

$$\cos \omega s = -\tan \delta \tan \varnothing \quad \text{(2.4)}$$

Donde

ωs : ángulo horario de puesta de sol

δ : declinación. **(ec.2.1)**

\varnothing : Latitud.

Conocido el ángulo horario de puesta de sol, se puede determinar el número de horas teóricas o también conocido helio faña teórica.

$$N = \frac{2 \arccos(-\tan \delta \tan \varnothing)}{15} \quad \text{(2.5)}$$

Donde:

N: número de horas teóricas

δ : declinación **(ec.2.1)**

\varnothing : Latitud

8. Azimut Solar [γ_s].- Es el ángulo producido por la desviación desde el meridiano solar lugar a la proyección de la radiación solar directa en un plano

horizontal. Toma valores positivos en la región suroeste y negativo en sureste. Se calcula mediante la siguiente relación:

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \theta_z} \quad (2.6)$$

Donde:

γ_s : Azimut solar.

δ : declinación (**ec.2.1**).

ω : ángulo horario.

θ_z : ángulo Zenit.

Todos los ángulos descritos anteriormente se detallan mediante el siguiente esquema presentado a continuación:

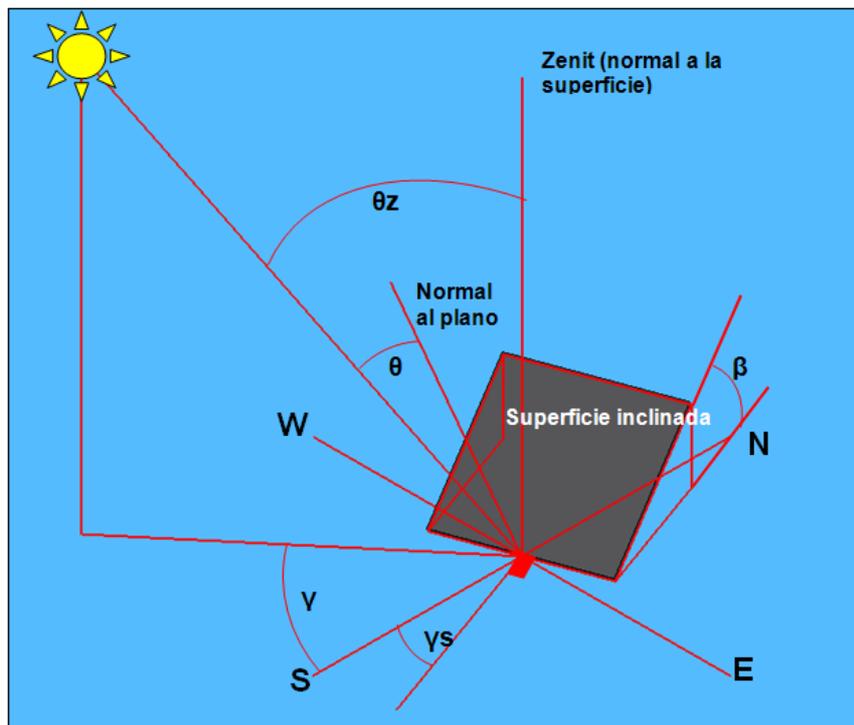


Figura 2.2 Ángulo zenit θ_z , de inclinación β , azimut superficial γ , azimut solar γ_s , y de incidencia θ .

2.1.3.3 Modelo matemático para calcular la radiación solar

Como se ha mencionado anteriormente de las características del sol, existe un factor constante denominado irradiancia⁶ promedio ubicada en la distancia media Sol-tierra y fuera de la atmósfera terrestre, conocido como la constante solar⁷, I_c equivalente a 1367 W/m^2 . Pero el factor irradiancia que se propaga a la tierra sufre variaciones a lo largo del transcurso del año debido a la trayectoria elíptica recorrida de la tierra. Una forma de cuantificar con mayor precisión a la Irradiación basándose en la ley de la distancia al cuadrado desde el foco emisor (sol), se resume a un factor de corrección:

$$I = I_c \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} n \right) \right] \quad (2.7)$$

Donde:

I: Irradiación

I_c : constante solar

n: día representativo del año⁸

La energía del sol se propaga hacia la capa más externa de la tierra mediante ondas electromagnéticas de varios tipos o específicamente de varias longitudes de onda. La longitud de onda determina la naturaleza de esta energía y, por lo tanto, su efecto sobre la superficie en donde se precipita o llega.

Las longitudes de onda de la energía del sol están medidas en micras [μ]⁹. El espectro total de la energía del sol en las capas externas atmosféricas de la tierra varía desde las longitudes de onda tipo rayo X de una centésima de

⁶ Es la energía radiante por unidad de tiempo que incide sobre una superficie unidad en un momento dado. Definición: ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente. Lluís Jutglar.

⁷ Ver Características del sol.

⁸ Explicado en parámetros de posicionamiento del sol, ver: declinación.

⁹ 1 micra [μ] = 1×10^{-6} metro (3.937 $\times 10^{-5}$ pulgada)

micra, a ondas de radio de longitud de onda de alrededor de cien metros. Sin embargo, la energía calorífica está limitada en un espectro muy estrecho que varía desde .28 a 4.8 micras.

Cuando la energía proveniente del sol se propaga hacia la atmósfera terrestre, gran parte es rebotado o filtrado y otra parte absorbida, el 98% de la energía calorífica que alcanza en la superficie terrestre está contenida en un espectro que varía desde 0.29 a 3.0 μ . El 3% de la energía está en la región ultravioleta cuyo rango varía entre 0.29 a 0.38 μ y la mayoría de ello, el 53% faltante, está en el campo invisible, cerca de infrarrojo o región calorífica que varía desde 0.76 a 3.0 μ .

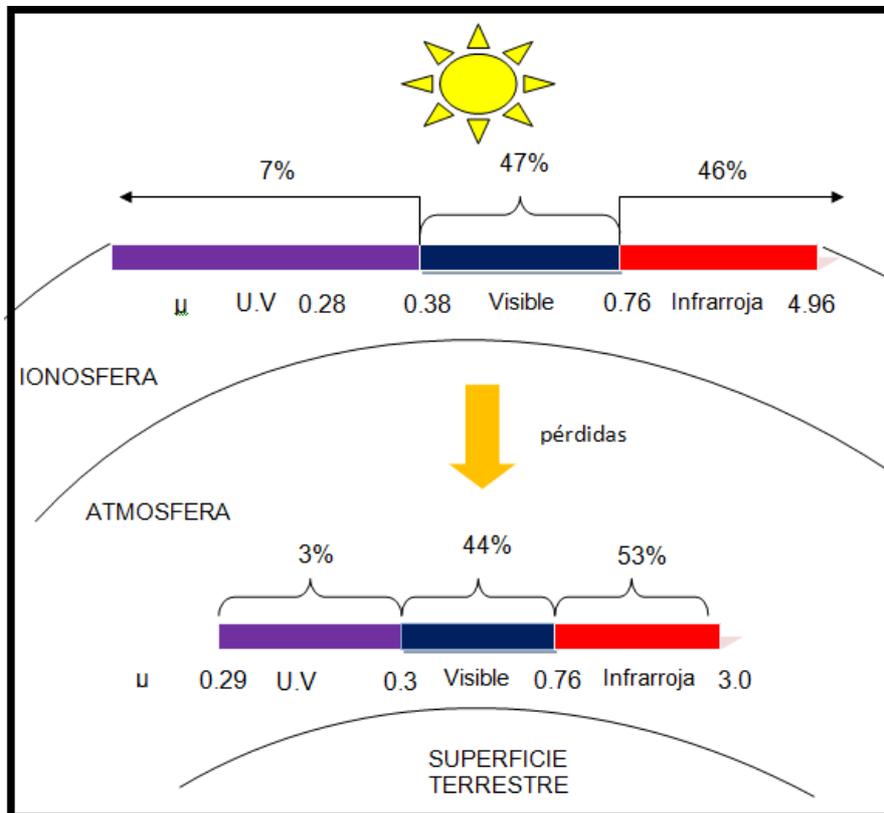


Figura 2.3 Espectro energético del sol

Otro esquema para especificar el espectro de la irradiación solar se presenta a continuación:

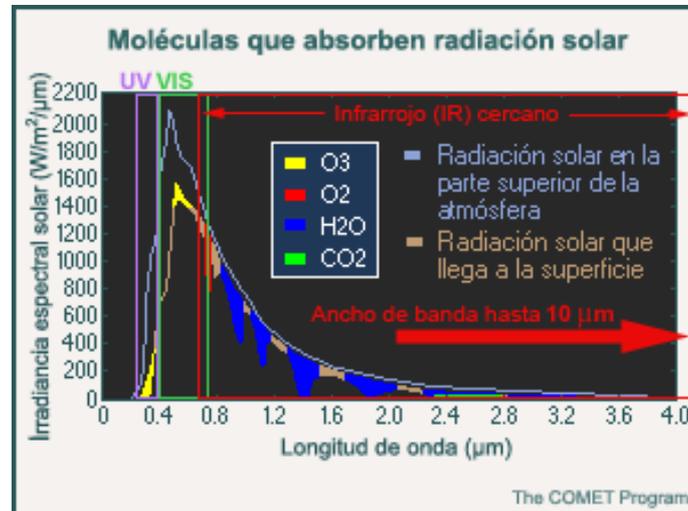


Figura 2.4 Espectro de ondas de la radiación solar

Para cuantificar la radiación por unidad de área nos basamos en la definición de irradiancia. Si la irradiancia es una energía por unidad de tiempo, entonces la radiación matemáticamente será calculada mediante el integral definido:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} I dt$$

La irradiación por definición, se basa en una dirección perpendicular a los rayos de propagación, si se desea calcular la radiación para una superficie horizontal, se requerirá proyectarlo basando en la dirección del ángulo de zenit. Es decir:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} I \cos \theta_z dt$$

Utilizando las equivalencias de θ_z , I ; propuesto anteriormente, y resolviendo ésta integral compleja la expresión final para la radiación para una **superficie horizontal y fuera de la atmósfera terrestre** es:

$$H_e = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_c}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} n \right) \right] \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi}{360} \omega_s \sin \phi \sin \delta \right) \quad (2.8)$$

Donde:

H_e : radiación sobre una superficie horizontal fuera de la atmósfera terrestre [J/m^2]¹⁰

I_c : Constante solar = 1367 W/m^2 .

n : día representativo.

ω_s : ángulo horario de puesta de sol en grados sexagesimales. **(ec.2.4)**

δ : declinación **(ec.2.1)**.

ϕ : Latitud.

Nuevamente refiriéndose a las pérdidas, dentro de un aspecto real, el tiempo de duración del brillo del sol del día es considerablemente menor al tiempo (horas de sol teóricas N) calculado mediante los parámetros conocidos de declinación y latitud¹¹. Debido a factores de zonas horarias del punto geográficos principalmente, el tiempo verdadero del brillo solar diario de un lugar específico se determina mediante procesos de monitoreo, ensayos de medición, o experimentalmente. De ello, surge un nuevo variable denominado: *horas de brillo real* o técnicamente *horas de insolación*¹² representado como: n . Si relacionamos los parámetros n y N se tiene la siguiente expresión que será de utilidad para posteriormente hallar la radiación sobre la superficie terrestre:

$$\sigma = \frac{n}{N} \quad (2.9)$$

Donde

¹⁰ Otras unidades para cuantificar la radiación solar son: Langley [L_n] = $1 \text{ caloria/cm}^2 = 41\,840 \text{ J/m}^2$; $\text{W-h/m}^2 = 3600 \text{ J/m}^2$; $\text{BTU/ft}^2 = 11\,344.4153 \text{ J/m}^2$.

¹¹ Helio faña, número de horas teóricas N , explicado en los parámetros de posicionamiento del sol ec. **(1.5)**

¹² Se acepta como insolación aquel tiempo durante el cual la irradiancia solar directa es igual o mayor que 100 W/m^2 Definición: ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente Capitulo: radiación solar pg.25.

σ : coeficiente de insolación (factor a dimensional).

n: horas de insolación o de brillo solar real¹³.

N: horas de brillo solar teórico. **(ec.2.5)**.

Definido el coeficiente de insolación, se puede obtener o estimar la energía global incidente sobre la superficie terrestre. Para ello se recurre a una regresión lineal propuesto por Angstrom-Page que involucra nuevos parámetros climáticos a, y b que son propias del clima de la zona, esta expresión nueva se denomina **índice de nubosidad o índice de claridad K** y es:

$$K = a + b\sigma \quad (3.0)$$

Donde

K: índice de claridad o nubosidad.

a, b: factores climáticos¹⁴

σ : coeficiente de insolación. **(ec.2.9)**.

El índice de claridad o nubosidad, constituye el factor de relación entre las radiaciones para una superficie fuera de la atmósfera terrestre y sobre la misma. Es decir:

$$\frac{H_o}{H_e} = K \quad (3.1)$$

Donde:

Ho: Radiación solar sobre la superficie terrestre **horizontal** o también conocido como la radiación global.

He: Radiación sobre una superficie horizontal fuera de la atmósfera terrestre. **(ec.2.8)**

¹³ El factor n se obtiene de datos de institutos meteorológicos de la zona que se desea implementar el sistema de aprovechamiento del sol, por ejemplo para el Ecuador, este factor varía entre 4.8 a 5.7 horas.

¹⁴ Para el Ecuador, los factores a y b equivale en promedio 0.25 y 0.45 respectivamente, lo que constituye a un ambiente húmedo, templado, de baja estación seca. Ref. Apuntes Energías no convencionales.

En caso de falta de datos de la zona, a y b corresponde a los valores 0.25 y 0.75 respectivamente. Ref. ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente Capítulo: radiación solar pg.30.

K: índice de claridad o nubosidad. **(ec.3.0)**

La ecuación 3.1 también puede ser expresado de la siguiente manera más completa:

$$\frac{H_o}{H_e} = a + b\sigma \quad (3.2)$$

Donde:

H_o: Radiación solar sobre la superficie terrestre **horizontal** o también conocido como la radiación global.

H_e: Radiación sobre una superficie *horizontal* fuera de la atmósfera terrestre. **(ec.2.8)**.

a, b: factores climáticos.

σ: coeficiente de insolación. **(ec.2.9)**.

Los sistemas de captación de la energía solar se pueden aprovechar de manera más óptima y necesariamente son diseñadas así¹⁵ mediante una inclinación de la superficie de captación respecto a la horizontal. Para cuantificar la radiación solar en una superficie horizontal empezaremos a definir nuevamente el ángulo horario de puesta de sol para el cálculo de la radiación solar sobre la superficie inclinada.

Para una superficie inclinada, el ángulo horario de puesta de sol se define de la siguiente forma:

$$\omega_{si} = \min\{\arccos[-\tan(\varnothing - \beta) \tan \delta], \omega_s\} \quad (3.3)$$

Donde:

ω_{si}: ángulo horario de puesta de sol para una superficie inclinada, definido como el valor mínimo entre $-\tan(\varnothing - \beta) \tan \delta$ y ω_s¹⁶.

¹⁵ Para calentamiento de agua, la superficie colectora debe ser inclinada para brindar el efecto termosifón, o en caso de conducción forzada, efectivizar el trabajo impulsado de la bomba.

¹⁶ Expresión definida en el libro: ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente Lluís Jutglar, Capítulo Radiación solar pg.28. Se aplica para superficies orientadas al sur. Constituye un criterio conservador de comparación entre un ángulo horario de puesta de sol de una superficie horizontal e inclinada.

δ : declinación **(ec.2.1)**.

ϕ : Latitud.

β : ángulo beta o de inclinación de la superficie.

ω_s : ángulo horario de puesta de sol **(ec.2.4)**.

Anteriormente se definió la radiación solar para una superficie terrestre horizontal H_o , cabe destacar que ésta radiación está constituida de una parte que es difusa y directa. Para calcular la fracción difusa sobre una superficie horizontal se recurre la siguiente expresión:

$$\frac{H_d}{H_o} = 1.39 - 4.027K + 5.531K^2 - 3.108K^3 \quad (3.4)$$

Donde

H_d : Radiación difusa en media diaria mensual.

H_o : Radiación solar sobre la superficie terrestre **horizontal** también conocido como la radiación global. **(ec.3.2)**.

K : índice de claridad o nubosidad **(ec.3.0)**.

Conocido la radiación difusa en media diaria mensual, se procede calcular la radiación directa en media diaria mensual [H_b], de la siguiente forma:

$$H_b = H_o - H_d \quad (3.5)$$

Donde:

H_b : Radiación directa en media diaria mensual.

H_o : Radiación solar sobre la superficie terrestre horizontal también conocido como la radiación global. **(ec.3.2)**.

H_d : Radiación difusa en media diaria mensual **(ec.3.4)**.

Posteriormente se procede a calcular un factor que relaciona la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal con la radiación incidente sobre la superficie inclinada se calcula mediante la siguiente forma:

$$Rb = \frac{\cos(\phi-\beta) \cos \delta \sin \omega si + \frac{2\pi}{360} \omega si \sin(\phi-\beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega s + \frac{2\pi}{360} \omega s \sin \phi \sin \delta} \quad (3.6)$$

Donde:

Rb: factor de relación entre radiación fuera de la atmósfera para superficie horizontal y superficie inclinada cualquiera¹⁷.

δ: declinación **(ec.2.1)**.

φ: Latitud.

β: ángulo beta o de inclinación de la superficie.

ωs: ángulo horario de puesta de sol en grados sexagesimales **(ec.2.4)**.

ωsi: ángulo horario de puesta de sol para una superficie inclinada en grados sexagesimales, **(ec.3.3)**.

Finalmente, la radiación diaria total HT, como la energía transformada de radiante a térmica está en función de los parámetros definidos anteriormente, la directa, difusa y adicionalmente de la radiación de albedo. La radiación diaria total es:

$$HT = HbRb + \frac{1+\cos\beta}{2} Hd + \rho \frac{1-\cos\beta}{2} Ho \quad (3.7)$$

Donde

HT: Radiación diaria total

Hb: Radiación directa en media diaria mensual. **(ec.3.5)**.

Rb: factor de relación entre radiación fuera de la atmósfera para superficie horizontal y superficie inclinada cualquiera. **(ec.3.6)**.

β: ángulo beta o de inclinación de la superficie.

Hd: Radiación difusa en media diaria mensual. **(ec.3.4)**.

¹⁷ Expresión definida en el libro: ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente de Lluís Jutglar Capítulo Radiación solar pg.29. Se aplica para superficies orientadas al sur.

Ho: Radiación solar sobre la superficie terrestre **horizontal** también conocido como la radiación global. (ec.3.2).

ρ : factor de albedo (tabla 2.2).

La radiación solar también se puede obtener mediante mediciones con equipos. Los equipos o instrumentos utilizados para medir la radiación se destaca a continuación.

Tabla 2.4. Instrumentos meteorológicos de medida de la radiación¹⁸

Tipo de Instrumento	Parámetro de Medida
Piranómetro	i) Radiación Global, ii)Radiación directa, iii)Radiación difusa
Piranómetro Espectral	Radiación Global en intervalos espectrales de banda ancha
Pirheliómetro Absoluta	Radiación Directa (usado como patrón nacional)
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación Directa (usado como patrón secundario)
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación Directa en bandas espectrales anchas
Actinógrafo	Radiación Global
Heliógrafo	Brillo Solar

Piranómetros:

De una forma esencial, el piranómetro es un instrumento para medir la radiación total. Su funcionamiento se basa en la exposición al sol de una lamina metálica con una superficie reflectante y otra de características absorbente (la reflectancia y absorptancia son propiedades muy importantes dentro del estudio de radiación que serán explicados más adelante). Este instrumento consta de un sensor analógico y colocado bajo una cubierta semiesférica, que por lo general es de cristal de cuarzo transparente. Se coloca sobre una superficie horizontal en donde medirá la radiación incidente total. Si se crea impedimentos de rayos reflejantes del entorno,

¹⁸ La radiación solar también se puede medir mediante celdas fotovoltaicas que emiten una señal analógica de corriente transformado por conversión para medición de radiación. (Ver anexo).

medirá la radiación global, si se cubre de tal forma que elimine la radiación directa, medirá la radiación difusa.

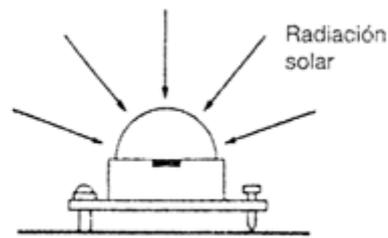


Figura 2.5. Representación esquemática de un piranómetro.

Pirheliometro: Este instrumento mide únicamente la radiación directa. Consta de un tubo pintado interiormente para aumentar su absorción y disminuir la reflexión de los rayos directos y en el fondo en una sección estrecha se encuentra un piranometro para registrar la radiación. Posee un sistema de seguimiento del sol.

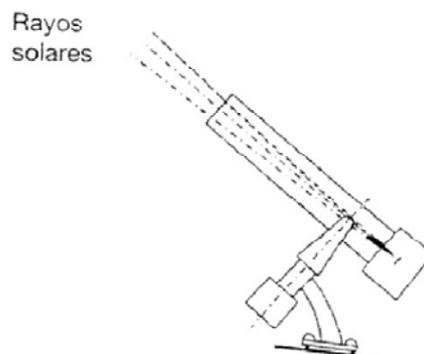


Figura 2.6. Representación esquemática de un pirheliómetro.

Heliógrafo: Este instrumento se utiliza para medir la insolación (explicado anteriormente). El modelo más utilizado es la de Cambell- Stocks o de bola. Esta esfera es de cristal transparente interpuesta entre el sol y una banda semicircular de papel sensible a la luz, lo cual deja una marca que es directamente proporcional a la intensidad de la radiación del sol. La marca se desplaza en el papel a medida que el sol recorre en su camino. Midiendo la longitud de la marca en la hoja de papel se realiza una conversión de desplazamiento y tiempo.

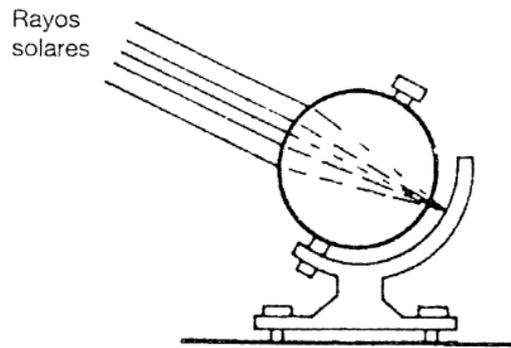


Figura 2.7. Representación esquemática de un Heliógrafo.

2.1.3.4 Cartas solares o diagramas solares

Uno de los factores de mayor importancia para la implementación de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar es mediante la determinación de la trayectoria aparente del sol en la zona geográfica. Esta trayectoria se presenta mediante cartas o diagramas solares, en forma de curvas lineales a lo largo del año. Esta carta se presenta mediante dos formas: de *forma cartesiana* que expresa principalmente los ángulos de elevación del sol en su recorrido, y la más utilizada que se expresa de *forma polar* presentando azimuts y el recorrido del sol durante todo el año. Estas curvas se obtienen con los parámetros descritos en el tema de posicionamiento del sol. En la actualidad existen programas para elaborar cartas solares tales como: Censol, Sunchart program entre otras. Para elaborar una carta solar, se requiere los siguientes datos de entrada:

- Latitud y longitud geográfica de la zona.
- Zona horaria del sitio geográfico. (tiempo universal coordinado UTC)

A continuación se elaborará una carta solar utilizando el programa: SUNCHART PROGRAM para un sitio geográfico (de nuestro interés) con los siguientes datos:

Nombre del sector: Selva Alegre

Latitud y longitud respectiva: 19' sur, 78°31' oeste.

Zona horaria: UTC-5, correspondiente para el Ecuador

La carta solar de forma polar es:

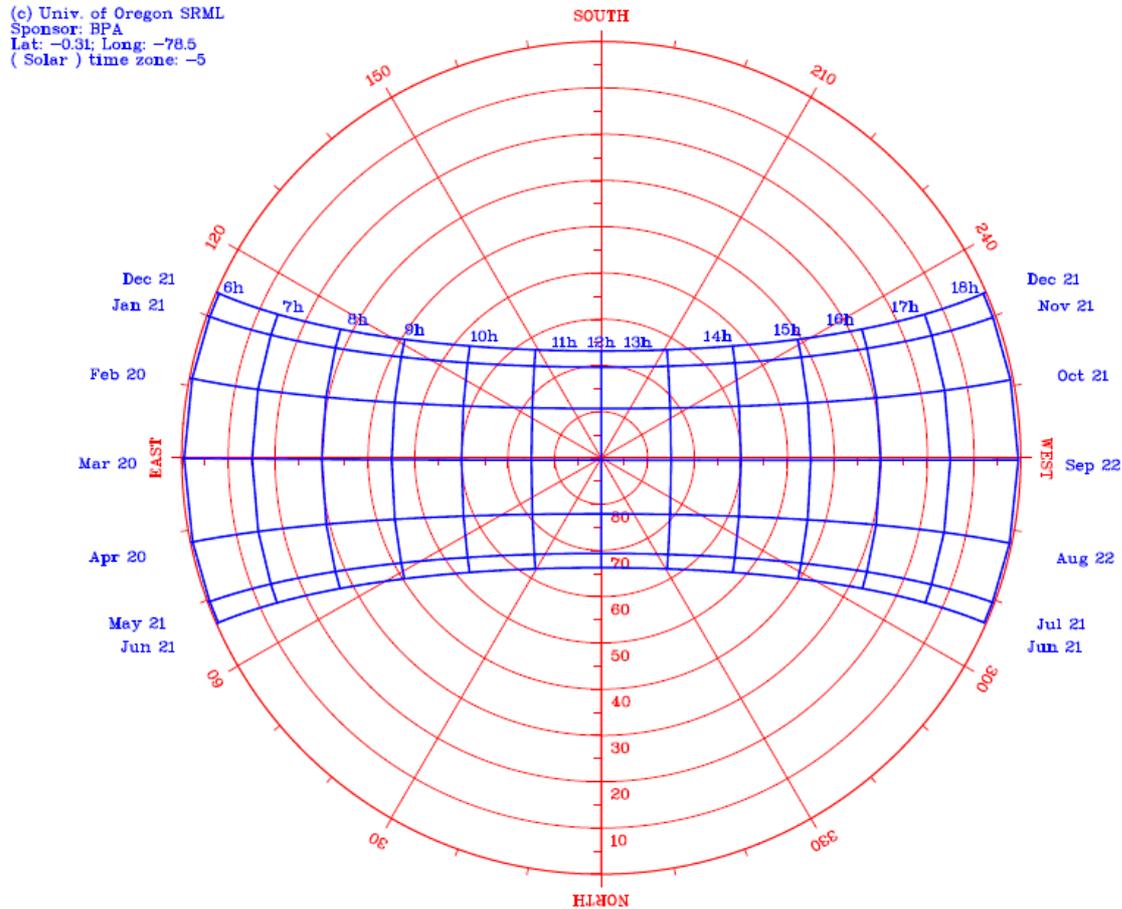


Figura 2.8 Carta solar de forma polar para el sector Selva Alegre, provincia de Pichincha¹⁹.

La carta solar de tipo cartesiano para la misma zona geográfica durante el solsticio de Diciembre a Junio es:

¹⁹ SUN CHART PROGRAM se encuentra en la página web:
<http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

Las trayectorias solares para sitios ubicados muy cerca de la línea ecuatorial como el Ecuador son simétricas, y centralizada en el eje horizontal (Este – Oeste) en el transcurso del año, lo cual implica que los sistemas de aprovechamiento solar son fiables y de gran ventaja.

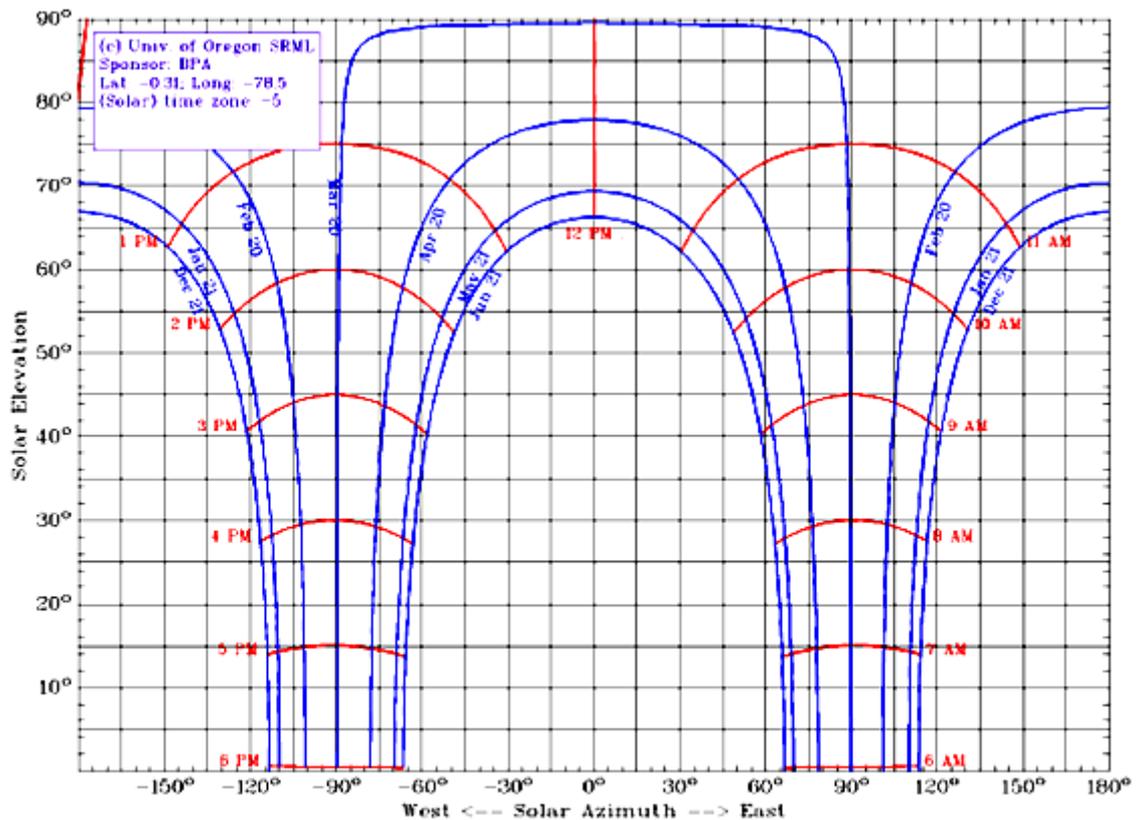


Figura 2.9 Carta solar de tipo cartesiano para el sector selva alegre, provincia de Pichincha.

2.1.3. 5 Captadores de radiación solar

El propósito de un panel o captador solar es en reunir, concentrar, almacenar, o asimilar la energía radiante del sol de la manera más efectiva en realizar la transferencia de calor hacia un fluido. Cabe destacar que este tipo de aplicación corresponde al empleo de la energía solar denominado **termosolar**²⁰, constituye el empleo de la energía solar de tipo *activa* es decir que necesitan el aporte de una energía auxiliar para su funcionamiento. Por ejemplo, en el sistema de impulsión del fluido se lo realiza mediante bombas eléctricas a diferencia de sistemas *pasivos* que no requieren de aporte de energía auxiliar (ejemplo: invernaderos). En cuanto se refiere las aplicaciones de estos sistemas, se destaca a continuación las más importantes:

²⁰ Otros empleos de la energía solar corresponde a **Quimiosolar** que aprovecha esta energía para provocar reacciones químicas, impulsar vida animal y vegetal, y **Electrosolar** para convertir la energía del sol en electricidad mediante paneles fotovoltaicos. Ambos aplicaciones corresponden a un capítulo nuevo y aparte dentro de los usos de la energía solar. Referencia: Manual del ingeniero mecánico marks Vol. II.

- Evaporación del agua del mar para producir sal o procesar el destilado para la obtención de agua potable.
- Calor doméstico, que suministra el agua caliente en los hogares o en climatización de piscinas.
- Calefacción de los hogares por medio de agua o aire caliente.
- Para refrigeración de hogares mediante el proceso de absorción.
- Para la cocina (cocinas solares).
- En producción de vapor de agua para generación termoeléctrica.
- Obtención de altas temperaturas de alrededor de 3600°C (6500°F) mediante hornos solares.

2.1.3.5.1 Sistemas foto térmicos concentradores o colectores de alta temperatura

El tipo de colector usado depende en la temperatura del fluido requerido para su aplicación, para *obtener temperaturas muy altas*, se requiere utilizar colectores de enfoque concentrador en donde se enfoca los rayos del sol en un punto o receptor, es decir que puntualiza la generación alta de temperatura, un ejemplo muy práctico de esto es el quemado de un papel mediante una lupa. Cabe destacar que estos tipos de concentradores operan con el destello solar directo (conjunto de rayos directos), lo cual implica que *estos sistemas foto térmicos concentradores deben estar sometido mediante sistemas de seguimiento del sol* esto se logra con equipos de rastreo complicados que deben ser relativamente libre de mantenimiento y como una estructura, ser capaz de soportar cargas conocidas (cargas vivas, muertas, sismos, vientos). El empleo de equipos de seguimiento implica incrementos sustanciales del presupuesto de estos sistemas. En zonas geográficas que poseen radiación difusa en el mayor tiempo del año por factores climáticos no se recomienda la utilización de estos concentradores. El colector para zonas de mayor radiación difusa será explicado más adelante.

Los sistemas foto térmica concentradora, consta de las partes siguientes:

Concentrador:

Es el sistema óptico destinado a focalizar la radiación incidente sobre la superficie receptora, sobre una superficie absorbente de tamaño pequeño. El efecto de focalización se logra mediante superficies curvas, un rayo que incide en una superficie óptica es reflejado o “rebota” con una dirección hacia el punto focal del plano diferencial en donde incide, en ese punto se aprovecha la concentración.

Receptor:

Es la sección destinada a realizar la transformación de la energía solar en energía térmica o electricidad, está compuesto por una superficie absorbente y aislamiento térmico.

Sistema de seguimiento:

Está conformado por una fuerza motriz de un motor que se orienta el concentrador hacia el sol gobernado por un sistema de control.

Dentro de los diseños existentes de los concentradores de alta temperatura. Se tiene los siguientes modelos:

- Receptor plano con reflectores también planos (A)
- Concentradores parabólicos (B)
- Concentradores cilindro-parabólico (C)
- Concentrador de espejos múltiples. (D)
- Concentrador por refracción de Fresnel. (E).

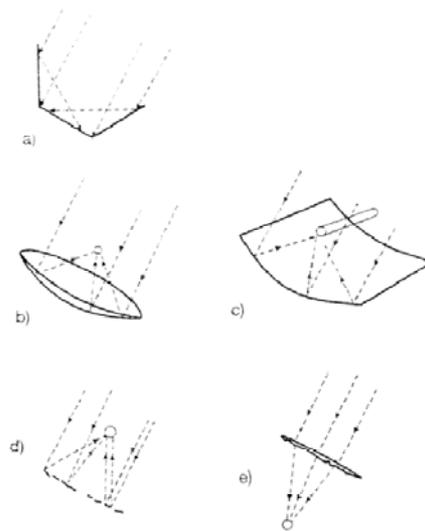


Figura 3.0 Tipos de concentradores solares.

2.1.3.5.2 Sistemas foto térmicos activos o colectores de baja temperatura

Como su nombre indica, estos sistemas operan a temperaturas relativamente bajas, las temperaturas disponible de este tipo de colector es de alrededor de 44 - 70°C (110 - 160°F)²¹. Este sistema se clasifica por el fluido de trabajo, de aire²², aceite y de agua. Estos colectores por lo general son planos y considerados como no- concentradores de energía o de baja concentración. Los colectores para la obtención de agua caliente se destinan en su mayoría para uso doméstico, calefacción residencial, y climatización de piscinas. Además estos colectores de forma plana rinde de forma más eficaz en captación de energía para zonas de mayor radiación difusa a diferencia de los concentradores, de tal forma que puede calentar un fluido de manera más óptima.

²¹ SOLAR WATER & POOL HEATING INSTALLATION & OPERATION, Florida solar energy center 2nda edición.

²² Los sistemas que utilizan aire se destinan para el uso de calefacción de viviendas.

2.2 Inclinación óptima de colectores

En zonas geográficas ubicadas en el hemisferio norte, los colectores se orientan al Sur para el máximo aprovechamiento de energía solar radiante, una pequeña desviación de unos pocos grados ya sea hacia la derecha o izquierda producirá un ligero afectación de la irradiación total diaria recibida. Teniendo en cuenta que la demanda energética en el invierno para sitios del hemisferio norte es alta, se sugiere para un resultado aceptable que la inclinación sea equivalente a la latitud del lugar sumado de 5 a 10 grados ($\beta = \phi + (5^\circ \text{ ó } 10^\circ)$).

Para sitios ubicados en el hemisferio sur, se recomienda una orientación de azimut de superficie en dirección sur-este para el máximo aprovechamiento de energía solar radiante. En cuanto se refiere a la inclinación, se recomienda una inclinación equivalente a la latitud de la zona sumado 10 grados ($\beta = \phi + 10^\circ$) para un aprovechamiento óptimo del sol para todo el año. Si se desea únicamente el máximo aprovechamiento durante la estación de verano, se recomienda una inclinación equivalente a la latitud de la zona restado 10 grados ($\beta = \phi - 10^\circ$).

Para diseños de sistemas de climatización de piscinas cubiertas, se puede aprovechar el espacio disponible del techo construyéndolo de forma inclinada con un ángulo de depresión mínimo de 15° (por razones de análisis estructural de diseño ante factores climáticos para el desalojo eficiente de aguas lluvias y granizo) para el apoyo de los colectores de tal forma que la inclinación de éstas permanece de 15° o puede ser modificado ligeramente a 10° , lo cual no produce variaciones significativas de aprovechamiento de la energía solar.

2.3 El colector solar plano

Existen tres tipos de lo cual mencionaremos a continuación de forma general:

a) Colector de baja temperatura:

Este colector está conformado de una manta flexible de caucho o de un material de esta naturaleza. La cual posee varios conductos, este colector es semejante a un colchón hinchable o inflable, es económico, de fácil instalación y portátil. Su desventaja principal es su muy bajo rendimiento térmico. Este colector se puede utilizar *para el calentamiento de agua de piscina siempre y cuando su demanda energética sea baja* además se requiere utilizar espacios extensos disponibles para su uso.

b) Colector plano no concentrador con cubierta transparente:

También se denominan de forma más sencilla como el *colector de placa plana*. Estos colectores operan con temperaturas de salidas de hasta 50°C (122°F). ***Esta clase de colector corresponde al más utilizado en los sistemas de calentamiento de agua.*** En lo referente a su diseño, su área unitaria suele ser de 2m² (21.5 ft²) y se disponen de venta en el mercado o se diseñan. Tiene un fácil manejo de transporte e instalación hidráulica. El diseño de estos colectores que es de nuestro interés se explicará más adelante.

c) Colector plano de baja concentración:

Este modelo puede proporcionar temperaturas de salida de hasta 80°C (176°F). Su diseño viene en múltiples formas pero su disponibilidad en el mercado es escasa. Algunos colectores de este tipo operan con otros líquidos además del agua.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR SOLAR PLANO

El colector de placa plana para climatizar piscinas o calentar agua de uso doméstico consiste de una placa negra con una alta característica de absorción de energía radiante que puede ser metálica o plástica que es unido con conductos de flujo donde atraviesa el fluido para remover el calor absorbido (de la placa y conductos) y posteriormente ser almacenada el fluido calentado mediante recipientes cerrados, así mismo estos elementos deben ser aislados térmicamente. La placa negra, conductos, y aislante son fijados o soportados mediante una caja estructural que generalmente es metálica. La cantidad de calor absorbida depende de la temperatura del fluido con respecto a la temperatura ambiental. Es decir, entre más calor contenido del agua, más difícil será en seguir calentándolo. La temperatura máxima disponible de los colectores para climatizar piscinas es de 44°C (110°F); sin embargo, el rango del flujo del fluido usualmente es muy alto, y el colector permanece en temperatura ambiente, en donde opera con una eficiencia²³ muy alta. En el calentamiento de agua de uso doméstico, la temperatura deseada final está alrededor de 50 - 70°C (120 - 160°F). Con los elementos descritos anteriormente es difícil lograr tales temperaturas, lo que se requiere el uso de cobertores o cubiertas transparentes que suele ser de vidrio o plástico. Su función principal es de proteger el calentamiento contra las pérdidas de calor de convección producidas por el viento, brindar el efecto invernadero que trabaja en los etapas siguientes: La radiación es transmitida y los elementos internos absorbe el calor, luego los mismos elementos emite calor radiante de longitud de onda larga (infrarroja) que permanece atrapada debido a la cubierta transparente que posee una naturaleza opaca para tales longitudes de onda. A continuación de lo mencionado se presentan los siguientes esquemas de algunos modelos de colectores solares para climatización de agua para piscinas:

²³ Eficiencia energética es el manejo controlado, relativo o extravagante de los recursos en donde que las entradas energéticas son usadas para proveer beneficios o servicios.

Los incrementos de la eficiencia energética toman lugar o se evidencia cuando las entradas de energía son reducidas para un nivel dado de servicio o es incrementado, o también tales servicios incrementados para una cantidad fija de entrada energética.

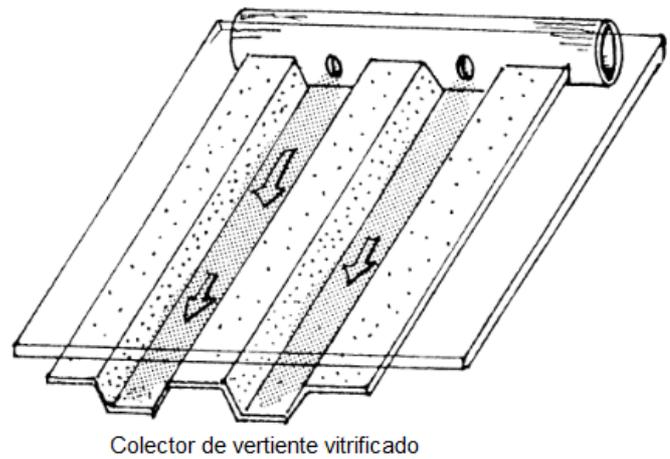
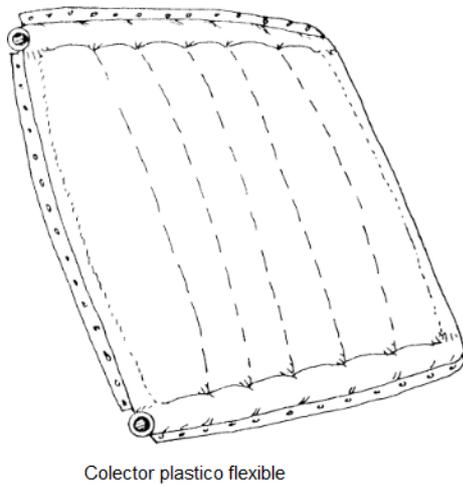
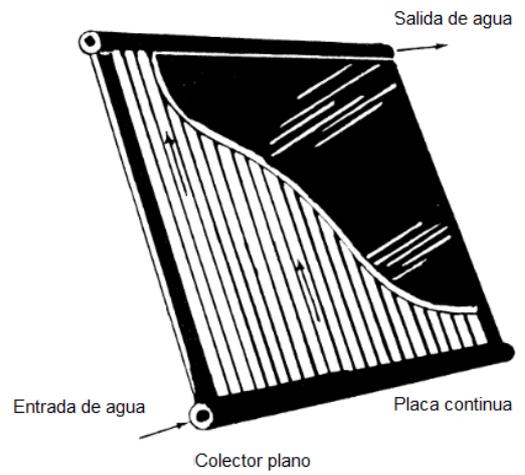
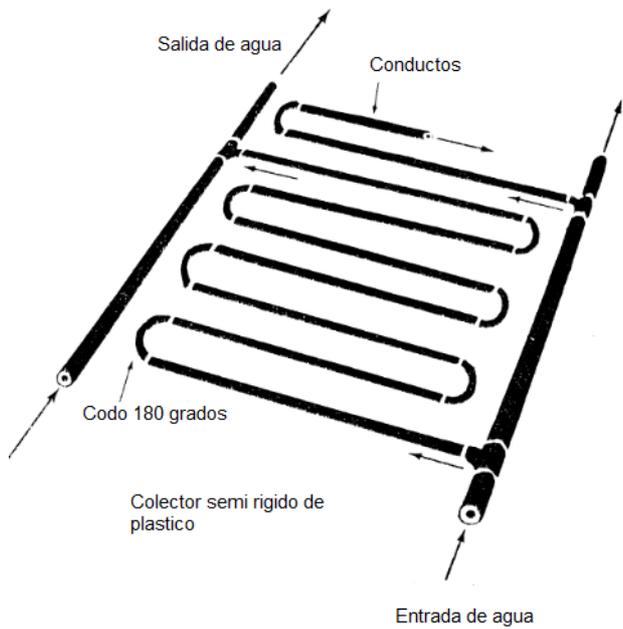


Figura 3.1 Tipos de colectores para climatizar piscinas (el modelo de colector plano también es el más óptimo para el calentamiento de agua de uso doméstico).

Los elementos descritos anteriormente describen los parámetros para el diseño de los colectores solares planos a continuación se menciona:

2.3.1.1 Cubierta transparente ó cobertor:

Como se ha mencionado anteriormente, su función principal es brindar el efecto invernadero y reducir las pérdidas de energía de convección por el viento principalmente. Su propiedad física prioritaria es su alta transmitancia [τ] ó también llamado factor τ (tau). La transmitancia es la capacidad de un cuerpo transparente en permitir el paso de los rayos incidentes, se expresa de forma porcentual. La transmitancia depende de la longitud de onda del rayo incidente, en vidrios normales es muy transparente o permite el paso libre para la radiación de onda corta y es opaca para la radiación de onda larga o infrarroja. Existe un comportamiento de filtro para los rayos infrarrojos, esta filtración depende básicamente de la cantidad de óxido de hierro que lo contiene²⁴ si su concentración es alta, mayor será su absorción del calor y por ende conducirá calor en su sección transversal produciendo pérdidas hacia la atmósfera, para el diseño se requiere que el vidrio no se caliente por filtraciones de calor de longitud de onda larga sino al contrario, en permitir únicamente el paso de los rayos incidentes. El plástico posee propiedades adecuadas para este diseño, pero su costo es elevado. Para intensificar el calor proveniente de la radiación solar, los colectores solares pueden ser construidos de hasta tres cubiertas transparentes y/o superficies selectivas. El espesor de la cubierta transparente oscila entre 3 – 4 mm (1/8 – 5/32”). La transmitancia y transferencia total de calor promedio de los materiales más utilizados para las cubiertas transparentes se presenta a continuación:

²⁴ El óxido de hierro se visualiza en el vidrio en las secciones transversales de corte por la presencia de coloración verde-agua, entre mayor sea la coloración, más contenido de hierro tendrá el vidrio.

Tabla 2.5 Coeficiente de transmitancia y de transferencia total de calor de plástico y vidrio para cubiertas transparentes.

	<i>Sin cubierta</i>	<i>Una cubierta</i>		<i>Dos cubiertas</i>	
		<i>Vidrio</i>	<i>Plástico</i>	<i>Vidrio</i>	<i>Plástico</i>
Transmitancia solar $[\tau]$ %	100	84.3	92	75.87	85
Coeficiente total U	3.9	1.12	1.3	0.71	0.87

Tabla 2.6 Coeficiente de transmitancia del tedlar y mylar.

	Tedlar	Mylar
Transmitancia solar $[\tau]$ %	92.2	86.9

El número de cubiertas tiene una relación directamente proporcional con la elevación de temperatura del fluido. De una forma referencial, se pueden obtener los incrementos de temperatura del fluido en base del número de cubiertas o superficies selectivas puestas en el colector con la siguiente tabla:

Tabla 2.7 Incremento de temperatura del fluido obtenido según número de cubiertas dado²⁵

	ΔT [°C]	ΔT [°F]
<i>Sin cubierta</i>	5	9
<i>1 cubierta</i>	35	63
<i>2 cubiertas o 1 cubierta con una superficie selectiva</i>	55	100
<i>3 cubiertas o 2 cubiertas con una superficie selectiva</i>	80	144

²⁵ Referencia: Apuntes de clase Energías no convencionales.

2.3.1.2 Placa absorbedora, superficie opaca ó placa colectora:

La placa absorbedora o colectora se encarga de recolectar la radiación solar total para convertirlo en calor. En la mayoría de los diseños se emplean material metálico ennegrecido, en las cuales se les pueden agregar aletas, se artesonan, o provisto de pasajes de conducción para el fluido a ser calentado. Su propiedad física de importancia es la absortancia $[\alpha]$ y emitancia $[\epsilon]$. La absortancia como su nombre indica, es una propiedad de absorber la energía radiante, convertirlo en calor mientras la emitancia es la capacidad de un cuerpo caliente de emitir o expulsar energía radiante de longitud de onda larga. Ambos parámetros son muy tomados en cuenta para el diseño de estos sistemas. Otro factor es la reflectancia, que es la capacidad de reflejar los rayos provenientes de energía radiante cuando se precipitan en su superficie, se toma en cuenta este parámetro en la cara interior de la cubierta y placa absorbedora.

En un cuerpo de color negro, la absortancia y emitancia permanece igual y no sufre variaciones con un cambio de longitud de onda. Otras superficies sufren variaciones de absortancia y emitancia con un cambio de longitud de onda. El aluminio [Al] posee una baja absortancia y alta reflectancia en el espectro de 0.25 a 25μ , la pintura negra posee una alta absortancia y baja reflectancia. La pintura blanca tiene baja absortancia en onda corta, pero a partir de 3μ , su absortancia y reflectancia prácticamente permanece igual como la pintura negra. Para visualizar de mejor manera este comportamiento, presentamos la siguiente figura que muestra estas variaciones.

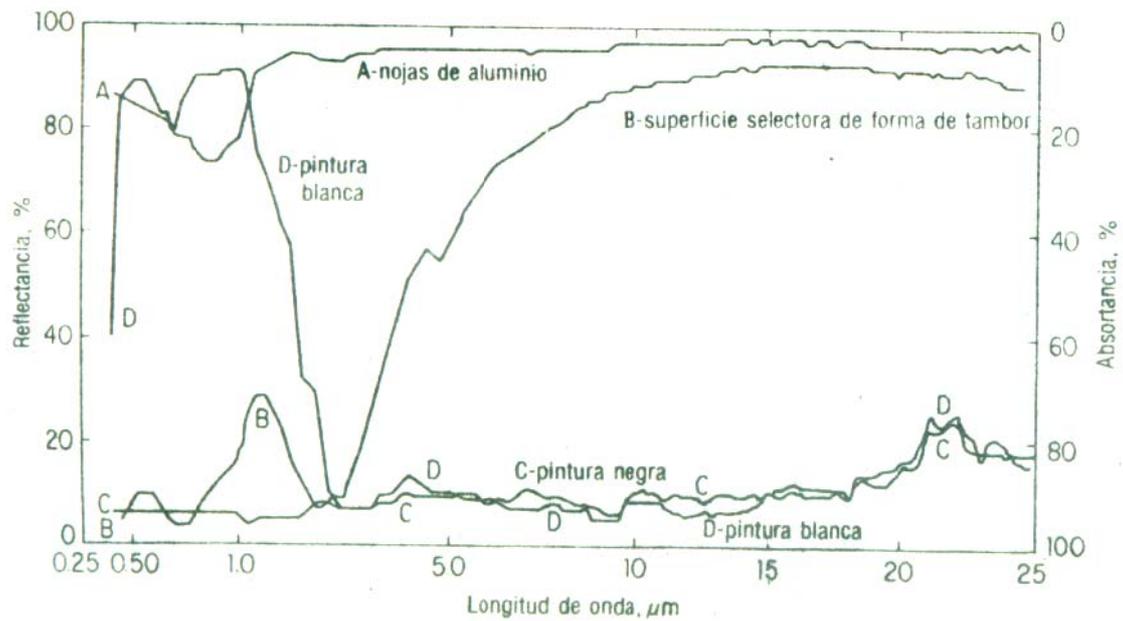


Figura 3.2 Variación de la reflectancia y absortancia con la longitud de onda en superficies opacas.

Para el diseño de colectores planos, se requiere que el material empleado para la placa absorbidora tenga una relación de absortancia y emitancia $[\alpha/\epsilon]$ alta²⁶. Existen materiales exclusivamente diseñados para el máximo aprovechamiento de energía solar. Existen materiales (selectivos) en donde la relación α/ϵ es superior a 3.0, ideal para colectores solares pero son muy costosos. La tabla siguiente muestra los materiales más usados para la placa absorbidora con sus respectivas propiedades:

²⁶ En superficies que se requieren mantener frías como techos de casa, o en vehículos espaciales, la relación α/ϵ debe ser baja ya que no se desea absorber energía radiante, más bien al contrario, emitir tanta radiación como sea posible ó rechazar el calor.

Tabla 2.8 Absortancia solar, emitancia de onda larga y relación de radiación para superficies típicas²⁷.

Superficie material	Absortancia (solar) de onda corta [α]	Emitancia de onda larga [ϵ]	relación de radiación [α/ϵ]
Plana, con base de pintura de aceite			
Negro	0.90	0.90	1.00
Roja	0.74	0.90	0.82
Verde	0.50	0.90	0.56
Aluminio	0.45	0.90	0.50
Blanca	0.25	0.90	0.28
Hierro galvanizado	0.22	0.90	0.24
Materiales de construcción			
Asbestos de pizarra	0.81	0.96	0.84
Papel alquitranado negro	0.93	0.93	1.00
Ladrillo rojo	0.55	0.92	0.60
Concreto	0.60	0.88	0.68
Arena seca	0.82	0.90	0.91
Vidrio	0.04 - 0.70	0.84	0.048 - 0.83
Metales			
Cobre pulido	0.18	0.04	4.5
Cobre oxidado	0.64	0.6 - 0.9	1.03 - 0.71
Aluminio pulido	0.30	0.05	6.00
Superficies selectoras:			
Tamboril, electrolítico	0.90	0.12	7.50
Celda de silicón, sin cubierta	0.94	0.30	3.13
Oxido cúprico negro en cobre	0.91	0.16	5.69

²⁷ Referencia: Manual del ingeniero mecánico de Marks capítulo: Energía solar, Tabla 3.

2.3.1.3 Instalaciones solares

Una piscina, que es un estanque propio para natación requiere ser climatizado para su uso. Una climatización de piscina quiere decir brindar un servicio adecuado energético de confort para el usuario. Los sistemas de implementación para realizar la climatización se realizan por medio de la utilización de sistemas de transferencia de calor proveniente de energías tanto convencionales como no convencionales. Este proyecto se concentra a profundidad de la utilización de la energía no convencional proveniente del sol. Un sistema de climatización de piscina mediante el aprovechamiento de la energía solar posee un amplio rango de estudio para su instalación mas óptima.

Las instalaciones solares a nivel general se clasifican mediante los siguientes puntos de vista o criterios:

- El principio de circulación.
- Por el sistema de transferencia de calor.
- El sistema de expansión.
- El sistema de energía auxiliar.
- La aplicación.

En base de estos criterios y recopilación de lo mencionado en los capítulos anteriores, se presenta a continuación un cuadro sinóptico de clasificación:

Principio de circulación	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación por termosifón o circulación natural - Instalación de circulación forzada 	
Por el sistema de transferencia de calor	<ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones de transferencia directa sin intercambiador de calor. - Instalación con intercambiador de calor en el acumulador solar - Instalaciones con intercambiador de calor independiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sumergido. - De doble envolvente.
Por el sistema de expansión	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema abierto. - Sistema cerrado. 	
Por el sistema de aporte de energía auxiliar.	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de energía auxiliar en el acumulador solar. - Sistema de energía auxiliar en acumulador secundario individual. - Sistema de energía auxiliar en acumulador secundario centralizado. - Sistema de energía auxiliar en acumuladores secundarios distribuidos. - Sistema de energía auxiliar en línea centralizado. - Sistema de energía auxiliar en línea distribuido. - Sistema de energía auxiliar en paralelo. 	
Por su aplicación.	<ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones para calentamiento de agua sanitaria. - Instalaciones para usos industriales. - Instalaciones para calefacción. - Instalaciones para refrigeración. - <i>Instalaciones para climatización de piscinas.</i> - Instalaciones de uso combinado. - Instalaciones de precalentamiento. 	

Cuadro sinóptico 2.1 Clasificación de instalaciones solares.

Esquemáticamente se presenta a continuación las aplicaciones descritas:

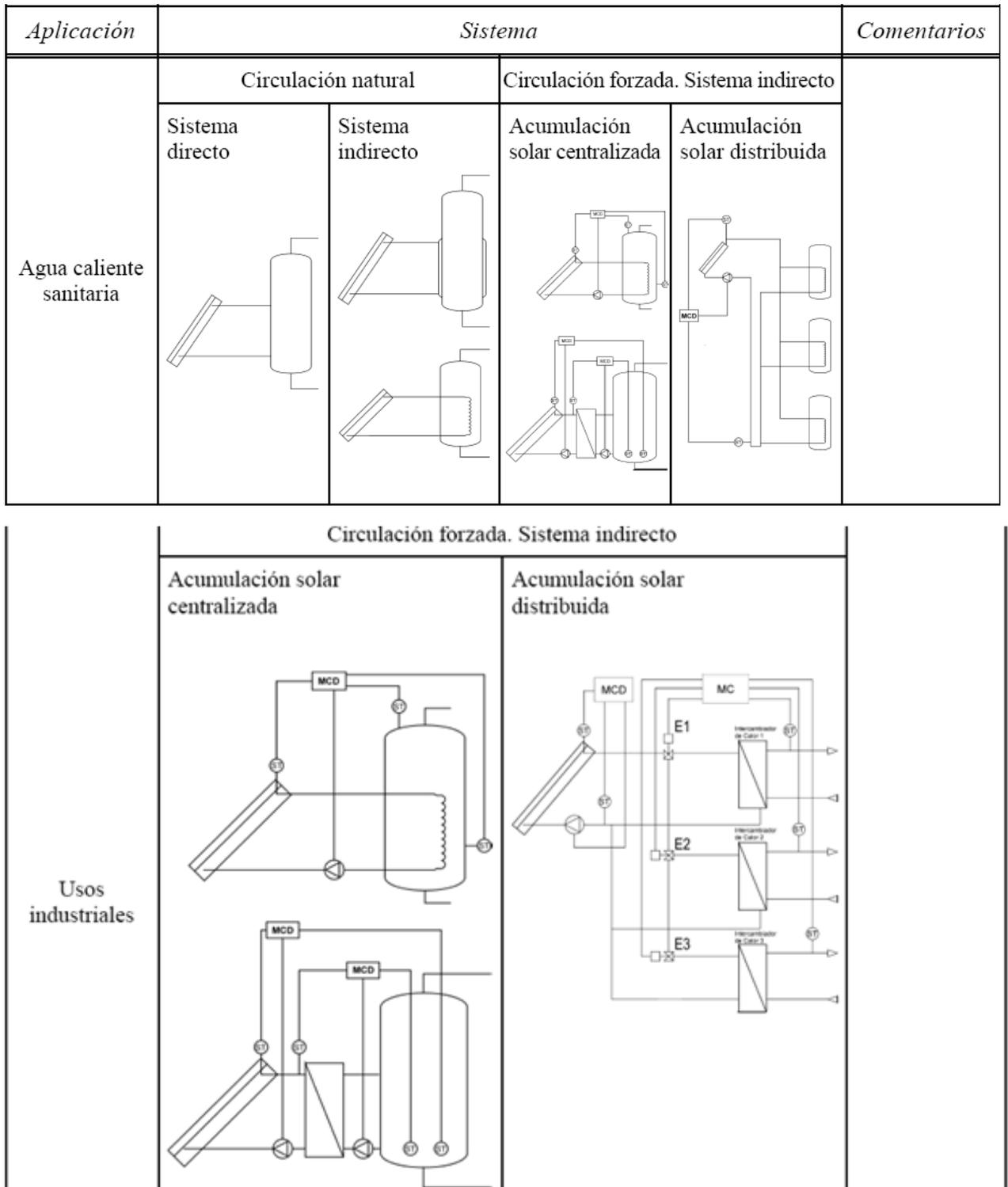


Figura 3.3.1 Aplicaciones de sistemas solares.

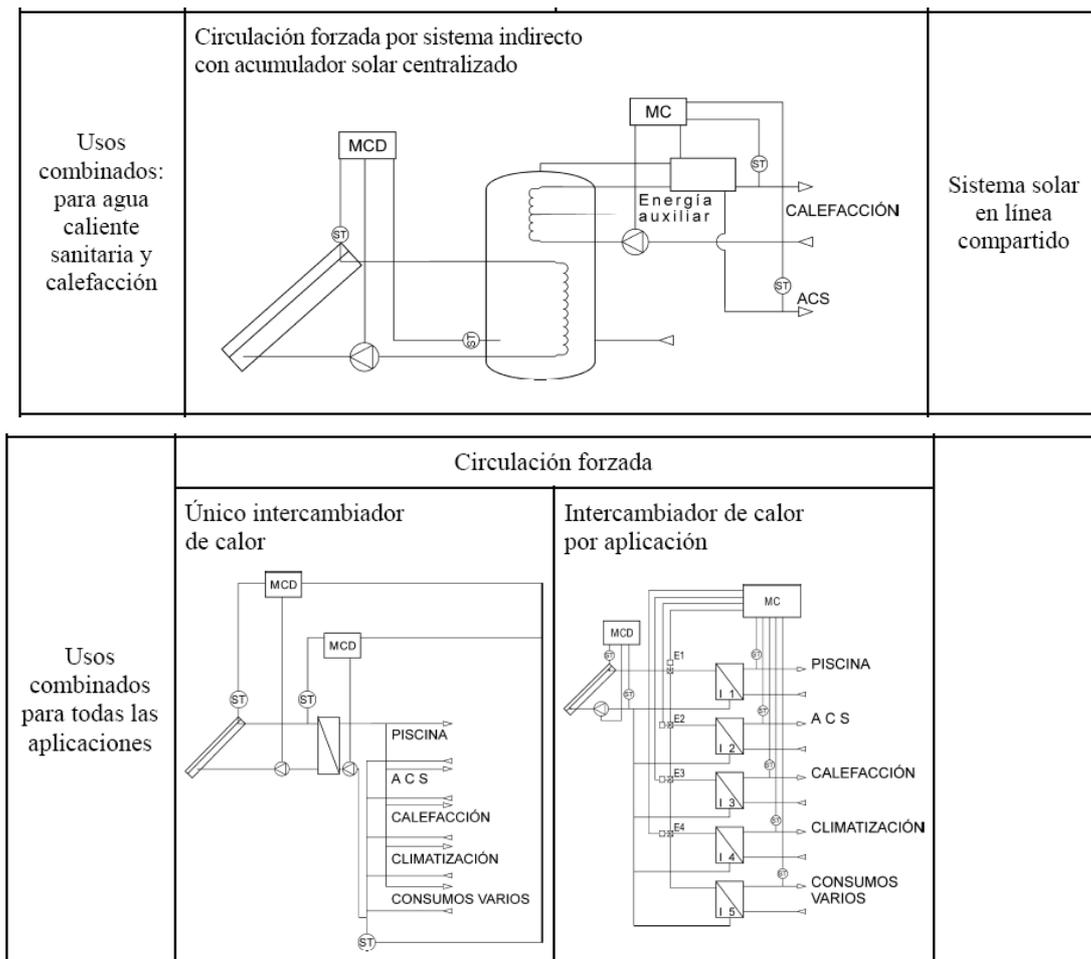


Figura 3.3.2 Aplicaciones de sistemas solares.

Evaluando los puntos descritos anteriormente, dentro de un sistema de implementación del aprovechamiento de la energía solar **para climatizar piscinas** su configuración está de acuerdo de la siguiente manera:

- *Por su principio de circulación:* Son sistemas de circulación forzada.
- *Por el sistema de transferencia de calor:* Son sistemas por lo general y en mayor de los casos de transferencia directa sin intercambiador de calor.

- *Por el sistema de expansión:* Por su infraestructura, el sistema de climatización puede ser de tipo abierto sin techo, expuesto al aire libre o cerrado dentro de un edificación. Cabe mencionar que la **estratificación**, un tema estudiado dentro de sistemas de calentamiento para agua de uso residencial es de baja consideración para la climatización de piscinas, puesto que las piscinas manejan grandes cantidades de agua que posee un comportamiento de sumidero de energía; las razones de cambio de la temperatura en el contenido de agua cuando se mezcla con agua caliente son extremadamente bajas.
- *Por el sistema de energía auxiliar.* Desde el punto de vista energético de aporte de calor, estos sistemas **pueden ser** auxiliados mediante sistemas convencionales de calentamiento (uso de calefones de gas de uso doméstico) en temporadas de baja insolación.

En lo que se refiere por el sistema de expansión, cabe hacer un énfasis para los dos casos, es decir para un sistema sin cubierta y con cubierta mediante un conocimiento en lo referente a las pérdidas energéticas que será descrita más adelante en la sección 2.3.4.

2.3.2 Energía absorbida

Definido la transmitancia y absortancia, se introduce un nuevo concepto o factor denominado: el **factor tau-alfa** es una variable de importancia dentro del diseño de los colectores planos. Cuando un colector recibe una irradiación incidente I , una parte de esta irradiación es reflejada, otra porción absorbida y el resto, $I \tau$ atraviesa la cubierta y se propaga en el espaciamiento entre la cubierta y placa absorbidora en donde que es absorbido esta energía de forma: $I \tau \alpha$, el resto es reflejada dentro de ese espaciamiento de forma: $I \tau (1-\alpha)$, en donde de forma secuencial, se propaga a la cubierta transparente en la cara interior y nuevamente una parte $I \tau (1-\alpha) \rho$ vuelve a reflejarse hacia la placa

absorbedora, y así sucesivamente. Esquemáticamente se presenta a continuación:

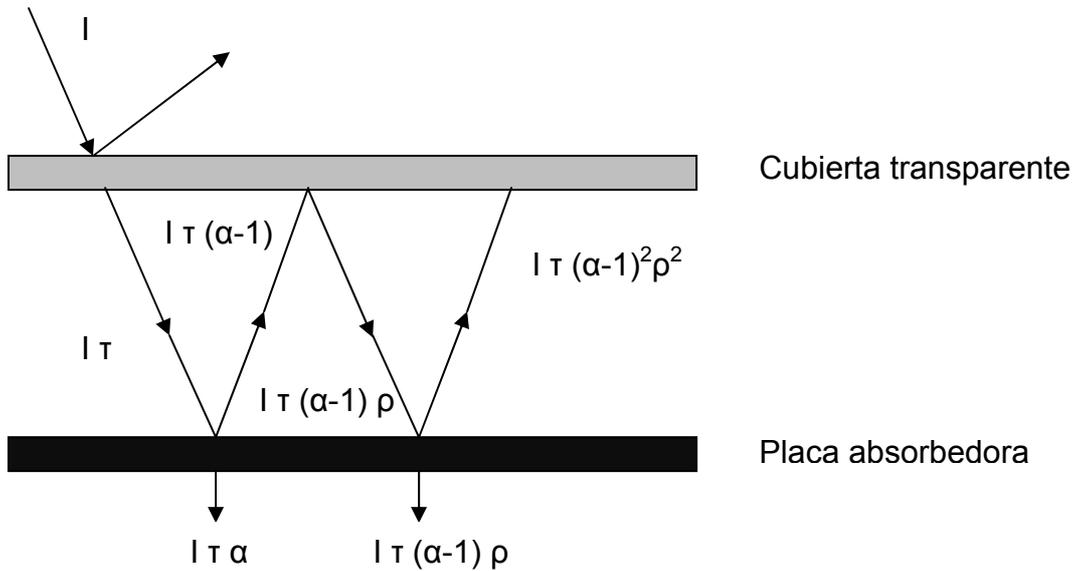


Figura 3.4 Flujo energético radiante incidente sobre un colector plano solar

Las radiaciones absorbidas serán:

1ra reflexión =	$I\tau\alpha$
2da reflexión =	$I\tau\alpha(1-\alpha)\rho$
3ra reflexión =	$I\tau\alpha(1-\alpha)^2\rho^2$
:	
:	
N ésima reflexión =	$I\tau\alpha(1-\alpha)^{n-1}\rho^{n-1}$

Si sumamos las expresiones:

$$I\tau\alpha + I\tau\alpha(1-\alpha)\rho + I\tau\alpha(1-\alpha)^2\rho^2 + \dots + I\tau\alpha(1-\alpha)^{n-1}\rho^{n-1}$$

La **Energía de radiación absorbida** será:

$$I(\tau\alpha)$$

El factor tau-alfa con factores de corrección de los materiales constituidos finalmente es²⁸ :

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho} \quad (3.8)$$

Donde:

τ : transmitancia de la cubierta transparente

α : absorptancia de la superficie absorbente

ρ : reflectancia de la cara interior de la cubierta transparente.

2.3.3 Energía transformada

Dentro del funcionamiento del colector solar. Su comportamiento es muy sensible ante variaciones que suceden en la alimentación, el caudal del fluido, la temperatura del agua, y la variación de la radiación solar. Para simular el comportamiento de un colector solar de una instalación, y verificar el dimensionamiento correcto, se establece el siguiente balance energético:

Energía absorbida = Energía útil + Energía almacenada + Pérdidas.

Esquemáticamente se representa a continuación el balance de energía:

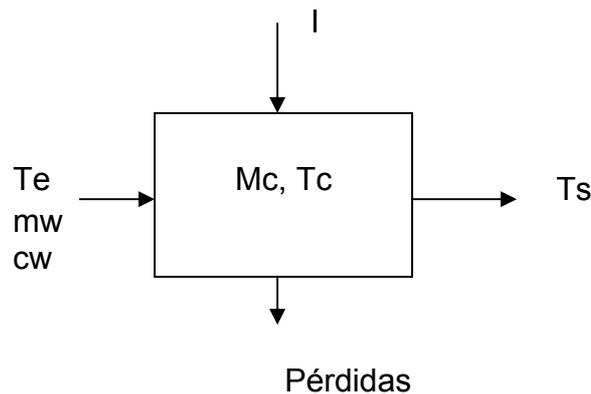


Figura 3.5 Flujo energético alrededor de un colector

²⁸ Expresión definida en ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente de Lluís Jutglar Capítulo: Sistemas fototermicos activos de baja temperatura. Cabe mencionar que los factores τ , α , y ρ dependen de la longitud de onda de la radiación que incide y del ángulo de incidencia por lo que la expresión $(\tau\alpha)$ es una variable dependiente de los parámetros mencionados.

Sea Δt , un intervalo de tiempo transcurrido, entonces matemáticamente el balance energético es²⁹:

$$I_{Ac}(\tau\alpha) = mwcw(T_s - T_e) + Mc cw \frac{\Delta T_c}{\Delta t} + AcU_{ca}(T_c - T_a) \quad (3.9)$$

Donde:

$I(\tau\alpha)$: Energía absorbida radiante (explicado anteriormente).

Ac : Área del colector.

mw : Flujo másico del agua dentro del colector.

cw : Calor específico del agua , 4190 J/kg°C, (1 Btu/lb °F)

T_s : Temperatura de salida del agua

T_e : Temperatura de entrada del agua.

Mc : Masa equivalente de agua contenido en el colector.

T_c : Temperatura media del colector.

U_{ca} : Coeficiente global de transferencia de calor del colector-ambiente (definido más adelante).

T_a : Temperatura ambiental.

Si se equilibran las temperaturas del colector, y de salida del agua en una temperatura común T ($T = T_c = T_s$), despejando la razón de cambio de temperatura y tiempo, se tiene:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{I_{Ac}(\tau\alpha) - mw cw(T - T_e) - AcU_{ca}(T - T_a)}{Mc cw} \quad (4.0)$$

Esta expresión dada por la transformación de energía, permite mediante incrementos finitos de tiempo, calcular la variación temperatura del agua atravesando el colector.

²⁹ Expresión definido en ENERGIA SOLAR, Energías alternativas y medio ambiente, Lluís Jutglar. Capítulo: Sistemas fototermicos activos de baja temperatura.

2.3.4 Energía perdida

Dentro de un sistema de climatización de las piscinas, las pérdidas energéticas son:

- Evaporación.
- Convección.
- Radiación.
- Conducción.

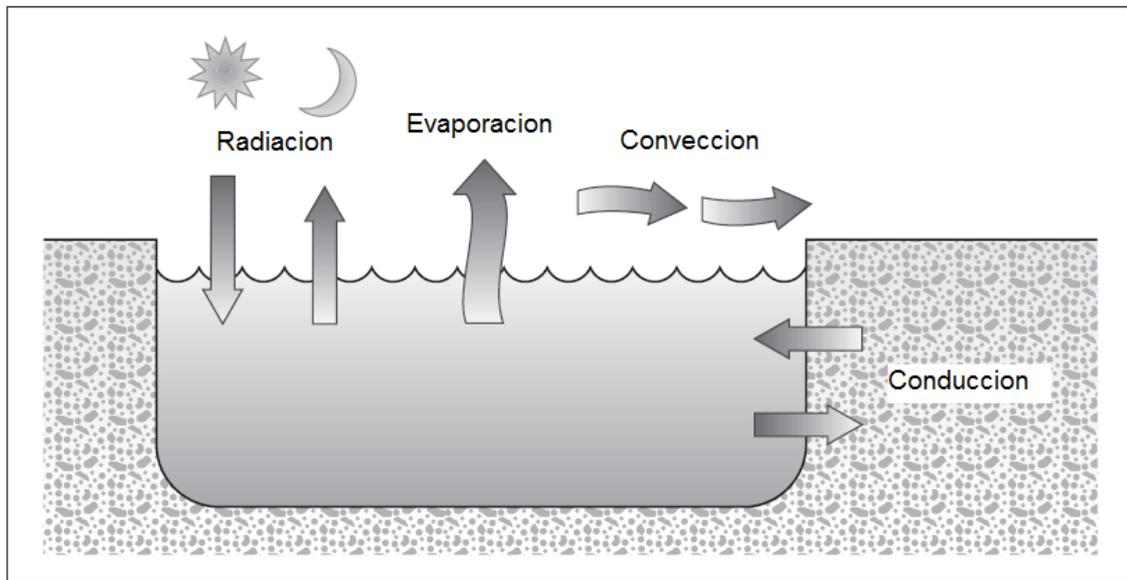


Figura 3.6 Pérdidas energéticas en una piscina

2.3.4.1 Pérdidas por evaporación

Según estudios energéticos, las pérdidas de calor sobre la superficie de las piscinas, ha sido determinado en base de variables de: velocidad de viento, la temperatura y humedad relativa del contorno atmosférico (aire). En base de expresiones matemáticas, se enfatiza lo siguiente:

1. Las pérdidas energéticas de una piscina puede llegar hasta el **70%** solamente por evaporación en su superficie.
2. Las pérdidas de evaporación está directamente proporcional a la velocidad del viento en la superficie de la piscina.

Las pérdidas por evaporación constituye la mayor cantidad de energía perdida en una climatización de piscina. En un diseño, se debe minimizar al máximo estas pérdidas. En el caso de los parámetros de temperatura y humedad relativa del aire, estas son incontrolables pero la velocidad del viento puede ser reducido mediante rompe-velocidades como barreras, arboles, mallas sólidas o una *edificación de encerramiento* (sistema cerrado). Otra forma más práctica de reducirlo es mediante la utilización de una **manta térmica de aislamiento** en la superficie de la piscina durante su calentamiento.

2.3.4.2 Pérdidas por convección

Estas pérdidas ocurren por la existencia de aire de menor temperatura que el agua (piscina) que circula o “sopla” en la superficie de la piscina. Una capa de aire que ha sido calentado por contacto del agua es retirada de forma inmediata por el viento y nuevamente remplazada con aire frío. Este tipo de pérdida constituye la segunda más importante después de las pérdidas por evaporación.

2.3.4.3 Pérdidas por radiación

Este tipo de pérdida se basa en la transferencia de calor por radiación, es decir un cuerpo caliente tiene la capacidad de emitir una cantidad significativa de energía radiante por su diferencia de temperatura. En el caso de piscinas, estas pueden radiar energía de forma inmediata principalmente durante el anochecer hacia el cielo nocturno.

2.3.4.4 Pérdidas por conducción

Debido al contacto de la piscina con el suelo y aire en estado de reposo alrededor, una piscina puede perder calor mediante conducción. Puesto que el aire además de poseer muy baja conductividad térmica, se encuentra en continuo movimiento, la energía transferida es muy baja, en caso de las paredes, la baldosa (material cerámico), concreto de la pared y tierra son materiales relativamente de baja conductividad térmica. Las pérdidas por

conducción constituye la más baja pérdida energética en climatización de piscinas.

Esquemáticamente se presenta a continuación el nivel de significancia de las pérdidas energéticas mencionadas:

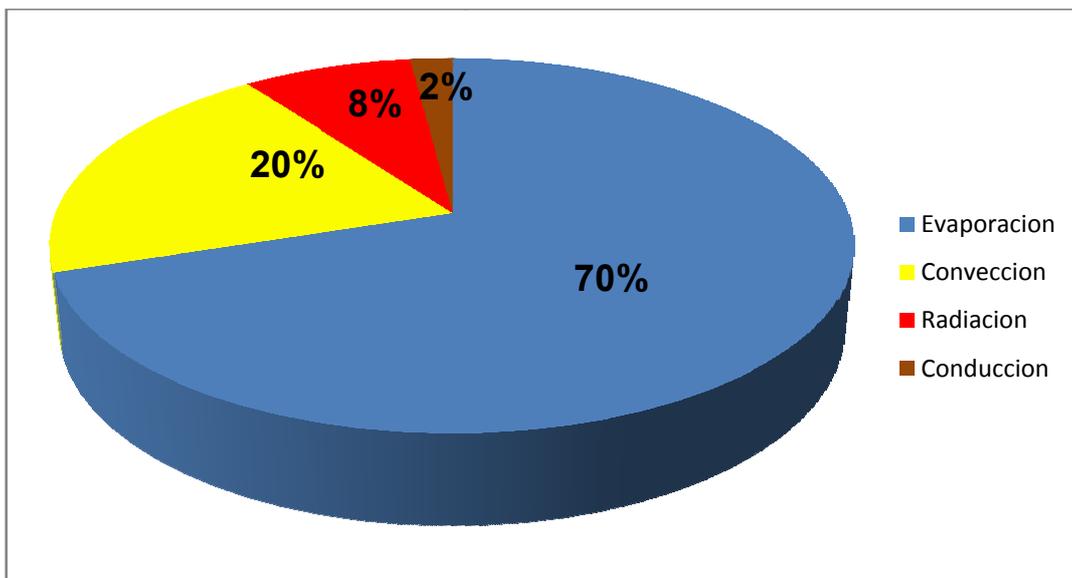


Figura 3.7. Grado de significancia de pérdida energética de una piscina.

2.3.4.5 Cálculo de pérdidas energéticas de una piscina

Las pérdidas energéticas de una piscina a ser climatizada se calculan mediante los casos descritos, es decir un sistema abierto o cerrado. Según normas RITE, una norma española se establece el siguiente método de cálculo directo de las pérdidas energéticas.

2.3.4.5.1 Pérdida energética para una piscina cubierta

Consideraciones:

Las pérdidas por evaporación representan el 70 a 80% de las pérdidas totales.

Las pérdidas por radiación representan el 8 a 10% de las pérdidas totales.

Las pérdidas por conducción son despreciables.

La pérdida se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = (130 - 3tw + 0,2tw^2) \left(\frac{Sw}{1000} \right) \quad (4.1)$$

Donde:

P: pérdida energética en KW.

tw: temperatura deseada del agua de la piscina en °C

Sw: superficie de la piscina en m².

2.3.4.5.2 Pérdida energética para una piscina sin cubierta

Consideraciones:

- Las pérdidas por radiación hacia el cielo más acentuado en la noche.
- Pérdidas por evaporación.
- Pérdidas por convección producido por el viento sobre la superficie de la piscina.
- Pérdidas por arrastre y salpicaduras de agua.

La pérdida se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{(28+20V)(tw-ta)Sw}{1000} \quad (4.2)$$

Donde:

P: pérdida energética en KW.

tw: temperatura deseado del agua de la piscina en °C

ta: temperatura del aire promedio de la zona.

V: velocidad promedio del viento en la zona.

Sw: superficie de la piscina en m².

Las pérdidas energéticas descritas pueden ser reducidas significativamente mediante el uso de mantas térmicas en tiempos en que no se utilice la piscina.

2.3.4.5.3 Cálculo de las pérdidas energéticas global

2.3.4.5.3.1 Considerando un sistema sin cubierta (al aire libre)

Datos:

Tw: 28°C (temperatura media deseada de climatización)

V= 3.5 m/s (velocidad promedio del viento de la zona)

Ta: 20°C (temperatura promedio del aire en la zona)

Sw= 5.05*9.05 = 45.7025 m² (área superficial de la piscina considerando dimensiones máximas descrito en la seccion3.3).

Utilizando la Ecuación 4.2:

$$Pd = \frac{(28 + 20 * 3.5)(28 - 20) * 45.7025}{1000}$$

Pd= 35.83 KW x 4 horas diarias (funcionalidad) = 143.3 KWH/día ≈ 490 000 BTU/día.

2.3.4.5.3.2 Considerando un sistema con cubierta

Utilizando la Ecuación 4.1:

$$Pd = (130 - 3 * 28 + 0,2 * 28^2) \left(\frac{45.7025}{1000} \right)$$

$Pd = 9.27 \text{ KW} \times 4 \text{ horas diarias} = 37.2 \text{ KWH} \approx 127 \text{ 000BTU/día.}$

2.3.4.6 Sistema de implementación de un sistema de climatización solar para piscina *sin cubierta*.

Este método constituye una técnica simple, pasivo, y económico para calentar piscinas. Para suprimir o reducir el uso de sistemas de calentamiento auxiliar y efectivizar al máximo el sistema, las reglas principales son: la piscina debe estar ubicado de tal forma que esté siempre alumbrado al sol recibiendo los rayos directos, se debe reducir la velocidad del viento sobre la superficie del agua, y se debe utilizar mantas térmicas. Una piscina por sí sola posee un comportamiento de colector en donde que comúnmente más del 75% de la energía radiante del sol directo es absorbida por el agua. Su desventaja principal constituye a su exposición directa al aire que puede sufrir variaciones drásticas por agentes climáticos en la zona (lluvias, granizadas, ventarrón intenso), la radiación incidente sobre la superficie del agua (piscina) es difusa en la mayor parte del tiempo, y no garantiza necesidades de confort de humedad relativa y temperatura para el usuario.

2.3.4.7 Sistema de implementación de un sistema de climatización solar para piscina *con cubierta*.

Este método tiene su objetivo prioritario en proteger la piscina de las pérdidas primarias energéticas por los factores climáticos y brindar una condición de confort interno aislado de las condiciones ambientales externas.

Específicamente los objetivos³⁰ de este método de implementación se presentan a continuación:

1. La consecución de una temperatura y humedad ambientales adecuadas
2. El mantenimiento de la temperatura del agua del vaso de piscina
3. Garantizar el aire de ventilación mínimo higiénico
4. Evitar las corrientes de aire en la zona de ocupación y sobre la lámina de agua.
5. Evitar que se produzcan condensaciones en los distintos cerramientos como consecuencia de la alta humedad absoluta y relativa del aire ambiente interior.

Las necesidades de brindar una climatización con cubierta de una piscina son:

1. Necesidades de **des-humectación** en el aire ambiente como consecuencia de la evaporación de agua.
2. Necesidades para mantener la temperatura del agua del vaso de piscina.
3. Necesidades para mantener la temperatura en el recinto que, en este caso, son las propias de cualquier local que deba ser climatizado.

Según normas (CIATESA), las condiciones de confort para un bañista se presenta a continuación:

³⁰ Referencia: CIATESA, ecología e innovación. es una empresa dedicada al diseño y fabricación de equipos de aire acondicionado refrigeración, tratamiento de aire, climatización.

Tabla 2.9. Condiciones de confort.

Temperatura de agua promedio	25°C [77°F]
Temperatura de aire	27°C [80°F]
Humedad relativa[HR]	65%

Específicamente en lo referente a la temperatura del agua, las normas establecen las siguientes cifras para el tipo de aplicación:

Tabla 3.0 Temperaturas del agua.

	°C	°F
Competición	24	75
Entrenamiento	26	79
Enseñanza y recreo	25	77
Disminuidos físicos	29	84
Piscina infantil	30	86
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32	90
Mujeres embarazadas	30 - 32	86 - 90

2.3.4.8 Des humectación

La determinación de des humectación del aire dentro de la cubierta recurre el uso de cartas psicométricas para conocer el grado de porción de masa de agua evaporada en masa de aire. De forma directa se presenta a continuación dicha porción mediante la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Humedad absoluta de aire saturado para 65%HR.

Temperatura aire [°C]	<i>w</i> (Kg.agua/Kg.aire)
20	0.0147
21	0.0155
22	0.0165
23	0.0177
24	0.0187
25	0.02
26	0.0213
27	0.0225
28	0.024
29	0.0255
30	0.027

Para calcular la masa de agua evaporada por unidad de tiempo dentro de una piscina, existen modelos matemáticos³¹ que involucran humedad absoluta en saturación a la temperatura del agua de la piscina, humedad absoluta a la temperatura del aire ambiente, superficie de la lámina de agua, número de bañistas, y número de espectadores. En resumen, para un estilo de confort de 27°C de aire, 65% HR y 25°C de agua; se destaca la masa evaporada del agua [Me] por cada unidad de área superficial de la piscina:

³¹ Propuesto por Bernier, referencia: CIATESA, ecología e innovación piscinas cubiertas.

Tabla 3.2. Masa evaporada por unidad de tiempo y área según número de bañistas.

Consideración	Me (Masa evaporada)	
	Sistema Internacional [Kg. /h/m²]	Sistema Americano [lb./h/ft²]
<i>Para una piscina en estado de reposo sin ocupantes.</i>	0.086	0.0176
<i>Para una piscina con un número de ocupantes de 20 bañistas.</i>	0.0458	9.382 x 10 ⁻³
<i>Para una piscina con un número de ocupantes de 40 bañistas</i>	0.0915	0.0187
<i>Para una piscina con un número de ocupantes de 60 bañistas</i>	0.1373	0.02812

2.3.4.8.1 Sistema de deshumidificación mediante aire exterior

La climatización de una piscina con cubierta constituye la necesidad de implementar sistemas de des humectación del entorno para garantizar las necesidades de confort y eficiencia energética.

El sistema de des humectación mediante aire exterior corresponde el método³² más práctico, y sencillo. Su funcionalidad consiste en una renovación de aire continuo circulante. El aire externo generalmente se encuentra a una humedad absoluta menor que el aire interior, el grado de humedad se reduce con el

³² Otros métodos de des humectación son mediante: batería de frío, bombas de calor, grupos agua – agua climatizadores.

reemplazo constante de aire interior por aire exterior con un tratamiento de calentamiento previo para evitar generar pérdidas energéticas en caso de poseer una temperatura baja. Para generar el caudal de aire circulante de reemplazo para introducir al recinto, se puede recurrir a un sistema de bombeo o el caudal puede ser producido mediante un aporte de calor del sol que incide sobre el sistema cubierto con translucidos, lo cual mediante una diferencia de temperaturas del entorno interno y externo permite una circulación natural. El caudal se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Va = \frac{Me}{Da(Wai - Wae)} \quad (4.3)$$

Donde:

Va: caudal de aire exterior (m³/h).

Me: Cantidad de vapor a evacuar ([Me] determinado anteriormente).

Da: densidad de aire exterior.

Wai: humedad absoluta del aire interior a 65%HR, 27°C = 0.0225 kg agua / kg aire tabla.3.1.

Wae: humedad absoluta del aire exterior determinado con una carta psicrométrica.

2.3.5 Eficiencia del colector solar plano

La eficiencia está definida por la relación de energía aportada del colector solar y la radiación total incidente. El método de determinación de la energía aportada o *calor útil* del colector conlleva el cálculo de parámetros adicionales que será descrito más adelante. Dado el calor útil [Qu], entregado por el sistema proveniente de la energía radiante, la eficiencia del colector solar plano es:

$$n = \frac{Qu}{I(\tau\alpha)Ac} \quad (4.4)$$

Donde:

n: eficiencia del colector solar.

Qu: calor útil entregado por el colector (será definido en sección 2.3.6).

I($\tau\alpha$): Irradiación total (energía absorbida).

Ac: área unitario del colector.

En la sección 2.3.6, referente a la determinación del calor útil [Qu], se analiza a profundidad el parámetro de eficiencia.

De forma experimental, midiendo la diferencia de temperaturas de entrada y salida del agua del colector, se puede obtener la eficiencia del colector solar mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{mwcw(Ts-Te)}{I(\tau\alpha)Ac} \quad (4.5)$$

Donde:

n: eficiencia del colector solar.

mw: Flujo másico del agua dentro del colector.

cw: Calor específico del agua , 4190 J/kg°C, (1 Btu/lb °F)

Ts: Temperatura de salida del agua.

Te: Temperatura de entrada del agua.

I($\tau\alpha$): Irradiación total por unidad de tiempo.

Ac: área unitario del colector.

2.3.6 Cálculo del calor útil [Qu] de un colector solar por el método de Klein.

2.3.6.1 Factor de remoción.

Basado en un valor real, o preciso de la temperatura y material de la placa absorbadora, los elementos constituidos del colector solar de: aislante térmico, cubierta transparente, factores ambientales y de transferencia de calor (eficiencias). Se determina El factor de remoción que es un valor a-dimensional característico del desempeño del colector solar, su determinación se basa en la siguiente consideración:

- El ángulo de inclinación del colector plano solar [β] sea inferior a 70° .

Basándonos del colector plano de la figura 3.1 que es el diseño más utilizado en la actualidad para sistemas de calentamiento de agua de uso doméstico o climatización de piscinas, nuevamente analicemos su constitución, de los partes internas, materiales empleados que han sido explicados anteriormente mediante el siguiente diagrama mas específico.

La anatomía de un colector plano de una cubierta es:

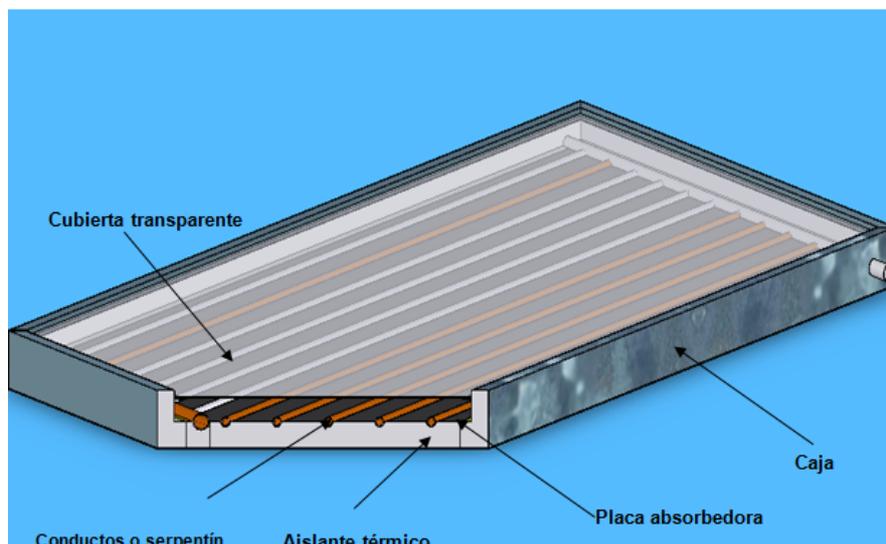


Figura 3.8 Partes constituidos de un colector solar plano

Vista en detalle de la sección transversal en corte se tiene:

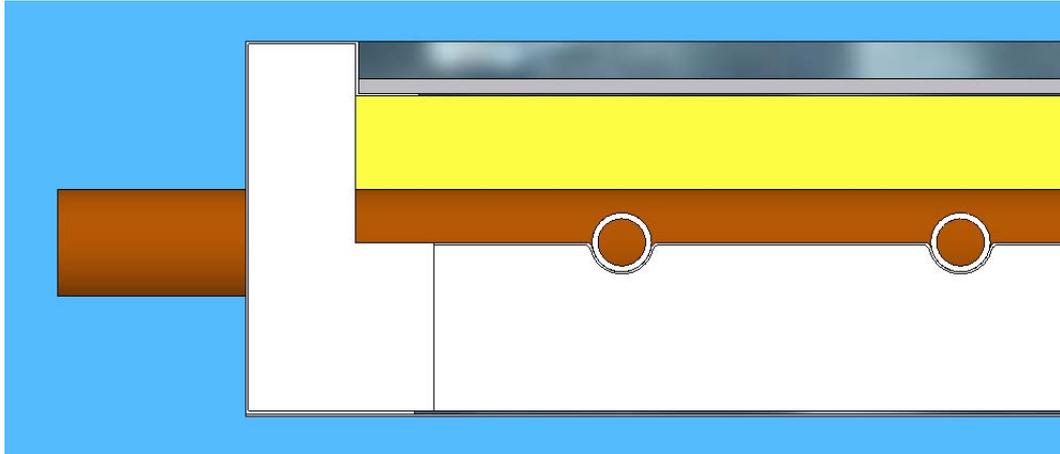


Figura 3.9. Sección transversal en corte de un colector solar plano

Dados las descripciones de estos elementos; como paso previo, se procede a calcular los siguientes coeficientes globales de transferencia.

La transferencia en la base del aislante es:

$$U_b = \frac{K_{aisl}}{esp_b} \quad (4.6)$$

Donde:

U_b : transferencia global en la base del aislante.

K_{aisl} : conductividad térmica del aislante.

esp_b : longitud o espesor del aislante de la base.

Sea: L_c : el largo del colector; A_{nc} : el ancho del colector y A_{ltc} : la altura del colector. La transferencia en los lados laterales del aislamiento del colector es:

$$U_e = \frac{K_{aisl} * \text{Area lateral del colector}}{\text{Area bruta del colector} * \text{espesor lateral aislante}}$$

Es decir:

$$U_e = \frac{K_{aisl} * (2(L_c + A_{nc})A_{ltc})}{L_c * A_{nc} * esp_l} \quad (4.7)$$

Donde:

Ue: transferencia global en la sección lateral del aislante.

Kaisl: conductividad térmica del aislante.

espl: longitud o espesor del aislante de la sección lateral.

Lc: largo del colector.

Anc: ancho del colector.

Altc: altura del colector.

En lo referente a aislantes, la siguiente tabla muestra los más utilizados con su respectiva conductividad térmica:

Tabla 3.3. Conductividad térmica de aislantes térmicos utilizados en colectores planos.

Aislante	K [W/m°C]	Temperatura de operación límite [°C]
<i>Lana de vidrio</i>	0.032	343
<i>Poliuretano</i>	0.023	104
<i>Poliestireno</i>	0.029 - 0.039	74

La pérdida por convección del viento del ambiente que interactúa sobre la cubierta transparente se calcula mediante la ecuación propuesta por Mc Adams (1954):

$$hw = 5.7 + 3.8v \quad (4.8)$$

Donde:

hw: pérdida por convección del viento de la atmósfera que actúa sobre la cubierta transparente.

v: velocidad relativa del viento de la zona expuesta para los colectores.

Posteriormente para el cálculo del coeficiente total de pérdidas [Ut], se procede realizar el cálculo de los siguientes factores:

Factor f

$$f = (1 + 0.089hw - 0.1166hw * \varepsilon p)(1 + 0.07866N) \quad (4.9)$$

Donde:

f: factor f.

hw: pérdida por convección del viento de la atmósfera que actúa sobre la cubierta transparente **(ec.4.8)**.

εp : emitancia de la placa, **Tabla 2.8**.

N: número de cubiertas transparentes.

Factor c

$$c = 520(1 - 0.000051\beta^2) \quad (5.0)$$

Donde:

c: factor c.

β : ángulo de inclinación del colector plano solar en grados sexagesimales.

Factor e

$$e = 0.43 \left(1 - \frac{100}{T_p} \right) \quad (5.1)$$

Donde:

e: factor e

T_p : temperatura absoluta de la placa absorbadora en K.

El coeficiente total de pérdidas [Ut] se calcula mediante la siguiente expresión.

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{c}{T_p} \left[\frac{T_p - T_a}{N + f} \right]^e + \frac{1}{hw}} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)}{(\varepsilon_p + 0.00591N*hw)^{-1} + \frac{(2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p) - N}{\varepsilon_c}} \quad (5.2)$$

Donde:

Ut: coeficiente total de pérdidas [W/m²°C]³³.

N: número de cubiertas transparentes.

c: factor c. **(ec.5.0)**.

Tp: temperatura absoluta de la placa absorbadora en K.

Ta: temperatura absoluta del medio ambiente en K.

f: factor f **(ec.4.9)**.

e: factor e **(5.1)**.

hw: pérdida por convección del viento de la atmósfera que actúa sobre la cubierta transparente **(ec.4.8)**.

σ: Constante de Stefan Boltzman= 5.67 x10⁻⁸ W/m² K⁴ (0.1714 x 10⁻⁸ BTU/ft² h °R⁴).

εp: emitancia de la placa, Tabla 2.8.

εc: emitancia de la cubierta transparente, 0.85 para el vidrio.

El coeficiente global de pérdidas [UL] se calcula sumando Ut, Ub, Ue.

$$UL = U_t + U_b + U_e \quad (5.3)$$

Donde:

UL: coeficiente global de pérdidas.

Ut: coeficiente total de pérdidas. **(ec.5.2)**

Ue: transferencia global en la sección lateral del aislante. **(ec.4.7)**.

Ub: transferencia global en la base del aislante. **(ec.4.6)**.

Definido UL, se procede al cálculo de eficiencias térmicas en la placa absorbadora, y serpentín.

³³ Fórmula de Klein, referencia: apuntes de Energías No convencionales.

Sea: W: distancia de separación entre conductos, D: diámetro externo del conducto, Di: diámetro interno del conducto.

Se empieza definiendo un parámetro m para el cálculo de la eficiencia térmica de la aleta (como un conjunto de conductos).

$$m = \sqrt{\frac{UL}{K_{plac} \cdot \delta_{plac}}} \quad (5.4)$$

Donde:

m: factor m.

UL: coeficiente global de pérdidas. **(ec.5.3)**.

K_{plac}: conductividad térmica de la placa absorbadora.

δ: espesor de la placa.

A continuación, la tabla siguiente muestra los materiales más usados en las placas absorbadoras con sus respectivas conductividades térmicas.

Tabla 3.4. Conductividades térmicas de los materiales usados para placa absorbadora

Material	Conductividad térmica [W/m°C]	Conductividad térmica [Btu/h ft°F]
<i>Cobre</i>	380	217
<i>Aluminio</i>	211	117
<i>Acero</i>	45	26

La eficiencia térmica de la aleta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{\tanh \left[m \left(\frac{W - D}{2} \right) \right]}{m \left[\frac{W - D}{2} \right]} \quad (5.5)$$

Donde:

F: eficiencia térmica de la aleta³⁴.

m: factor m (**ec.5.4**).

W: distancia de separación entre conductos³⁵.

D: diámetro externo del conducto.

Dentro del diseño de los colectores planos solares, existe varias formas de manufactura para acople de tubos serpentín contra la placa absorbedora. Nuestro diseño consiste de tubos serpentines puesto en placa absorbedora acanalada. Se presenta a continuación:

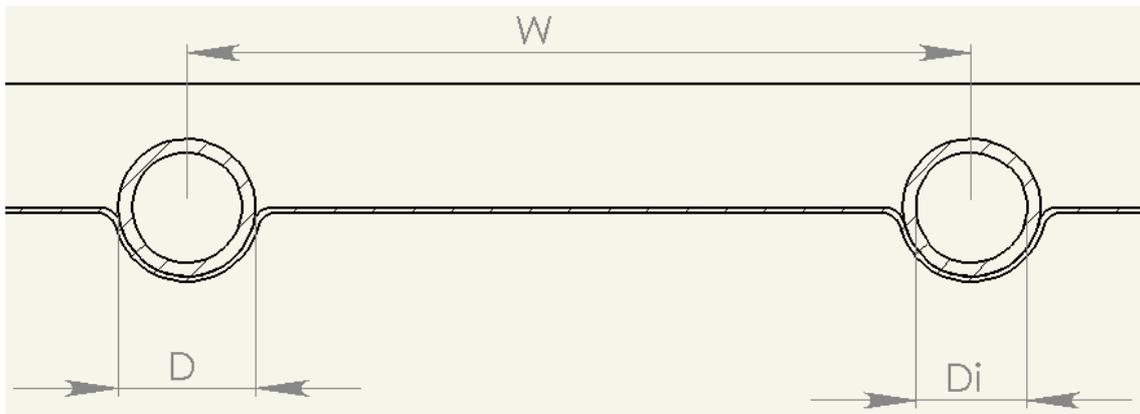


Figura 4.0 Diseño de colector plano de serpentín puesto sobre placa acanalada.

Para este diseño en particular, el factor eficiencia [F'] del colector se determina mediante la siguiente expresión.

$$F' = \frac{1}{\frac{W * UL}{\pi Di * hfi} + \frac{W}{D + (W - D)F}} \quad (5.6)$$

Donde:

³⁴ $\tanh \alpha = \frac{e^{\alpha} - e^{-\alpha}}{e^{\alpha} + e^{-\alpha}}$ (tangente hiperbólico)

³⁵ Dentro del diseño del serpentín, la distancia de separación entre conductos [W], se recomienda entre 3 ½ - 6 pulgadas.

F': factor eficiencia del colector³⁶.

W: distancia de separación entre conductos.

D: diámetro externo del conducto.

UL: coeficiente global de pérdidas. **(ec.5.3)**.

Di: diámetro interno del conducto.

F: eficiencia térmica de la aleta. **(ec.5.5)**.

hfi: coeficiente de convección del fluido dentro de la tubería (entre tubería y fluido). Para agua en flujo laminar: 300 W/m² °C, para flujo turbulento: 10 000 W/m² °C.

Dados estos cálculos previos, finalmente se procede al cálculo del parámetro más importante dentro del rendimiento térmico de los colectores solares de placa plana denominado: **factor de remoción** [Fr].

$$Fr = \frac{\dot{m} * cpf}{Ac * UL} \left[1 - \exp \left(\frac{-F' * Ac * UL}{\dot{m} * cpf} \right) \right] \quad (5.7)$$

Donde:

Fr: Factor de remoción³⁷.

\dot{m} : Flujo másico del fluido conducido.

cpf: calor específico del fluido, para agua = 4 190 J/Kg °C (1 Btu/ lb °F).

Ac: Área unitaria del colector = Lc * Anc.

UL: coeficiente global de pérdidas. **(ec.5.3)**

F': factor eficiencia del colector. **(ec.5.6)**

Existen referencias de caudal de conducción que se menciona a continuación:

Para termosifón: 11.11 x 10⁻³ litros*m² (unitario del colector solar)/s.

Circulación forzada: 0.06 litros*m² (unitario del colector solar)/s, aproximadamente.

³⁶ Para otros diseños de colectores, revisar anexos para el factor F'.

³⁷ Referencia: Apuntes de energías No convencionales.

2.3.6.1.1 Cálculo del factor de remoción [Fr]

2.3.6.1.1.1 Datos

$N_c := 1$		Número de cubiertas transparentes
Num := 1		Número de colectores solares
$k_{pAl} := 211$	W /m°C	Conductividad de la placa aluminio
Tubos		
$W := 0.05$	m	Espacio entre tubos
$D := 0.01587$	m	Diámetro exterior
$D_i := 0.0127$	m	Diámetro interior
$c_p := 4190$	J /kg°C	Calor específico del agua
$\delta := 0.0005$	m	Espesor de la placa
$T_p := 75$	° C	Temperatura de la placa
$L := 0.04$	m	Separación ó espacio entre placa y cubierta
$\epsilon_p := 0.9$		Emitancia de la placa
$T_a := 20$	° C	Temperatura ambiental
$V := 3.5$	m/s	Velocidad de viento aproximado de la zona
$\epsilon_c := 0.85$		Emitancia de la cubierta
$\beta := 10^\circ$		Angulo de inclinación del colector
$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8}$		Emisibilidad
$L_c := 2$	m	Largo colector
$A_n := 1.10$	m	Ancho colector
$Alt := 0.1$	m	Alto colector
$k_{aisl} := 0.025$	W /m°C	Poliuretano
$esp1 := 0.02$	m	Aislamiento
$esp2 := 0.04$	m	
$Area_{col} := L_c \cdot A_n$		Área del colector
$m1 := 0.052 L_c \cdot A_n$		
$m1 = 0.114$	kg/s	Flujo másico del agua en un tubo serpentín (1.8 gal/min)

2.3.6.1.1.2 Procedimiento.

Consideraciones:

*ángulo de inclinación colector < 70°

*Estado estable

*Cubiertas transparentes opaca Rayos infrarrojos

*No existe sombras sobre placas

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección en la tubería serpentín.

$$V_f := \frac{\frac{m1}{1000}}{\frac{\pi \cdot (2 \cdot Di)^2}{4}} \cdot \left(\frac{100}{2.54 \cdot 12} \right)$$

$$V_f = \frac{Q}{A}, \text{ ecuacion de caudal de flujo}$$

$$V_f = 0.741 \quad \text{ft/s}$$

Velocidad del fluido dentro del tubo serpentín

$$t_f := 66 \quad \text{F}$$

Temperatura media de circulación del agua.

$$h_{if} := 5.672207641 \left[160 \frac{V_f^{0.8} \cdot (1 + 0.012 t_f)}{\left(2 \cdot Di \cdot \frac{1000}{25.4} \right)^{0.2}} \right] \cdot \left[1 + \left(3.5 \cdot \frac{2 \cdot Di}{Di} \right) \right]$$

h para flujo turbulento en interior de tubos y serpentín. Ecuación 6c Manual del ingeniero mecánico Marks transmisión de calor para conducción y convección pg. 4-63

$$h_{if} = 10233.474 \quad \text{W /m}^2 \text{ K}$$

$$h_{if} = \frac{160(1 + 0.012 t_f) V_f^{0.8}}{Di^{0.2}} \left[1 + 3.5 \frac{Di}{Dc} \right]$$

t_f: temp. Fluido (°F), V_f: velocidad fluido (ft/s), Di: diámetro del circuito (pulg), D_c: diámetro serpentín (pulg), h_{if}: Btu./h.ft².°F.

$$h_w := 5.7 + 3.8 \cdot v$$

Pérdidas por viento Mc Adams (1954)

$$h_w = 19 \text{ W /m}^2 \text{ °C}$$

$$f := (1 + 0.089 h_w - 0.1166 h_w \cdot \epsilon_p) \cdot (1 + 0.07866 N)$$

$$f = 0.752$$

$$C_w := 520 \left(1 - 0.000051 \beta^2 \right)$$

$$C = 517.348$$

$$e_w := 0.43 \left(1 - \frac{100}{T_p + 273.13} \right)$$

$$e = 0.306$$

Factor h_w, ec. 4.8, pg 62

Factor f, ec.4.9, pg 63

Factor C, ec.5.0, pg 63.

Factor e, ec.5.1, pg.63.

$$U_{t1} := \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p + 273.13} \cdot \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^e + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1}$$

Factor U_t, ec. 5.2, pg 64

$$U_{t2} := \frac{\sigma \cdot [(T_p + 273.13)^2 + (T_a + 273.13)^2] \cdot (T_p + 273.13 + T_a + 273.13)}{(\epsilon_p + 0.00591 N \cdot h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 \epsilon_p}{\epsilon_c} - N}$$

$$U_t := U_{t1} + U_{t2}$$

$$U_t = 6.928 \text{ W /m}^2 \text{ K}$$

$6W/m^2°C < U_t < 8W/m^2°C$ para 1 cubierta, cumple con la condición.

$$U_b := \frac{k_{aisl}}{esp2} \quad \text{Factor } U_b \quad \text{ec. 4.6, pg 61}$$

Aislante térmico

$$U_b = 0.511 \text{ W /m}^2 \text{ } °C$$

$$U_e := \frac{\frac{k_{aisl}}{esp1} \cdot [2 \cdot (L_c + A_n) \cdot Alt]}{L_c \cdot A_n} \quad \text{Factor } U_e \quad \text{ec. 4.7, pg 61}$$

$$U_e = 0.216 \text{ W /m}^2 \text{ } °C$$

$$U_L := U_t + U_b + U_e \quad \text{Coeficiente de pérdidas totales} \quad \text{Factor } U_L \quad \text{ec. 5.3, pg 64}$$

$$U_L = 7.655 \text{ W /m}^2 \text{ } °C$$

Procedimiento para cálculo del factor de remoción

$$m := \sqrt{\frac{U_L}{k_p A_l \cdot \delta}} \quad \text{Factor } m, \quad \text{ec. 5.4, pg 65}$$

$$m = 8.518$$

$$F := \frac{\tanh\left[m \cdot \left(\frac{W - D}{2}\right)\right]}{m \cdot \left(\frac{W - D}{2}\right)} \quad \text{Eficiencia térmica de aleta} \quad \text{Factor } F, \quad \text{ec.5.5, pg 66}$$

$$F = 0.968$$

$$F_1 := \frac{1}{\frac{W \cdot U_L}{\pi \cdot D_i \cdot h_{if}} + \frac{W}{D + (W - D) \cdot F}} \quad \text{Eficiencia del colector} \quad \text{Factor } F_1, \quad \text{ec.5.6, pg 67}$$

$$F_1 = 0.972$$

$$F_r := \frac{m \cdot c_p}{\text{Areacol} \cdot U_L} \cdot \left(1 - 2.718281828 \cdot \frac{-\text{Areacol} \cdot U_L \cdot F_1}{m \cdot c_p} \right) \quad \text{Factor } F_r, \quad \text{ec. 5.7, pg 67.}$$

$$F_r = 0.956$$

2.3.6.2 Expresión matemática del calor útil [Qu] del colector solar plano

Una vez definido el factor de remoción [Fr] se procede al cálculo del calor útil [Qu] entregado por el sistema de colectores solares para el calentamiento del fluido. Los colectores solares planos reciben una radiación total HT definido en el capítulo anterior, la radiación incidente en la placa absorbadora finalmente es:

$$S = (\tau\alpha)I \quad (5.8)$$

Donde:

S: radiación incidente en la placa absorbadora.

$\tau\alpha$: Factor tau-alfa de la cubierta transparente, (**ec.3.8**³⁸).

I: radiación total, calculado como HT mediante la expresión (3.7) .debe estar en **W-h/m²**.

Finalmente el calor útil [Qu], la expresión más importante del cálculo del calor es:

$$Qu = Ncp * Ac * Fr[S - UL(Tm - Ta)] \quad (5.9)$$

Donde:

Qu: calor útil entregado por el colector.

Ncp: número de colectores puestos o disponibles.

Ac: Área unitario del colector = Lc * Anc.

Fr: factor de remoción. (**ec.5.7**)

S: radiación incidente en la placa absorbadora. (**ec.5.8**)

UL: coeficiente global de pérdidas. (**ec.5.3**)

Tm: temperatura media de ingreso del fluido [°C].

Ta: temperatura del medio ambiente [°C].

³⁸ De forma inmediata, $\tau\alpha = 1.01$ para colectores de una cubierta, $\tau\alpha = 1.02$ para colectores de 2 cubiertas.

2.3.6.2.1 Cálculo del calor útil de un colector [Qu]

2.3.6.2.2 Datos

$$\overline{S}_{\text{m}} := 3696 \text{ W-h/m}^2$$

Radiación solar

$$\overline{T}_{\text{a}} := 20$$

Temperatura ambiente promedio

$$T_i := 28$$

Temperatura media de circulación del agua

2.3.6.2.3 Desarrollo

$Q_u := \text{Num} \cdot \text{Area}_{\text{col}} \cdot \text{Fr} \cdot [S - U_L \cdot (T_i - T)]$ Calor útil producido por un colector, ec.5.9

$$Q_u = 7.642 \times 10^3 \text{ W-h /sist*día}$$

$$\frac{Q_u}{1000} = 7.642 \text{ Kw-h/día}$$

$Q_u = 7.642 \text{ Kw-h/día (26 100 Btu/día)}$ → Calor útil aportado de un colector en condiciones normales

El calor útil máximo que puede aportar un colector solar con la mejor radiación incidente (4596 W-h/m^2) es:

$$Q_u = 9.534 \text{ KW-h/día (32 570 Btu/día)}$$

Dentro del cálculo del calor asimilado por el colector existe otro método mencionado a continuación que involucra procesos iterativos de cálculos de transferencia de calor.

2.3.7. Cálculo del calor útil [Qu] absorbido por un colector solar por el método iterativo de cálculo de calor de absorción entre espaciamiento de placa absorbidora y cubierta transparente

Cuando los rayos incidentes del sol actúan sobre la cubierta transparente se producirá una transferencia de calor en el espaciamiento entre la cubierta y

placa absorbidora. Para aplicar el modelo matemático para las ecuaciones de transferencia de calor destacamos las siguientes consideraciones.

- El colector solar plano se encuentra en un estado estable.
- Las cubiertas transparentes opaca radiación infrarroja.
- No existe sombras sobre la placa.

Realizando la analogía eléctrica de transferencia de calor de un colector solar **de una sola cubierta transparente** hasta la placa absorbidora se tiene:

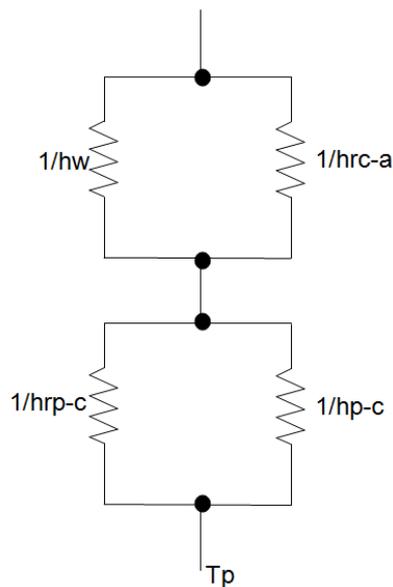


Figura 4.1 Analogía eléctrica de transferencia de calor producido para un colector solar de una cubierta transparente

Donde:

hw: pérdida por convección del viento de la atmósfera que actúa sobre la cubierta transparente. **(ec.4.8)**.

hrc-a: transferencia radiante entre cubierta y atmósfera.

hrp-c: transferencia radiante entre placa absorbidora y cubierta.

hp-c: transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbidora y cubierta transparente.

Tp: temperatura de la placa.

Ta: Temperatura del ambiente.

Resolviendo el circuito de la figura 4.1:

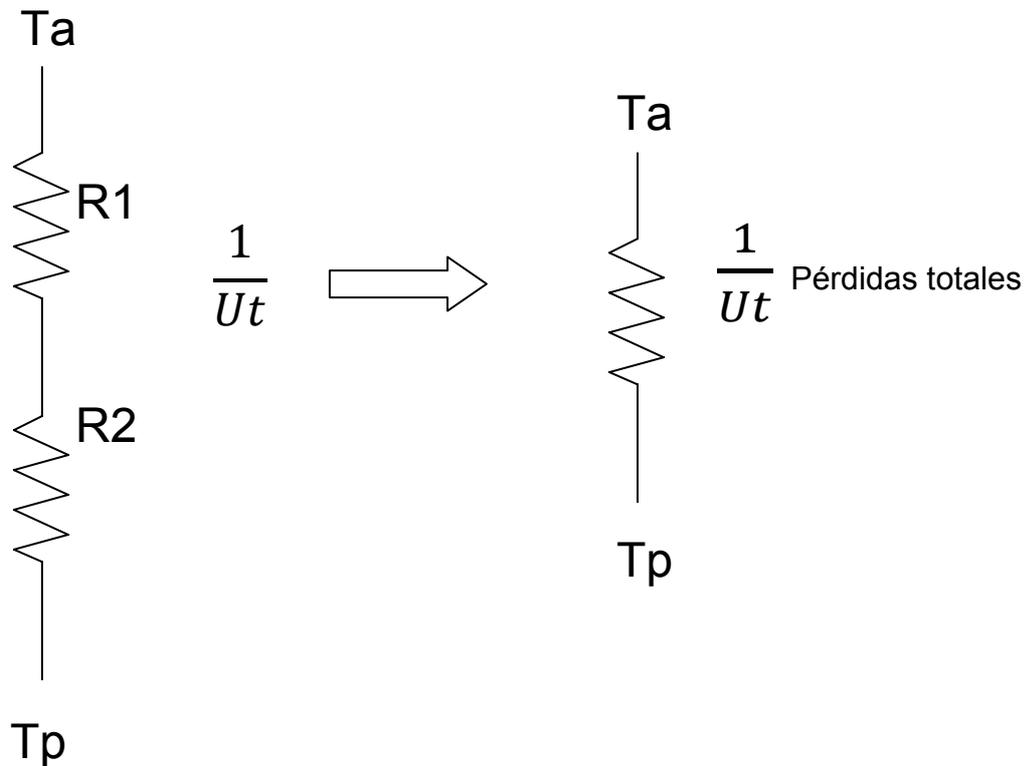


Figura 4.2. Resultante de la analogía eléctrica de transferencia de calor producido para un colector solar de una cubierta transparente.

Para el cálculo posterior de transferencia radiante se introduce una nueva variable denominado temperatura del cielo [Ts]. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T_s = 0.0522T_a^{1.5} \quad (6.0)$$

Donde:

Ts: temperatura del cielo [K]

Ta: temperatura absoluta del medio ambiente [K]

El factor hrc-a, transferencia radiante entre cubierta y atmósfera se determina mediante la siguiente ecuación:

$$h_{cra} = \sigma(T_c^2 + T_s^2)(T_c + T_s)\epsilon_c \quad (6.1)$$

Donde:

h_{cra} :transferencia radiante entre cubierta y atmósfera.

σ : Constante de Stefan Boltzman= $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ($0.1714 \times 10^{-8} \text{ BTU/ft}^2 \text{ h} \text{ } ^\circ\text{R}^4$)

T_s : temperatura absoluta del cielo **ec.(6.0)**.

T_c : temperatura absoluta de la cubierta.

ϵ_c : emitancia de la cubierta transparente³⁹.

El factor h_{r-p-c} , transferencia radiante entre placa absorbadora y cubierta, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$h_{r-p-c} = \frac{\sigma(T_p+T_c)(T_p^2+T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (6.2)$$

Donde:

h_{r-p-c} : transferencia radiante entre placa absorbadora y cubierta

σ : Constante de Stefan Boltzman= $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ($0.1714 \times 10^{-8} \text{ BTU/ft}^2 \text{ h} \text{ } ^\circ\text{R}^4$)

T_p : temperatura absoluta de la placa absorbadora.

T_c : temperatura absoluta de la cubierta.

ϵ_c : emitancia de la cubierta transparente.

ϵ_p : emitancia de la placa, Tabla 2.9.

El factor h_{p-c} , transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbadora y cubierta transparente se calcula mediante los siguientes pasos.

1ro: Número de Rayleigh.

$$Ra = \frac{2g(T_p-T_c)L^3Pr}{(T_p+T_c)V^2} \quad (6.3)$$

³⁹ Para el vidrio, $\epsilon_c=0.85$

Donde:

Ra: Número de rayleigh

Tp: temperatura absoluta de la placa absorbadora

Tc: temperatura absoluta de la cubierta.

g: gravedad = 9.8 m/s².

L: longitud de espaciamiento entre la placa absorbadora y cubierta transparente⁴⁰.

Pr: número de Prandtl del aire = 0.697

V: viscosidad del aire = 0.00002079 [m²/s]

En lo que se refiere a la longitud L, dentro del diseño de colectores planos el espaciamiento entre la placa absorbadora y cubierta transparente suele estar entre 1½ a 2 pulgadas (38 – 50 mm).

2do Número de Nussel propuesto por Hollands (1976).

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \quad (6.4)$$

Donde:

Nu: Número de nussel.

Ra: Número de rayleigh, **Ec.(6.3)**.

β: Angulo de inclinación del colector.

⁴⁰ En el diseño de los colectores el espaciamiento entre placa absorbadora y cubierta transparente oscila 1 ½" a 2".

Finalmente hp-c:

$$hpc = \frac{Nu * Kair}{L} \quad (6.5)$$

Donde:

hp-c: transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbadora y cubierta transparente.

Nu: Número de nussel **Ec.(6.4)**.

L: longitud de espaciamiento entre la placa absorbadora y cubierta transparente.

Kair: conductividad térmica del aire = 0.03 W/m².

Posteriormente se determina las equivalencias R1, R2 de la analogía eléctrica de transferencia de calor representado de la figura 4.2.

$$R1 = \frac{1}{hw + hcra} \quad (6.6)$$

Donde:

R1: resistencia equivalente de transferencia de calor 1.

hw: pérdida por convección del viento de la atmósfera que actúa sobre la cubierta transparente. **Ec.(4.8)**.

hcra :transferencia radiante entre cubierta y atmósfera. **Ec.(6.1)**.

$$R2 = \frac{1}{hrpc + hpc} \quad (6.7)$$

Donde:

R2: resistencia equivalente de transferencia de calor 2.

hrpc: transferencia radiante entre placa absorbadora y cubierta **Ec.(6.2)**.

hpc: transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbadora y cubierta transparente. **Ec.(6.5)**

Finalmente se determina el coeficiente total de pérdidas [Ut].

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (6.8)$$

Donde:

Ut: coeficiente total de pérdidas [W/m²°C].

R1: resistencia equivalente de transferencia de calor 1. **Ec.(6.6)**

R2: resistencia equivalente de transferencia de calor 2. **Ec.(6.7)**

En un diseño adecuado, el factor Ut debe estar en el siguiente rango que se presenta a continuación:

Tabla 3.5. Factor Ut específico para un colector con número de cubiertas⁴¹ dadas.

Colector	Ut [W/m ² °C]
1 cubierta	6 - 8
2 cubierta	≈ 4

La cantidad de calor transferido de absorción radiante incidente entre la placa absorbadora y cubierta es:

$$Q_u = hpc(T_p - T_c) + \frac{\sigma(T_p^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (6.9)$$

Donde:

Qu: Calor útil transferido entre la placa absorbadora y cubierta. W/ m²

hpc: transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbadora y cubierta transparente. **Ec.(6.5).**

Tp: temperatura absoluta de la placa absorbadora.

Tc: temperatura absoluta de la cubierta.

σ: Constante de Stefan Boltzman= 5.67 x10⁻⁸ W/m² K⁴ (0.1714 x 10⁻⁸ BTU/ft² h °R⁴).

⁴¹ En caso de un colector de 2 o 3 cubiertas, la analogía eléctrica de transferencia de calor es distinto.

ϵ_c : emitancia de la cubierta transparente.

ϵ_p : emitancia de la placa, Tabla 2.8.

Relacionado la Ec.6.9 con el factor hr_{pc} (Ec.6.2), la cantidad de calor transferido de absorción radiante incidente entre la placa absorbedora y cubierta también se puede calcular de la forma siguiente:

$$Q_u = (h_{pc} + hr_{pc})(T_p - T_c) \quad (7.0)$$

Donde:

Q_u : Calor útil transferido entre la placa absorbedora y cubierta.

hr_{pc} : transferencia radiante entre placa absorbedora y cubierta **Ec.(6.2)**

h_{pc} : transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbedora y cubierta transparente. **Ec.(6.5)**

T_p : temperatura absoluta de la placa absorbedora.

T_c : temperatura absoluta de la cubierta.

Dentro del cálculo de transferencia del calor, la temperatura de la placa absorbedora, se acepta como un valor impuesto en falta de datos. En forma general, la temperatura de la placa absorbedora en condiciones normales oscila entre 75 - 80°C. Mediante procesos de iteración se obtiene el *valor corregido de la temperatura de la cubierta* respectivo.

$$T_j = T_{pi} - \frac{U_t(T_{pi} - T_a)}{h_{pcij} + hr_{pcij}} \quad (7.1)$$

Donde:

T_j : Temperatura corregido de iteración.

T_{pi} : temperatura absoluta de la placa absorbedora iteración anterior.

U_t : coeficiente total de pérdidas iteración anterior. **Ec.(5.2)**.

T_a : temperatura absoluta del medio ambiente.

h_{pc} : transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbedora y cubierta transparente, iteración anterior. **Ec.(6.5)**

hrpc: transferencia radiante entre placa absorbadora y cubierta, iteración anterior .**Ec.(6.2)**

Obtenido la temperatura de la cubierta transparente real de las iteraciones, se obtiene el calor Qu real.

Dentro del apéndice A, en ejemplo de cálculos, se presenta la aplicación de este método de cálculo del calor y temperatura.

Nuevamente refiriéndose al factor eficiencia, dado que la radiación incidente S, la temperatura ambiental Ta, temperatura media de ingreso del fluido Tm, son parámetros en continuo modificación o cambio, debido principalmente por la variación de la radiación incidente durante el día. La eficiencia de un colector solar sufrirá variaciones a lo largo del día. La eficiencia de un colector solar de la forma más completa basada de la Ecuación 4.4 es:

$$n = \frac{Nc * Ac * Fr[S - UL(Tm - Ta)]}{I * Nc * Ac}$$

Simplificando y distribuyendo el denominador en cada término, se tiene:

$$n = \frac{Fr * S}{I} - \frac{Fr * UL(Tm - Ta)}{I}$$

Relacionando S con I de la expresión anterior.

$$n = Fr(\tau\alpha) - \frac{Fr * UL(Tm - Ta)}{I}$$

Tm, Ta, I son parámetros variables, la eficiencia posee una ley de tendencia lineal es decir:

$$n = b - m \frac{(Tm - Ta)}{I}$$

Donde:

Pendiente de la recta [m] es: $F_r \cdot U_L$.

Término independiente [b] es: $F_r \cdot (\tau\alpha)$.

Existen básicamente 2 tipos de colectores solares planos por su temperatura de operación:

- Colectores de temperatura mediana.
- Colectores de temperatura bajo.

Basados en datos experimentales o ensayos se destacan los siguientes gráficos de la eficiencia de los colectores solares:

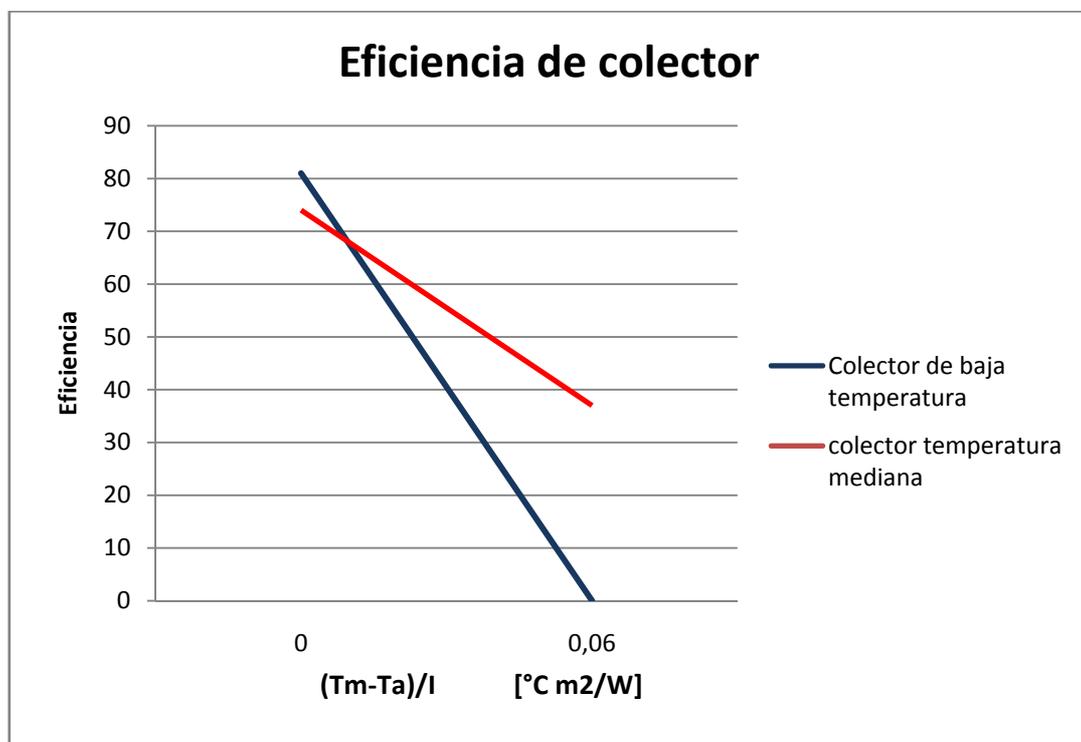


Figura 4.3. Recta característica de la eficiencia del colector.

CAPITULO 3.

DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO

3.1 Demanda de energía de la piscina

La demanda energética se basa en la ecuación primaria de la primera ley de la termodinámica de un fluido en estado líquido sin llegar a estado de evaporación.

$$Qd = Mcp\Delta T \quad (7.2)$$

Donde:

Qd: Calor, demanda energética diaria requerida.

M: masa contenida de agua en el vaso de la piscina.

Cp: calor específico del fluido, para agua = 4 190 J/Kg °C (1 Btu/ lb °F).

ΔT : incremento de temperatura diario.

En lo referente al incremento de temperatura diario [ΔT], según resultados experimentales en base de mediciones realizadas, **generalmente el incremento de temperatura en un día de los sistemas solares oscila entre 2 a 3°C (4 a 6°F) de la masa de agua** contenido del vaso de la piscina en sistemas solares de climatización.

3.1.1 Cálculo de la demanda energética

Datos:

$M = (60 \text{ m}^3 + 1\%) * 990 \text{ Kg/m}^3 = 59\,994 \approx 60\,000 \text{ Kg H}_2\text{O}$ (132 300 lb.), masa de agua del vaso de la piscina.

Utilizando la ecuación 7.2, con un $\Delta T = 2.2^\circ\text{C}$ diario.

$$Qd = 60\,000 * 4190 * 2.2$$

$$Qd = 553\,080\,000 \text{ J}$$

$$= 132\,189\,293 \text{ cal}$$

$$= 153.63 \text{ KW-h}$$

$$= 524\,778 \text{ BTU} \rightarrow \text{DIARIO}$$

En resumen, la demanda energética aproximando al entero mayor es:

$$Qd = 154 \text{ KW-h/día} \text{ (526 040 BTU/día)}$$

3.2 Diseño del sistema de tuberías para la admisión y salida del agua.

Una piscina está constituida por los siguientes elementos o partes para la circulación del fluido a ser climatizado.

- Bomba de caudal centrífugo.
- Filtro de arena.
- Des-natador o skimmer de limpieza del agua.
- Válvula de control del sistema de automatización.
- Rejilla o main drain de drenaje del vaso de la piscina.
- Accesorios de plomería.

El método convencional de circuito hidráulico consiste en el bombeo proveniente de la rejilla y des-natador y el fluido posteriormente es filtrado para ser calentado. Esquemáticamente se presenta a continuación:

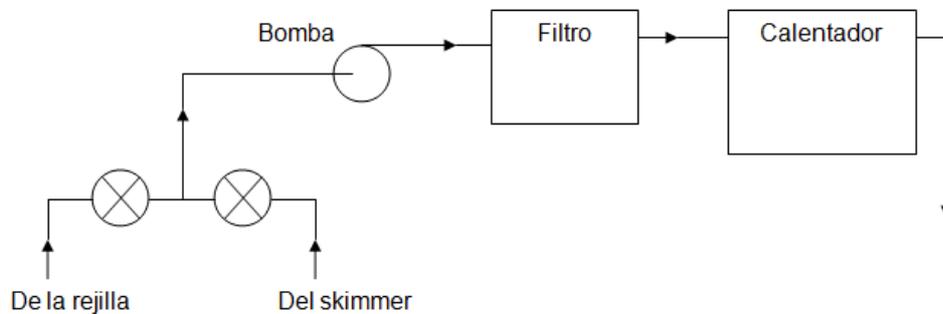


Figura 4.4. Esquema hidráulico convencional.

La instalación hidráulica mediante colectores solares convencional permite una caída de presión baja. Esquemáticamente se presenta a continuación:

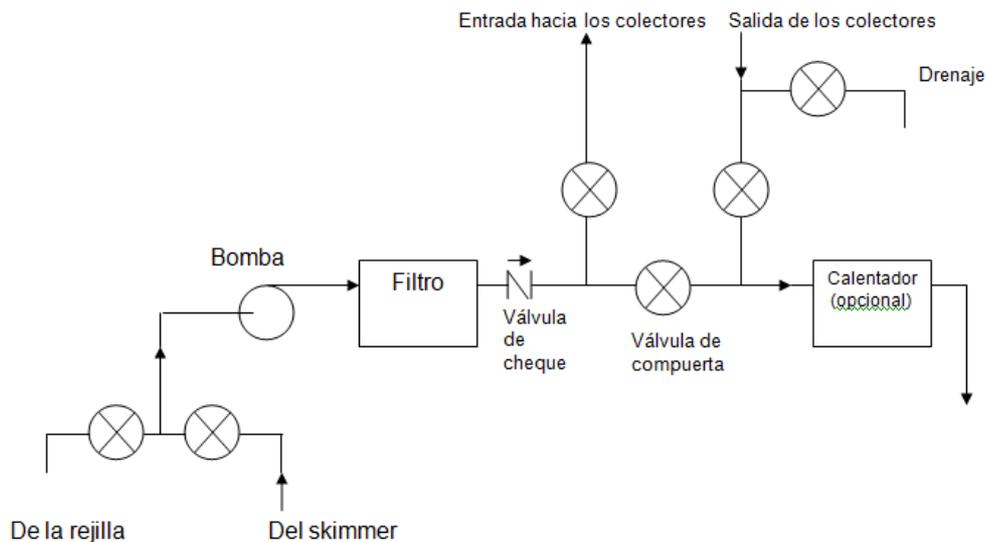


Figura 4.5. Sistema convencional⁴² de circuito hidráulico para climatizar piscina de caída de presión baja.

Con los elementos descritos anteriormente, un sistema de climatización mediante colectores planos solares se ilustra a continuación:

⁴² Existen otros sistemas de circuito que consiste en permitir una caída de presión alta para diferente aplicación. Revisar: SOLAR WATER & POOL HEATING & INSTALLATION & OPERATION. Florida solar energy center.

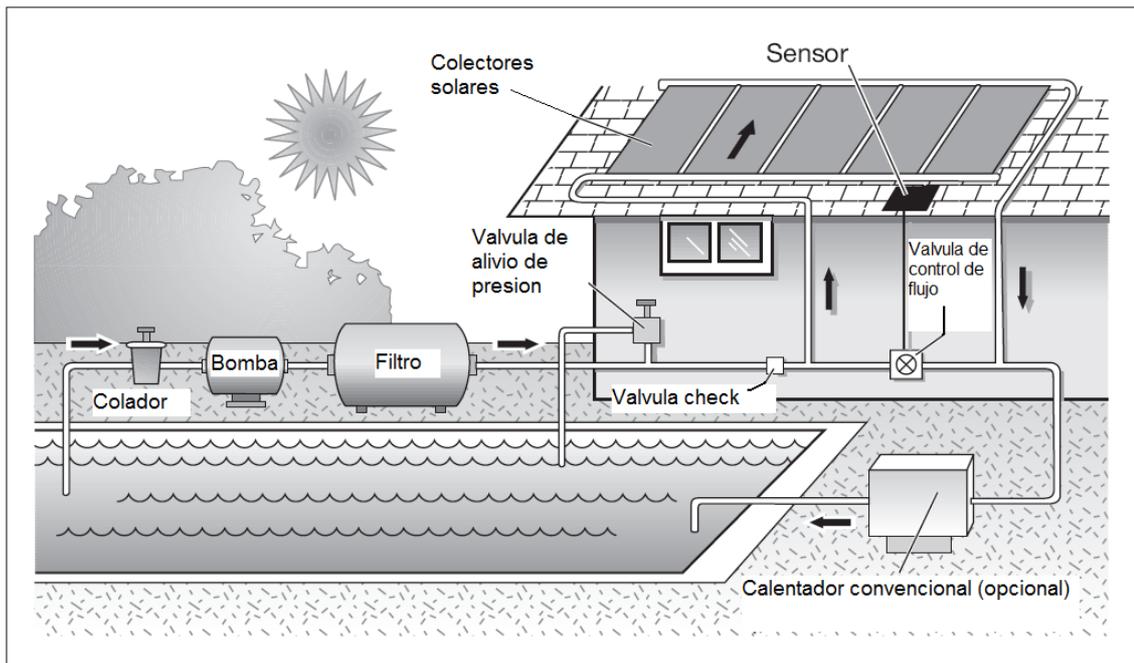


Figura 4.6.1. Sistema sencillo de climatización solar de una piscina.

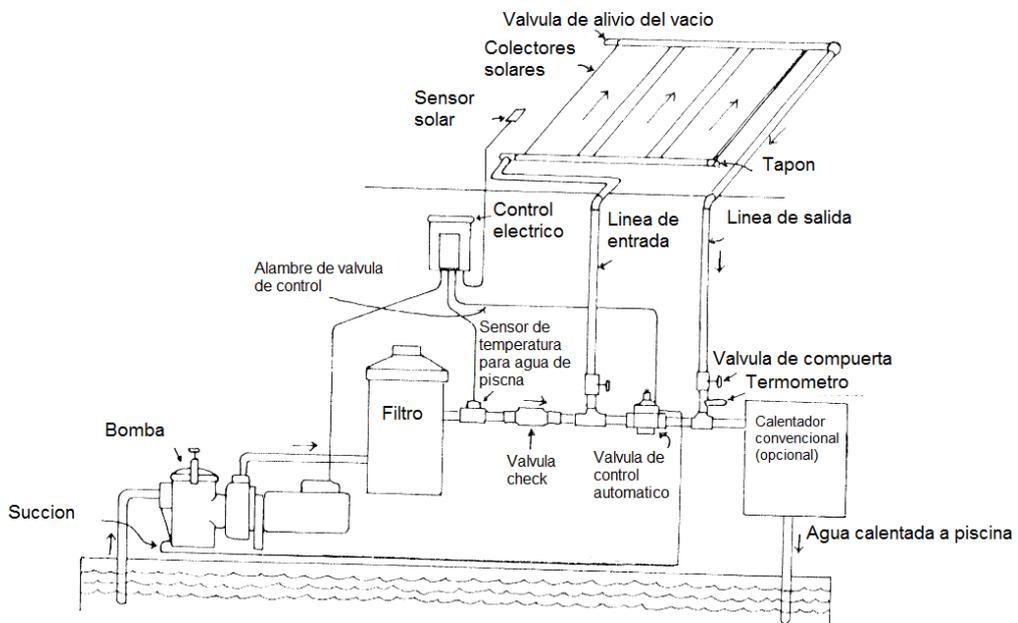


Figura 4.6.2. Sistema completo de climatización solar de una piscina.

3.2.1 Automatización del sistema de calentamiento y circulación del fluido.

El control de flujo de tipo manual o mediante la utilización de temporizadores analógicos o manuales es una forma simple y económica pero tiene sus desventajas. Los temporizadores no responden a cambios de clima, solamente el tiempo que implica un mal utilización de la bomba con energía solar insuficiente disponible. Una condición climática desfavorable producirá una pérdida energética en los colectores y aun más cuando se trata de colectores de baja temperatura. El control manual sobre pasa este limitación pero requiere más atención personal.

Los controles automáticos de flujo se encuentran disponibles en el mercado proveniente de varios fabricantes. Su instalación va en acorde de la esquemática instalación hidráulica de la figura 4.7.2.

Mediante un **control diferencial de temperatura o la utilización de un programador lógico de control (PLC)** se logra un óptimo desempeño. Un sensor, atrapado dentro de la línea de conducción (tubo) ubicado en un sitio adecuado adelante de la línea de regreso del colector, mide la temperatura del agua de la piscina. Otro sensor es encajado en un bloque de plástico y situado cerca del colector de tal forma que simula la temperatura del colector. Cuando la temperatura del agua excede la temperatura simulado o deseado, la válvula de control permanecerá en posición abierta, y se producirá un puenteo o bypass del flujo del enlace del circuito. En caso contrario, es decir la temperatura del agua es menor a la temperatura simulada, una energía útil será extraída del sistema con la válvula de control en posición cerrado obligando el flujo a través de los colectores y climatizando la piscina.

El control electrónico automáticamente se ajusta en los cambios de condiciones, monitorea las variaciones en la temperatura del colector causado por las nubes, y otros factores climáticos, y el porvenir del atardecer.

Cuando la temperatura del colector disminuye, el control des-energiza la válvula y el flujo atraviesa el puenteo o bypass del circuito. Las limitaciones de

la temperatura máxima de la piscina pueden ser programadas en algunos controles.

Los controles automáticos incrementan la eficiencia de los sistemas de calentamiento solar y son más convenientes de operar. Los colectores solares de baja temperatura cuando operan en un clima templado o “fresco” o en la presencia de lluvia pueden perder energía significativamente. Para prevenir esta ocurrencia, los controles asistan en mantener la piscina a la temperatura deseado. Un sistema apropiadamente instalado requiere únicamente ajustes temporales y bajo mantenimiento. Finalmente, la válvula de control puede ser de accionamiento hidráulico de tipo cilindro de caucho con globo expandible interno o pueden ser eléctricos mediante solenoides de activación.

3.2.2 Recirculación de agua fría.

El agua contenida de una piscina requiere ser recirculada para evitar estanquidad. Mediante un circuito hidráulico independiente, se logra tal recirculación. La forma del circuito hidráulico de recirculación es idéntica que el circuito de calentamiento o climatización (fig. 4.5).

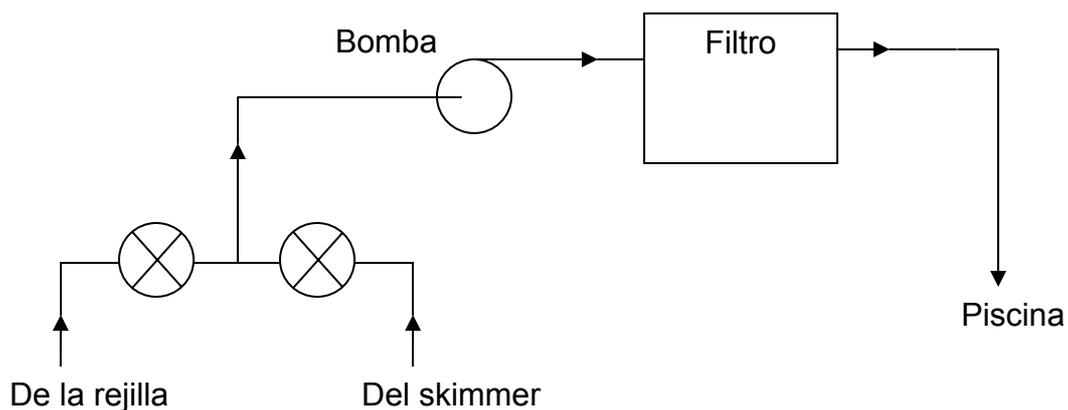


Figura 4.7. Circuito hidráulico de recirculación de agua fría de una piscina.

Para determinar el número de recirculaciones necesarias para la utilización de la piscina, las normas establecen la siguiente fórmula:

$$NR = \frac{Vp}{Qc * Tf} \quad (7.3)$$

Donde:

NR: número de recirculaciones en un día (aproximado al entero menor)

Vp: Volumen de agua contenido en el vaso de la piscina en galones.

Qc: Caudal de recirculación: 10 a 20 GPM (Galones/minuto)

Tf: Tiempo de funcionalidad de uso = 360 minutos/día (6horas/día)

3.2.3. Cálculo de la potencia para la selección de la bomba

Como en cualquier sistema de circuito hidráulico, en el diseño se requiere determinar la potencia requerida para seleccionar el tipo de bomba necesaria para la impulsión del fluido. La potencia es determinado en función de la pérdidas hidráulicas de los colectores y del circuito en si conformado por las tuberías y accesorios.

La potencia de bombeo se determina en forma de altura en un sistema hidráulico de circulación mediante la expresión de Williams & Hazem⁴³.

$$hB = hL + \left(\frac{P2-P1}{\gamma} \right) + \left(\frac{V2^2-V1^2}{2g} \right) + (Z2 - Z1) \quad (7.4)$$

Donde

hB: Altura de la bomba.

hL: Pérdida hidráulica por la longitud de recorrido del fluido.

P2-P1: diferencia de presión inicial y final respectivamente (tablas)

γ : Peso específico del fluido.

V1, V2: velocidades de conducción del fluido inicial y final respectivamente.

g: gravedad (9.8 m/s²).

Z1, Z2: alturas sobre nivel de la bomba de referencia inicial y final.

⁴³ Referencia: mecánica de fluidos.

La pérdida hidráulica por la longitud de recorrido del fluido, está en función de la velocidad de conducción, el diámetro de la tubería de conducción, factor de fricción del grado de rugosidad de la tubería, y el tipo de flujo (número de **Reynolds**).

El tipo de flujo, número de Reynolds se determina mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{Di\rho(vf)}{\mu} \quad (7.5)$$

Donde:

R: número de Reynolds (valor a dimensional).

Di: diámetro interno de la tubería.

ρ : densidad del fluido.

vf: velocidad del fluido = Q/A (caudal/área).

μ : viscosidad cinemática, para agua: 1.12×10^{-3} Pa.s

Si $R < 2000$, el flujo es laminar.

Si $2000 < R < 4000$, el flujo es de transición.

Si $R > 4000$, el flujo es turbulento.

El flujo de circulación de agua a través de las tuberías en las piscinas es de tipo turbulento, dado que maneja caudales elevados.

El factor de fricción f para flujo turbulento completo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7Di} \right) \quad (7.6)$$

Donde

f : Factor de fricción⁴⁴. (Valor a dimensional).

ϵ : Índice de rugosidad. Metal: = 150×10^{-6} pulgada. (3.81×10^{-7} m)

Di: Diámetro interno del tubo.

⁴⁴ El factor de fricción f , se puede obtener de forma práctica mediante el uso de los diagramas de moody (ver ANEXOS).

Definido el factor de fricción, se determina el factor de pérdida dado por la longitud de la tubería, y elementos de accesorio del circuito (válvulas, codos, uniones, etc.).

$$K = f \left(\frac{L_t}{D_i} \right) + f \sum N_a * P_a \quad (7.7)$$

Donde:

K: factor de pérdida⁴⁵

f: Factor de fricción. **(7.6)**

L_t: Longitud total del tubo del circuito.

D_i: Diámetro interno del tubo.

N_a: Número de accesorio.

P_a: Pérdida hidráulico del accesorio expresado en unidades de longitud.

Para determinar el factor P_a, pérdida hidráulica del accesorio expresado en unidades de longitud se recurre a uso de tablas (ver apéndice A).

Finalmente, la pérdida hidráulica por la longitud de recorrido del fluido se determina mediante la siguiente expresión:

$$hL = K \frac{V^2}{2g} \quad (7.8)$$

Donde:

hL: pérdida hidráulico por la longitud de recorrido del fluido.

K: factor de pérdida. **Ec.(7.7)**

V: velocidad de conducción del fluido.

g: gravedad (9.8 m/s²).

Definido hL de la ecuación 7.8, Se determina la altura h_B de la ecuación 7.4. La potencia de la bomba se calcula mediante la siguiente expresión:

⁴⁵ Para un filtro de arena, componente del sistema de circulación del agua, la pérdida hidráulica es de 15m (46 ft.). Para un calefón auxiliar la pérdida hidráulica es de 3.1m (10.2 ft.).

$$PB = \frac{hB \cdot \gamma \cdot Q}{nB} \quad (7.9)$$

Donde:

PB: Potencia de la bomba.

hB: Altura de la bomba. **(ec.7.4)**

γ : Peso específico del fluido.

Q: caudal del fluido.

nB: eficiencia de la bomba. (0.85 para servicio pesado).

3.2.3.1 Determinación de la potencia de la bomba hidráulica.

3.2.3.1.1 Datos

$Q_f := 20$ [Gal/min] caudal del agua del circuito

3.2.3.1.2 Cálculo de la pérdida hidráulica de un colector solar

$T_{col} := 22$ Número de divisiones "Tee" totales del colector

$\phi_{eq} := \frac{.75}{12}$ [ft] diámetro equivalente del colector

$L_{c1} := 6$ [ft] longitud 1 de recorrido de subida del colector

$L_{c2} := 4$ [ft] longitud 2 de división del colector

$\epsilon_{cu} := (5 \cdot 10^{-6})$ [ft] coeficiente de rugosidad para tubo cobre

$\mu_a := 2.3412 \cdot 10^{-5}$ [Lbf.s/ft²] viscosidad dinámica del agua

$\rho_a := 62.43$ [lb/ft³] peso específico del agua

$g := 32.17$ ft /s²

$V_{fc} := \frac{Q_f \cdot 231}{12^3 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{eq}^2}{4}}$ [ft/min] velocidad lineal de flujo, formula de caudal de flujo

$V_{fc} = 871.462$ [ft/min]

$NRe := \frac{\phi_{eq} \cdot \rho_a \cdot V_{fc}}{60 \cdot \mu_a}$ Número de Reynolds

$NRe = 2.421 \times 10^6$ Flujo turbulento

$$KT := 20$$

Factor K, longitud equivalente representativo L/D para accesorio "Tee"

$$f1 := \frac{1}{\left(-2 \cdot \log\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{3.7 \cdot \phi_{eq}}\right)\right)^2}$$

Factor de fricción para flujo turbulento

$$f1 = 0.011$$

$$KLc := f1 \cdot \left(\frac{Lc1 + 2Lc2}{\phi_{eq}}\right)$$

Longitud equivalente representativo L/D para recorrido

del colector

$$KLc = 2.573$$

$$KTc := KLc + f1 \cdot KT \cdot Tcol$$

$$KTc = 7.628$$

Factor de perdida para un colector, sin fricción f, K=694 o altura de perdida hf = 43.34 ft

3.2.3.1.3 Cálculo de la potencia del circuito de cobre

3.2.3.1.3.1 Datos

$$Nc := 20$$

Número de colectores

$$NT := 1$$

Número de tee del circuito

$$NC := 9$$

Número de codos del circuito

$$NRed := 2$$

Número de reducciones de cobre 1 - 3/4"

$$NVc := 1$$

Número de válvulas de cobre

$$Nuniv := 38$$

Número de universales de cobre

$$\phi_{cu} := \frac{1}{12} \text{ [ft]}$$

diámetro de la tubería

$$Lcu := 83 \text{ [ft]}$$

longitud de recorrido del circuito

$$Hcu := 20 \text{ [ft]}$$

altura de impulsión del fluido

$$hfil := 50 \text{ [ft]}$$

perdida hidráulica producido por el filtro

$$\Delta P := 11 \text{ [psi]}$$

diferencia de presión de entrada y salida (tablas de pérdidas de fricción ver ANEXOS)

3.2.3.1.3.2 Desarrollo

$$V_{fc2} := \frac{Q_f \cdot 231}{12^3 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{cu}^2}{4}} \text{ [ft/min]}$$

velocidad lineal de flujo

$$V_{fc2} = 490.197 \text{ [ft/min]}$$

$$N_{Re2} := \frac{\phi_{cu} \cdot \rho_a \cdot V_{fc2}}{60 \cdot \mu_a}$$

Número de Reynolds

$$N_{Re2} = 1.815 \times 10^6$$

Flujo turbulento

$$f_2 := \frac{1}{\left(-2 \cdot \log\left(\frac{\epsilon_{cu}}{3.7 \cdot \phi_{cu}}\right)\right)^2}$$

Factor de fricción para flujo turbulento

$$f_2 = 0.011$$

$$K_{cod} := 30$$

Factor de pérdida para accesorio codo

$$K_{red} := 0.05$$

Factor de pérdida para reductor gradual

$$K_{valv} := 13$$

Factor de pérdida para accesorio válvula de compuerta abierta

$$K_{univ} := 13$$

Factor de pérdida para accesorio universal

$$K_{Lcu} := f_2 \cdot \frac{L_{cu} + h_{fil}}{\phi_{cu}}$$

Factor de pérdida para recorrido del fluido

$$K_{Lcu} = 17.39$$

$$K_{Tcu} := K_{Lcu} + K_{Tc} \cdot N_c + f_2 \cdot (K_{univ} \cdot N_{univ} + K_{valv} \cdot N_{Vc} + K_{red} \cdot N_{Red} + K_{cod} \cdot N_c + N_T \cdot K_T)$$

$$K_{Tcu} = 182.221$$

Factor de pérdida (ec.7.7)

$$h_{Lcu} := K_{Tcu} \cdot \frac{\left(\frac{V_{fc2}}{60}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{Lcu} = 189.041$$

$$h_{B1} := h_{Lcu} + 144 \frac{\Delta P}{\rho_a} + \left[\frac{\left(\frac{V_{fc}}{60}\right)^2 - \left(\frac{V_{fc2}}{60}\right)^2}{2 \cdot g} \right] + H_{cu}$$

Ecuación de Bernoulli

$$h_{B1} = 236.655 \text{ [ft]}$$

altura representativa de la bomba

$$PB1 := \frac{hB1 \cdot \rho a \cdot Qf \cdot 231}{12^3 \cdot 33000}$$

Potencia de la bomba requerida

Los factores 231, 12^3 son de conversión.

$$1 \text{ Gal U.S} = 231 \text{ pulg}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 12^3 \text{ pulg}^3$$

$$1 \text{ HP} = 33000 \text{ ft-lb/min}$$

$$PB1 = 1.197 \text{ [HP]}$$

3.2.3.1.4 Cálculo de la potencia del circuito de PVC.

3.2.3.1.4.1 Datos

$$NTP := 5$$

Número de tee del circuito

$$NCP := 14$$

Número de codos del circuito

$$NRB := 2$$

Número de reducciones de borde (collarín)

$$NVcP := 2$$

Número de válvulas de PVC

$$\phi P := \frac{1.5}{12} \text{ [ft]}$$

diámetro de la tubería

$$LP := 47 \text{ [ft]}$$

longitud de recorrido del circuito

$$HP := 4 \text{ [ft]}$$

altura de impulsión del fluido

$$\Delta P_{pvc} := 1 \text{ [psi]}$$

diferencia de presión de entrada y salida

(Tablas de pérdidas de fricción ver ANEXOS)

3.2.3.1.4.2 Desarrollo

$$V_{fc3} := \frac{Qf \cdot 231}{12^3 \cdot \pi \cdot \frac{\phi P^2}{4}} \text{ [ft/min]}$$

velocidad lineal de flujo

$$V_{fc3} = 217.865 \text{ [ft/min]}$$

$$NRe3 := \frac{\phi P \cdot \rho a \cdot V_{fc3}}{60 \cdot \mu a}$$

Número de Reynolds

$$NRe3 = 1.21 \times 10^6$$

Flujo turbulento

$$\varepsilon P := 1 \cdot 10^{-6} \text{ [ft]}$$

coeficiente de rugosidad para tubo PVC

$$f_3 := \frac{1}{\left(-2 \cdot \log\left(\frac{\varepsilon P}{3.7 \cdot \phi P}\right)\right)^2}$$

Factor de fricción para flujo turbulento

$$f_3 = 7.79 \times 10^{-3}$$

$$K_{RB} := 0.5$$

Factor de pérdida para borde afilado (collarín)

$$K_{valvP} := 160$$

Factor de pérdida para accesorio válvula de compuerta semi-abierta

$$K_{LP} := f_3 \cdot \frac{L_P}{\phi P}$$

Factor de pérdida para recorrido del fluido

$$K_{LP} = 2.929$$

$$K_{TP} := K_{LP} + f_3 \cdot (K_{valvP} \cdot N_{VcP} + K_{RB} \cdot N_{RB} + K_{cod} \cdot N_{CP} + N_{TP} \cdot K_T)$$

$$K_{TP} = 9.48$$

$$h_{LP} := K_{TP} \cdot \frac{\left(\frac{V_{fc3}}{60}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{LP} = 1.943$$

$$h_{B2} := h_{LP} + 144 \frac{\Delta P_{pvc}}{\rho_a} + \left[\frac{\left(\frac{V_{fc}}{4 \cdot 60}\right)^2}{2 \cdot g} - \frac{\left(\frac{V_{fc3}}{60}\right)^2}{2 \cdot g} \right] + H_F$$

Ecuación de Bernoulli,

la velocidad final del collarín
corresponde a un diámetro de 1/2"

$$h_{B2} = 8.249 \text{ [ft]}$$

altura representativa de la bomba

$$P_{B2} := \frac{h_{B2} \cdot \rho_a \cdot Q_f \cdot 2.31}{12^3 \cdot 33000} \text{ [HP]}$$

potencia de la bomba requerida para

tramo de circuito de tubería de PVC

$$P_{B2} = 0.042$$

$$P_{BT} := P_{B1} + P_{B2}$$

Potencia total

$$P_{BT} = 1.239$$

$$P_{BF} := \frac{P_{BT}}{0.85}$$

$$P_{BF} = 1.457 \text{ [HP]}$$

Potencia de la bomba requerida para el calentamiento y recirculación del agua considerando una eficiencia del 85%

Finalmente se selecciona la potencia de la bomba para adquisición en el mercado de **1.5 HP**///

3.2.4 Determinación de la energía disipada por el circuito hidráulico

Existe pérdida energética que se disipa a la atmósfera dentro del funcionamiento del sistema de climatización de una piscina a través de las líneas de conducción metálicas (tuberías) que poseen un alto coeficiente de conducción térmica. Estas pérdidas se reducen mediante la utilización de aislamiento térmico forrado en su contorno. Para cuantificar ésta pérdida energética se recurre a la siguiente analogía eléctrica de transferencia de calor.

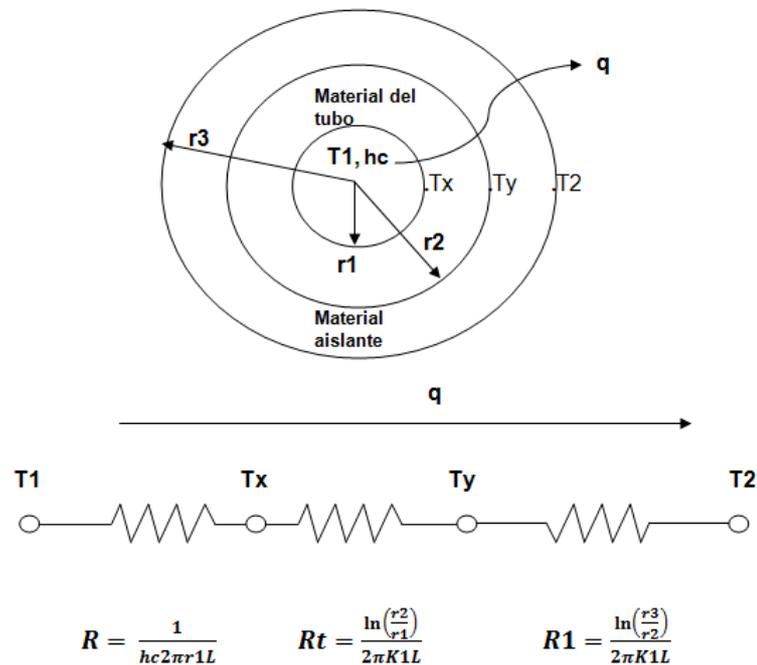


Figura 4.8 Circuito térmico en serie, geometría cilíndrica

El flujo térmico viene dado por:

$$q = \frac{T1 - T2}{\frac{1}{2\pi hc * r1 * L} + \frac{\ln\left(\frac{r2}{r1}\right)}{2\pi K1 * L} + \frac{\ln\left(\frac{r3}{r2}\right)}{2\pi K2 * L}} \quad (8.0)$$

Donde

q: flujo térmico disipado⁴⁶.

⁴⁶ F.Kreith, W.Z.Black , La transmisión del calor, principios fundamentales. pg. 53

T1: temperatura del fluido.

T2: temperatura de la superficie del aislante ≈ temperatura ambiente.

hc: coeficiente de convección del fluido dentro de la tubería.

r1: radio interno del tubo.

L: longitud de recorrido de la tubería.

r2: radio externo del tubo.

K1: conductividad térmica del tubo.

r3: radio externo del aislamiento térmico.

K2: conductividad térmica del material aislante.

3.2.4.1 Cálculo de las pérdidas energéticas en el circuito hidráulico.

3.2.4.1.1 Datos

$\phi_1 := 25.4$	[mm]	diámetro interno de la tubería
$\phi_2 := 28.57$	[mm]	diámetro externo de la tubería
$\phi_3 := 38.57$	[mm]	diámetro externo del aislante térmico
$K_1 := 392$	[W/m.K]	conductividad térmica de la tubería (cobre)
$K_2 := 0.05$	[W/m.K]	conductividad térmica del aislamiento térmico (goma esponjosa)
$L := 8$	[m]	longitud total de recorrido de la tubería expuesto libre
$Q_f := \frac{1.261667}{1000}$	[m ³ /s]	caudal de circulación en el circuito

3.2.4.1.2 Desarrollo

Procedimiento para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección en la tubería de cobre.

$$V_f := \frac{Q_f}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{\phi_1}{1000}\right)^2} \cdot \left(\frac{100}{2.54 \cdot 12}\right)$$

$$V_f = \frac{Q}{A}, \text{ ecuación de caudal de flujo}$$

$$V_f = 8.169 \quad \text{ft/s}$$

Velocidad del fluido dentro del tubo serpentín

$$t_f := 66 \quad \text{F}$$

Temperatura media de circulación del agua.

$$h_c := 5.672207641 \left[160 \frac{V_f^{0.8} \cdot (1 + 0.012 t_f)}{\left(\frac{\phi_1}{25.4}\right)^{0.2}} \right]$$

h para flujo turbulento en interior de tubos. Ecuación 6c Manual del ingeniero mecánico Marks transmisión de calor para conducción y convección pg. 4-63

$$h_c = 8728.67 \quad \text{W /m}^2 \text{ K}$$

$$h_{if} = \frac{160(1 + 0.012 t_f) V_f^{0.8}}{D_i^{0.2}}$$

tf: temp. Fluido (°F), Vf: velocidad fluido (ft/s), Di: diámetro del circuito (pulg), hif: Btu./h.ft².°F.

$$q_1 := \frac{1}{\frac{1}{2\pi \cdot \frac{\phi_1}{1000} \cdot L \cdot h_c} + \frac{\ln\left(\frac{\phi_2}{\phi_1}\right)}{2\pi \cdot K_1 \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{\phi_3}{\phi_2}\right)}{2\pi \cdot K_2 \cdot L}}$$

$$q_1 = 9.205$$

$$q = q_1 \cdot \Delta T$$

$$q = 9.205 \Delta T$$

$$\text{si } \Delta T = 1^\circ \text{C}$$

$$q = 9.20 \text{ W}$$

$$\text{si } \Delta T = 4^\circ \text{C}$$

$$q = 36.82 \text{ W}$$

La pérdida de energía oscila entre 9.20 a 36.82 W que disipa hacia la atmósfera (relativamente bajo).

3.2.5 Sistema de conexiones de los colectores solares

Los colectores solares se instalan de uno en continuación de otro en filas unitarias, las conexiones individuales entre cada colector se puede realizarlo en forma de serie, o paralelo o un sistema serie-paralelo (mixto) a continuación se presenta esquemáticamente:

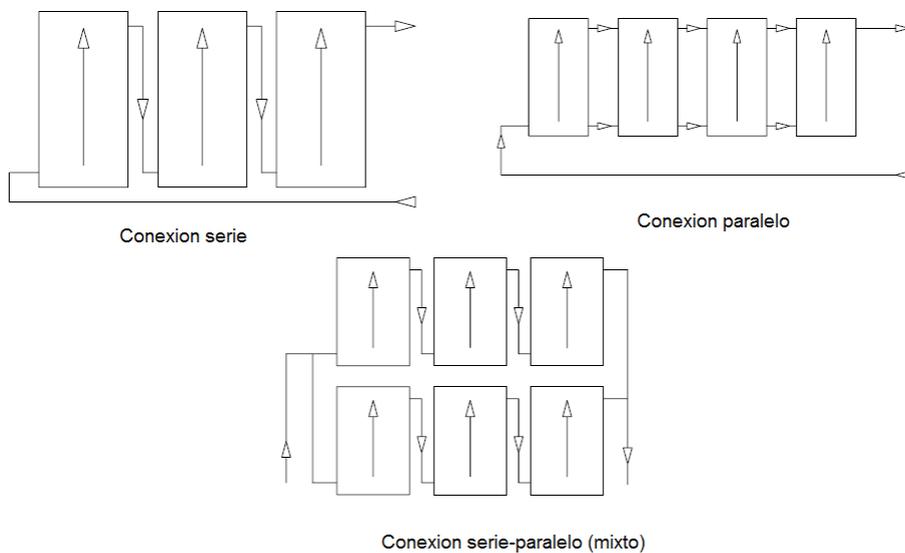


Figura 4.9. Conexión de los colectores solares.

Las instalaciones requerirán accesorios de circuitos hidráulicos, es decir válvulas, codos, T, etc. en las entradas y salidas en las distintas baterías de colectores con el fin de realizar aislamientos en labores de mantenimiento predictivo o correctivo. **En casos de conexiones en serie, los colectores no deben ser superiores a tres en una fila**, además cabe destacar que las conexiones en serie presentan problemas de drenaje para realizar acciones de mantenimiento y operan con bajas eficiencias para un calentamiento de alta demanda energética. Los colectores solares para climatizar piscinas generalmente se instalan de forma paralelo en donde su eficiencia se mantiene alta. Las conexiones en paralelo se deben realizar de tal forma que permite un **flujo balanceado** para uniformizar el caudal circulante en cada colector. Una

forma correcta de conexión en paralelo de los colectores que asegura un flujo balanceado se presenta mediante el grafico siguiente:

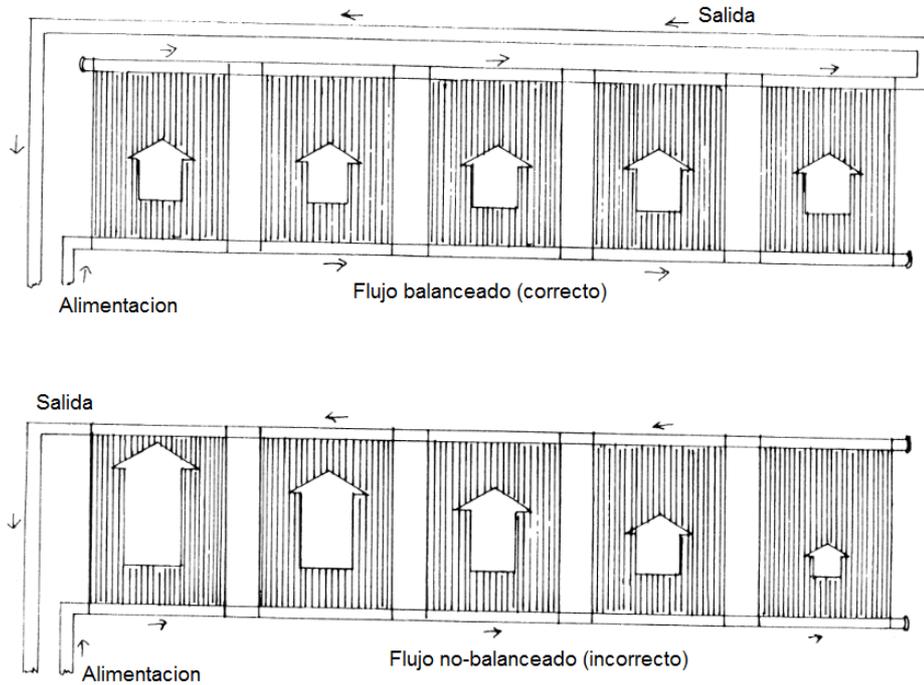


Figura 5.0. Instalación correcta en paralelo de los colectores.

Un sistema de conexión serie-paralelo se implementa para un sistema constituido por un alto número de colectores en donde un subconjunto de baterías conectados en paralelo es finalmente conectado entre sí en forma de serie donde nuevamente garantiza un flujo balanceado.

3.3 Diseño del sistema de colectores solares planos.

Esta sección corresponde al tema del proyecto. A continuación se define nuevamente la necesidad que se desea implementar:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL AGUA DE UNA PISCINA CON CAPACIDAD DE 60 m³, CON COLECTORES SOLARES PLANOS PARA LA QUINTA CARMEN, SECTOR UBICADO EN SELVA ALEGRE PROVINCIA DE PICHINCHA.

Como un antecedente, la infraestructura de la piscina ha sido construida anteriormente en un estado regular, *posee un azimut de superficie de 30° sur-este*. El agua que se desea utilizar es proveniente de una vertiente. Las características de entrada del sistema son:

Tabla 3.6. Características de entrada de diseño.

Coordenada geográfica	Lat.19' sur, long.78°31' oeste	
Temperatura del agua de la red o fuente	15°C	[59°F]
Temperatura promedio del aire	20°C	[68°F]
Tipo de clima de la zona	Ambiente húmedo, templado, de bajo estación seca, viento moderado.	
Largo de la piscina	9 ± 0.05 m	[29.5 ± 0.16 ft]
Ancho de la piscina	5 ± 0.05m	[16.4 ± 0.16 ft]
Profundidad promedio de la piscina	1.345 ± 0.105 m	[4.41 ± 0.34 ft]
Volumen de objetos en el interior del vaso de la piscina (gradas de concreto)	1.399 m ³	[49.41 ft ³]
Volumen neto del vaso de la piscina	59.13 ± 0.94 m ³ [2088.46 ± 33.25 ft ³] [15622.76 ± 248.72 gal]	

Los resultados para la climatización deseada se presentan a continuación:

Tabla 3.7 Resultados que se desea obtener de la climatización.

Temperatura de climatización	25 - 31°C	[77 -88°F]
Temporada de utilización	a lo largo de año	

3.3.1 Análisis

Puesto que la pérdida energética para un sistema con cubierta es menor que el sistema abierto (revise los cálculos de las pérdidas de energía en la sección 2.3.4), **se elegirá un diseño del sistema de climatización cerrado** (en acuerdo mutuo con el dueño de la piscina). Se diseñará el sistema con todas las necesidades requeridas para el usuario.

3.3.1.1 Descripción y justificación del diseño de climatización cerrado

El sistema cerrado constará de una edificación de azimut de superficie equivalente de la piscina construida basado de una estructura metálica⁴⁷ compuesto con hormigón armado con el techo inclinado de un ángulo de depresión de $13.8 \pm 1.2^{\circ}$ ⁴⁸ en donde se apoyarán los colectores. El techo parcialmente será de loza de hormigón armado (de un acabado de coloración gris-claro para intensificar el factor de albedo) como superficie de apoyo de los colectores, y otra porción parcial será construida en base de la colocación de superficies translúcidas con el propósito de brindar alumbrado natural, calefacción, una des-humectación significativa, y temperatura interior de confort natural proveniente del sol durante el día.

Los colectores solares poseen un dimensionamiento y material definido por el diseño térmico realizado. Su cantidad o número necesario para satisfacer la demanda energética será calculado más adelante, los colectores solares

⁴⁷ El diseño estructural, verificación de demanda y capacidad de cargas, selección de material, etc. Esta explicado en el capítulo siguiente.

⁴⁸ Este ángulo de selección explicado en el tema orientación e inclinación óptima de un sistema de aprovechamiento de la energía solar. Capítulo 2, Sección 2.2

planos se montarán sobre una estructura soporte metálica (explicado en la sección 3.4). En lo referente al sistema de circuito hidráulico, los conductos de agua caliente y accesorios de empate serán de material equivalente al serpentín de los colectores; es decir de cobre, para mantener una homogenización de materiales evitando fugas por dilatación de las mismas y evitar corrosión galvánica por contacto de otro metal. Además el circuito será de una configuración serie-paralelo con el fin de mantener un flujo balanceado de circulación. Así mismo, el sistema constará de una recirculación como toda piscina convencional, de agua fría o contenido del vaso con líneas independientes del material PVC de presión. El sistema de impulsión del fluido será mediante el uso de una bomba de caudal centrífugo eléctrico. La piscina constará de todos los elementos necesarios para su funcionamiento: desnatador (skimmer), mantas térmicas, aspirador de limpieza, filtro de arena. La automatización del sistema de climatización consistirá de un controlador lógico programable (PLC).

3.3.2 Determinación del número o cantidad de colectores solares para satisfacer la demanda energética de un sistema de aprovechamiento de la energía solar para climatizar una piscina.

Para la determinación del número o cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética, los factores o parámetros tomados en cuenta están destacadas en el capítulo 2 en lo referente a aprovechamiento de la energía solar, nuevamente destaquemos estos factores:

- El Punto geográfico de la zona.
- Horas de sol disponibles.
- Trayectoria aparente del sol para el punto geográfico (cartas solares).
- Cantidad de energía recibida por unidad de área y tiempo.
- Energía recibida a lo largo del día, mes, año.
- Factores micro climáticos.

Como se ha mencionado anteriormente, en los diseños de colectores solares planos, su área unitaria suele ser de 2 m². Involucrando los parámetros físicos

de una piscina para la determinación del número de colectores, éstas básicamente son:

- Área superficial de la piscina.
- Temperatura deseada de la piscina.

Existe básicamente 3 métodos de determinación del número de colectores necesarias para climatizar una piscina:

- Método por el área superficial de la piscina (método tradicional, directo y sencillo).
- Método analítico de cálculo termodinámico de relación de demanda energética y calor útil aportado unitario [Qd/ Qu] (método necesario).
- Método de determinación mediante el uso de software o programas solares: CENSOL.

3.3.2.1 Método por el área superficial de la piscina

Este método se basa en el grado de significancia mayor de las pérdidas energéticas de una piscina, es decir de la evaporación. Lo cual destaca lo siguiente:

Área superficial de la piscina \approx Área total de los colectores solares.

De esto se obtiene el número de colectores necesarios:

$$N_c = \frac{A_p}{A_c} \quad (8.1)$$

Donde:

Nc: Número de colectores aproximado al entero superior.

Ap: área superficial de la piscina.

Ac: área unitaria del colector.

Este método brinda una idea nominal del número de colectores necesarios para climatizar una piscina. Su desventaja principal es su baja consideración de la energía radiante aportada del sol que sufre constante variaciones en el transcurso el año, la eficiencia de los colectores, y la demanda energética.

Realizando el cálculo por este método propuesto se tiene:

Datos:

$A_p = 45.7025 \text{ m}^2$ área superficial de la piscina.

$A_c = 2.2 \text{ m}^2$ área unitario del colector solar.

Utilizando la ecuación: 8.1

$$N_c = \frac{45.7025}{2.2} = 20.77 \approx 21 \text{ colectores}$$

3.3.2.2 Método analítico de cálculo termodinámico de relación de demanda energética y calor útil aportado unitario [Qd/ Qu]

Este método consiste en calcular la demanda energética requerida para climatizar una piscina y calcular el *calor útil aportado de un colector* de dimensionamiento y material definido. Como involucra el cálculo de calor unitario, se requerirá el cálculo de radiación solar total del transcurso del año obteniendo valores globales mensuales y aplicar un criterio conservador de selección de la cantidad de radiación considerado.

El número de colectores se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_c = \frac{Q_d}{Q_u} \quad (8.2)$$

Donde:

N_c : Número de colectores aproximado al entero superior.

Q_d : demanda energética. **Ec. (7.2)**

Q_u : calor útil de un solo colector ($N_{cp}=1$). **Ec.(5.9)**

Este método involucra todos los parámetros descritos en lo referente al sistema de implementación para el aprovechamiento de la energía solar, de los colectores, y demanda energética, lo cual constituye a un método con datos resultantes confiables y reales.

Corolario:

En base de este método, el número de colectores puede ser determinado mediante la siguiente expresión:

$$N_c = \frac{Q_d}{S * n_{sc} * A_c} \quad (8.3)$$

Donde:

Nc: Número de colectores aproximado al entero superior.

Qd: demanda energética. **Ec.(7.2)**

S: radiación media anual. (4500 W-h para sector pichincha).

nsc: eficiencia energética del sistema de colectores. (60 – 80 %)

Ac: área unitario del colector.

A continuación, se procede a determinar el número de colectores por el método propuesto.

3.3.2.2.1 Radiación solar total del sector “Selva Alegre” -Sangolquí

En base de los parámetros descritos geográficas, climáticos se procederá a calcular la radiación solar total. El factor de albedo consultando la tabla 2.2, de una superficie de apoyo gris clara es: 45%, el número de horas reales de brillo solar para el Ecuador es de aproximadamente 4.8 horas. El cálculo se basa para todos los días del año⁴⁹, de lo cual se ha determinado un valor promedio mensual. En resumen, el valor promedio mensual se presenta a continuación mediante la siguiente tabla:

⁴⁹ Revisar hoja de cálculo de Excel en archivo magnético

Tabla 3.8. Radiación total mensual incidente sobre el sector Selva Alegre, provincia de Pichincha.

	Radiación total			
	[W-h/m ²]	[Ln] (langley)	[BTU/ft ²]	[MJ/m ²]
Enero	4554	392	1445	16.39
Febrero	4596	395	1458	16.54
Marzo	4508	388	1431	16.23
Abril	4231	364	1343	15.23
Mayo	3890	335	1234	14.00
Junio	3696	318	1173	13.31
Julio	3772	325	1197	13.58
Agosto	4065	350	1290	14.63
Septiembre	4377	377	1389	15.76
Octubre	4539	391	1440	16.34
Noviembre	4543	391	1442	16.35
Diciembre	4516	389	1433	16.26
Promedio	4274	368	1356	15.39

A continuación se procederá al cálculo de la cantidad o número de colectores solares requeridas para satisfacer la demanda energética mediante el método analítico de cálculo termodinámico de relación de demanda energética y calor útil aportado unitario [Qd/Qu], usando un criterio conservador, se seleccionara la radiación del análisis correspondiente del mes de Junio, es decir de 3696 W-h/m².

Descripción General del dimensionamiento y materiales utilizados del colector solar.

Tabla 3.9. Descripción general del colector solar

Colector (caja soporte)		
<i>Dimensión</i>	Métrico [m]	Americano
<i>Largo:</i>	2	6.56 ft
<i>Ancho :</i>	1.1	3.6 ft
<i>Alto :</i>	0.1	0.33 ft
Cubierta transparente		
<i>Clase:</i>	Vidrio templado	
<i>Número:</i>	1	
Placa absorbadora		
<i>Material:</i>	Aluminio	
Serpentin		
<i>Material:</i>	Cobre	
<i>Diámetro interno del serpentín:</i>	0.0127	1/2"
<i>Diámetro interno de tubo flauta:</i>	0.0254	1"
Aislamiento		
<i>Material:</i>	Poliuretano	
<i>espesor en la base:</i>	0.045	1.77"
<i>espesor lateral:</i>	0.03	1.18 "

Conocido la demanda energética (calculado en la sección 3.1), y calor útil de aporte de un colector (calculado en la sección 2.3.6), se determina el número necesario y suficiente de los colectores solares para la demanda energética: Usando la ecuación 8.2.

Datos:

Qd: 154 KW-h (demanda energética)

Qu: 7.642 KW-h (calor útil aportado de un colector)

$$N_c = \frac{154}{7.642} = 20.15 \rightarrow 20 \text{ COLECTORES}$$

Se requerirá el uso de 20 colectores por razones de mantener un número par para satisfacer la demanda energética.

3.3.2.3 Método de determinación mediante el uso de software o programas solares: CENSOL.

Este método consiste como en cualquier programa computacional, en introducir datos de entrada de la necesidad requerida y obtener un resultado. En la actualidad el programa solar más conocido y utilizado es CENSOL. Los datos de entrada requeridas para obtener el número o cantidad de colectores son:

- Área superficial de la piscina.
- Energía radiante solar global mensual del año de la zona geográfica.
- Temperatura deseada del agua de la piscina.
- Mes del año que se desea analizar.
- Datos característicos si se trata de un sistema abierto o cerrado.
- Área unitaria, inclinación, azimut de superficie del colector solar.
- Datos b, m característicos de la eficiencia del colector solar.

Este método presenta resultados de forma inmediata. Una desventaja mediante la utilización del programa solar CENSOL es su enfoque mayor de análisis para zonas geográficas ubicadas en el hemisferio norte, específicamente de España. El manejo de factores climáticos posee semejanzas pero no cifras exactas a los factores propios de las zonas ubicadas en el hemisferio sur, o para el Ecuador en la base de datos del programa.

A continuación se procede a la determinación del número de colectores mediante la utilización del programa solar CENSOL.

En la base de datos, se introduce: el nombre y latitud del sitio geográfico, las cantidades correspondientes de la radiación solar mensual de la tabla 3.8, una temperatura oscilante de ambiente de 17 a 23°C y una temperatura oscilante del agua de la red de la fuente entre 14 a 16°C.

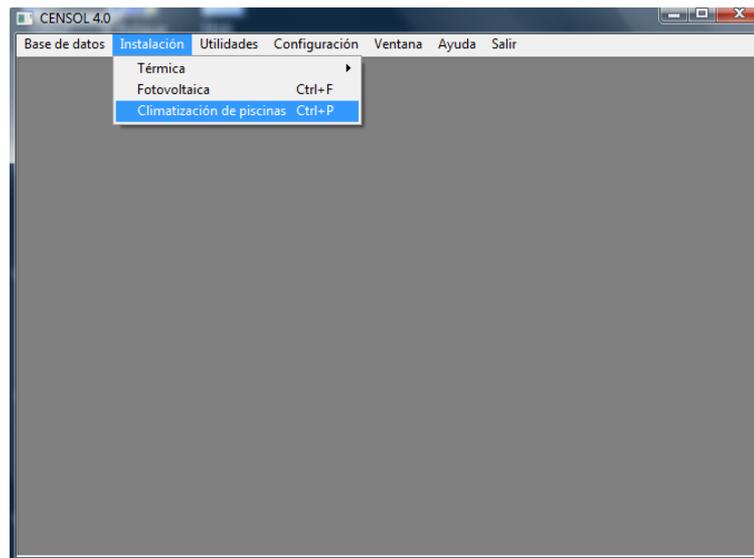


Figura 5.1 Programa solar CENSOL.

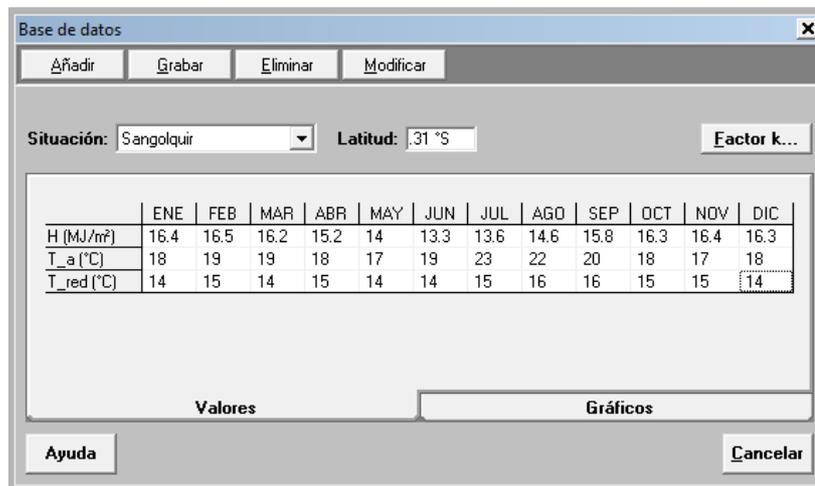


Figura 5.2. Entrada de datos en el programa solar: CENSOL

Observando el factor k se tiene:

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5°	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03
10°	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04
15°	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06
20°	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06
25°	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06
30°	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05
35°	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04
40°	0.98	0.91	0.81	0.69	0.58	0.54	0.57	0.67	0.8	0.92	1	1.02
45°	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99
50°	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96
55°	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92
60°	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21	0.26	0.39	0.56	0.73	0.84	0.87
65°	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82
70°	0.72	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77
75°	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71
80°	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1	0.1	0.1	0.26	0.46	0.6	0.64
85°	0.53	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58
90°	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51

Figura 5.3. Factor de corrección K⁵⁰

Ingresando en Ventana, opción Climatización de piscinas, se procede a introducir los datos correspondientes. Se considera una pérdida conservador máxima del 25%, los factores b, y m descritas en el análisis de eficiencia del colector son:

$$b = 0.956 * 1.01 = 0.965$$

$$m = 0.956 * 7.655 = 7.32$$

⁵⁰ Factor de corrección K es equivalente al factor de relación Rb descrito en el ecuación 3.6.

Figura 5.4. Datos resultantes de climatización considerando sin manta térmica.

Todos los métodos de determinación conllevan a un resultado de una misma tendencia, de entre 20 – 22 colectores para satisfacer la demanda. Se seleccionará una cantidad de 20 colectores, en base del cálculo del método de relación de la demanda energética y calor útil.

Definido el número de colectores requeridos para la demanda energética, el calor útil total de los (20) colectores es:

$$\begin{aligned}
 QuT &= 20 * 7.642 \\
 &= 152.84 \text{ KW-h/día.} \\
 &= 131\ 510 \text{ Kcal/día.} \\
 &= 522\ 070 \text{ Btu/día} \\
 &= 205 \text{ HP-h/día.}
 \end{aligned}$$

3.3.3 Factor sombra.

Dado que el espacio disponible para la instalación de los colectores solares tiene sus limitaciones por ejemplo, la presencia de un edificio alto del entorno, se deberá situar los colectores de tal manera que minimiza el efecto sombra del entorno; además de ello evitar que una hilera o batería de colectores produzcan sombras parciales entre sí por una fila subsiguiente.

El factor sombra se determina mediante *las cartas solares de tipo cartesiano* en donde se ubica los elementos del entorno (edificios, arboles, etc.) y se obtiene el perfil de obstáculos existente. Cabe mencionar en zonas geográficas situadas muy cerca de la línea ecuatorial como el Ecuador, las sombras producidas por los mismos colectores entre si son mínimas dados por el ángulo bajo de inclinación de apenas 10 a 15°.

3.3.4 Cálculos de des humectación

Para un estilo de confort de 27°C de aire, 65% HR y 25°C de agua; se destaca la masa evaporada del agua [Me] destacado en la sección de des humectación en base de un *número total de bañistas de 20*, se recuerda que el área superficial de la piscina es de 45.7025 m².

$$Me = 0.0458 \text{ Kg. /h/m}^2 * 45.7025 \text{ m}^2 = 2.1 \text{ Kg masa de vapor. /h (4.6 lb. /h)}.$$

Para un estilo de confort de 27°C de aire, 65% HR y 25°C de agua, la humedad absoluta es: 0.0225 kg agua / kg aire. Externamente la humedad relativa de la atmósfera para la provincia de Pichincha generalmente es de 60% a una temperatura de 20°C, consultando una carta psicométrica, la humedad relativa es de: 0.013 kg agua / kg aire su densidad es de 1.204 kg/m³, el caudal de aire exterior entrante (ec.4.3) es:

$$Va = \frac{2.1}{1.204 * (0.0225 - 0.013)}$$

$$= 183.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 51 \text{ litros/s.}$$

=108 ft³/min.

3.4 Diseño de la estructura soporte de los colectores

La necesidad de implementar una estructura soporte o base para acentuar los colectores tiene como objetivo de mantener una deshumectación o garantizar la sequedad de la base inferior del colector solar para evitar su corrosión u oxidación debido a filtraciones de aguas lluvia, además permite un aseguramiento total de fijación al suelo de los colectores con el ángulo de inclinación establecido para su funcionamiento. La estructura soporte metálica pueden ser diseñadas para un solo colector o para agrupar a varios. Dentro del diseño, los parámetros tomados en cuenta corresponde a los estudiados en lo referente a estructuras metálicas y mecánica de materiales: cargas vivas, muertas, capacidad, selección de materiales, etc.

Dentro de la realización del proyecto, existe dos estructuras metálicas soporte que agrupa a dos baterías de 10 colectores respectivamente, su configuración permite un ángulo de inclinación para los colectores de 10°. Esquemáticamente se presenta a continuación:

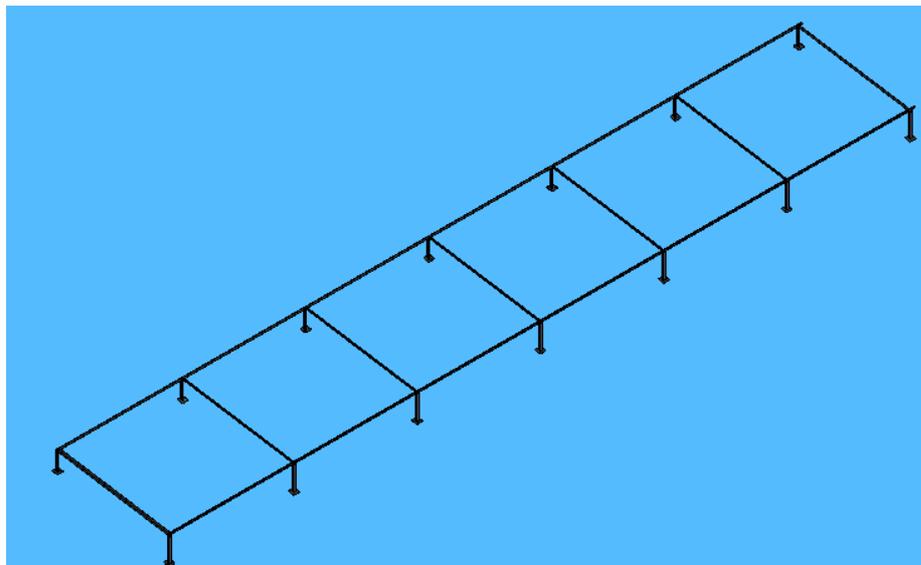


Figura 5.4.1 Estructura soporte para los colectores.

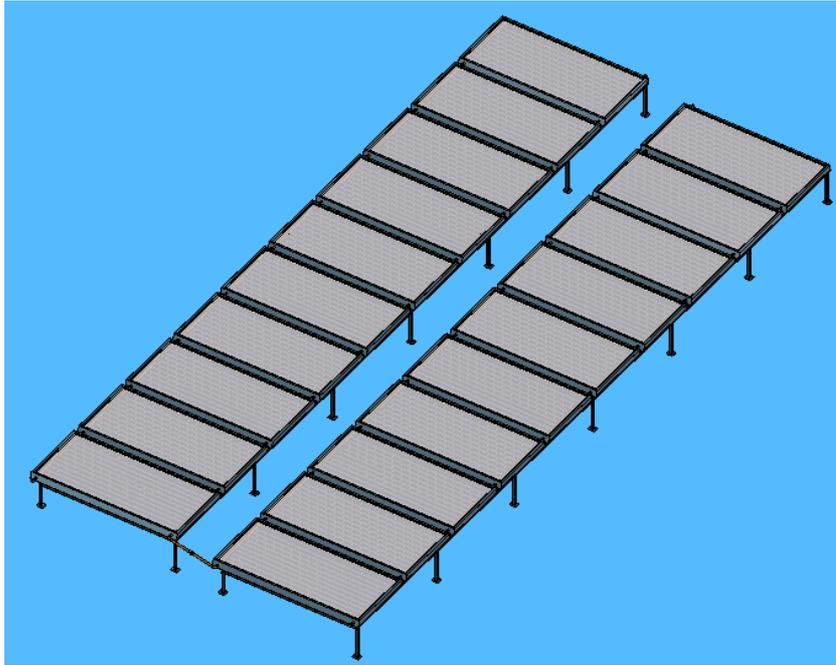


Figura 5.4.2 Montaje de los colectores sobre la estructura soporte.⁵¹

⁵¹ El dimensionamiento, vistas de la estructura metálica soporte se presenta en el apéndice A (ver anexos)

CAPITULO 4

DISEÑO ESTRUCTURAL

4.1 Definición de cargas

En el diseño de estructuras metálicas se toman en cuenta las cargas que resistirá la estructura tales como:

- Cargas Vivas
- Cargas Muertas
- Carga de Sismo
- Carga de Viento

Cargas vivas:

Las cargas vivas son en consideración las comunes que están presentes en la estructura como: fuerzas de apoyo de las personas, peso de losetas, inmobiliario. Estas cargas son indispensables en el diseño ya que representa el total de la fuerza aplicada en los elementos estructurales.

Cargas muertas:

Son aquellas que se mantienen en constante magnitud y con una posición fija durante la vida útil de la estructura; generalmente la mayor parte de las cargas muertas es el peso propio de la estructura. Es que puede calcularse con buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la

estructura y de la densidad del material. En el diseño de nuestra estructura el peso muerto contempla el peso de la estructura de las vigas.

Cargas de sismo:

Los sismos producen cargas sobre una estructura por medio de la interacción del movimiento del suelo y las características de respuesta de la estructura. Esas cargas resultan de la distorsión en la estructura causada por el movimiento del suelo y la resistencia lateral de ésta. Sus magnitudes dependen de la velocidad y tipo de aceleraciones del suelo, así como de la masa y rigidez de la estructura.

Estas cargas se pueden determinar como fuerzas estáticas horizontales aplicadas a las masas de la estructura, aunque en ocasiones debido a la altura de los edificios o esbeltez se hace necesario un análisis dinámico para determinar las fuerzas máximas a que estará sometida la estructura.

Cargas Eólicas o de Viento:

Cuando las estructuras impiden el flujo del viento, la energía cinética de éste reconvierte en energía potencial de presión, lo que causa la carga de viento. El efecto del viento sobre una estructura depende de la densidad y velocidad del aire, del ángulo de incidencia del viento, de la forma y de la rigidez de la estructura y de la rugosidad de su superficie.

4.2 Características de la estructura

El diseño de una estructura que cubra a toda la piscina y de soporte a un banco de colectores solares debe cumplir las siguientes características:

- Resistencia mecánica alta
- Robustez
- Facilidad de montaje
- Buena apariencia estética
- Cimentación adecuada

4.3 Orientación de la estructura

Para este tipo de captadores, la orientación es de mucha importancia ya que se debe aprovechar la radiación del sol para los paneles solares

Según la topografía del lugar, la ubicación de la piscina y los diagramas de recorrido solar se escogió la ubicación de azimut de Sur30°Este y un ángulo de declinación de la loseta de 15° aproximadamente, para ubicar los colectores solares, esto se logra con la colocación de un base más elevada que la siguiente.

Esta orientación permite captar mejor la radiación del sol para los meses de invierno donde los usuarios demandan mayor cantidad de agua caliente. Para los meses de verano la radiación baja ligeramente pero por las condiciones climáticas la temperatura del agua es la deseada.

En los siguientes gráficos se muestra la estructura vista desde varios puntos de vista:

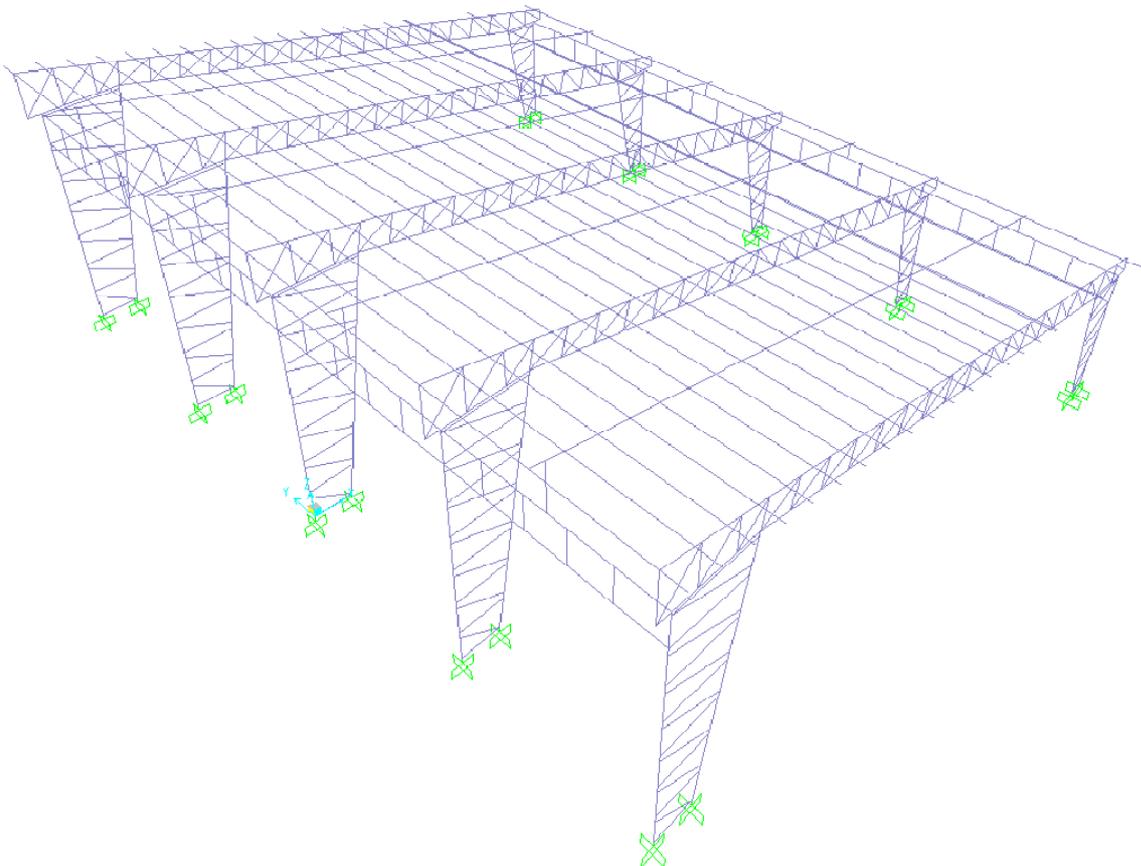


Figura 5.5: Estructura soporte de colectores en 3 dimensiones

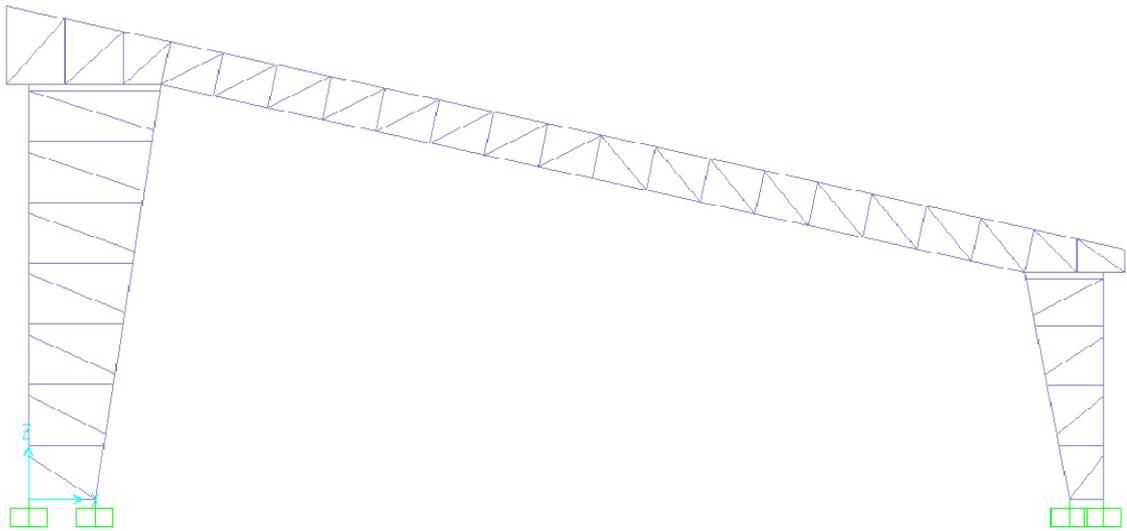


Figura 5.6: Estructura soporte vista frontal

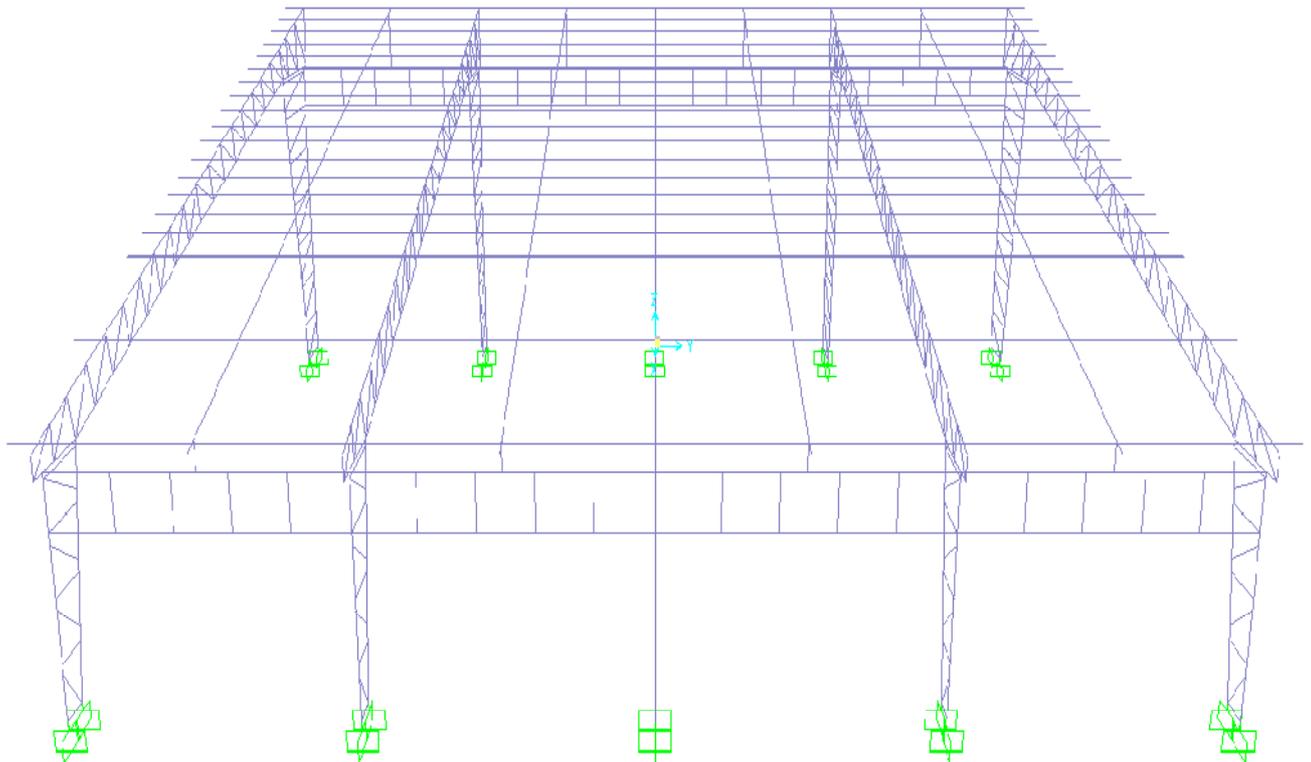


Figura 5.7: Estructura soporte vista lateral

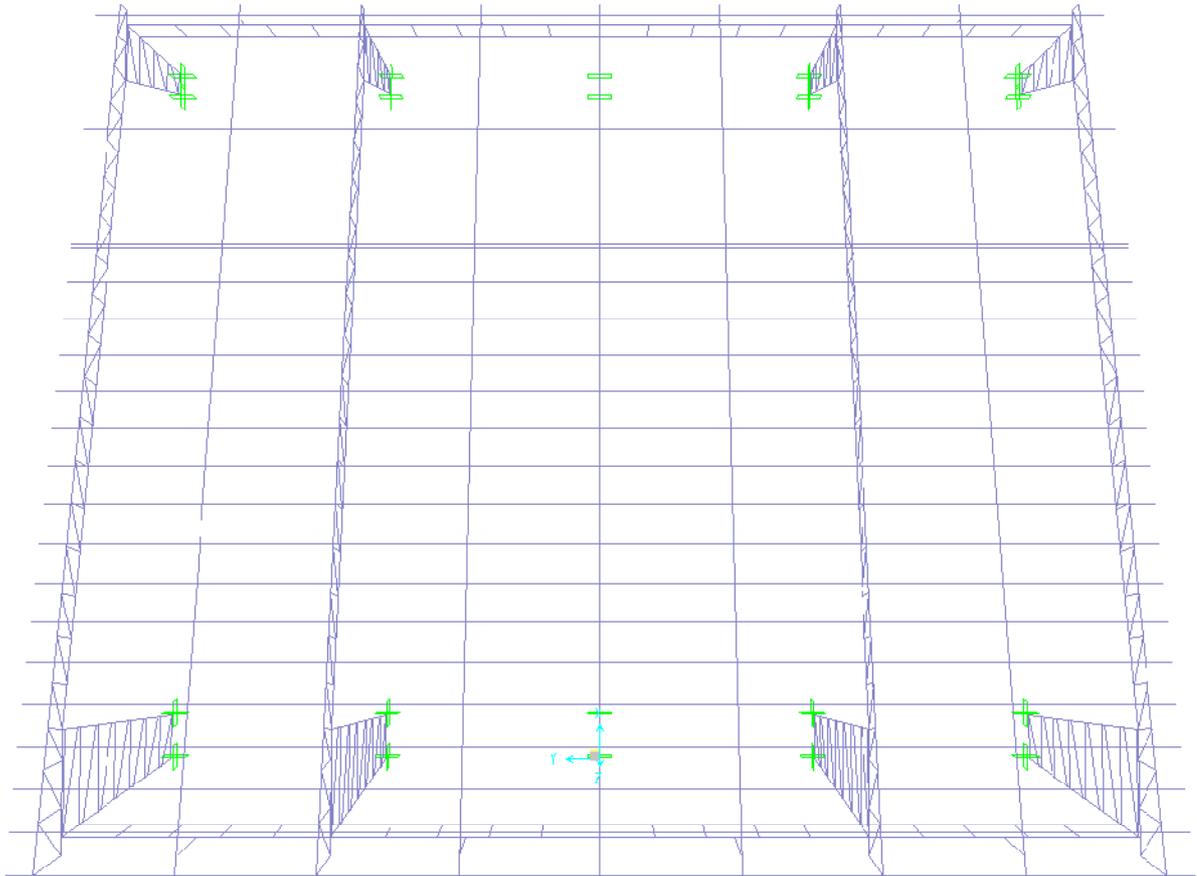


Figura 5.8: Estructura soporte vista superior

4.4. Selección de materiales

Para seleccionar los perfiles metálicos que formaran parte de la estructura se han tomado en cuenta las magnitudes de las cargas como el peso de: colectores solares, loseta, propio de la estructura. Como también fuerzas laterales de cargas vivas como viento, granizo, sismos entre otros. También es importante para el diseño, conocer los materiales que proporciona el mercado y que se encuentran disponibles.

A continuación se especifican los datos y valores de cargas para el diseño de la estructura:

Tabla 4.0: Cargas sobre la estructura soporte de colectores

CARGA	VALOR	TIPO	DIRECCIÓN
Peso de 20 colectores con agua	1000 kgf.	distribuida	Equivalente a la gravedad (-Z)
Peso de granizo, ceniza, etc.	1000 kgf.	distribuida	Equivalente a la gravedad (-Z)
Fuerza del apoyo de personas, viento y/o sismos	100 kgf.	puntual	Lateral en un solo sentido (-Y)
Peso de la loseta	11400Kgf	distribuida	Equivalente a la gravedad (-Z)
Peso propio de la estructura	490 kgf	distribuida	Equivalente a la gravedad (-Z)
Total	14000Kgf 14 ton		

Los elementos estructurales presente en la estructura se detallan en la siguiente tabla

Tabla 4.1. Características de los elementos estructurales.

Sección	Dimensión (mm)	No de Piezas	Longitud Total(m)	Peso Total (ton)
CANAL "U"	200 X 50 X 4 mm	30	107,7418	0,9877
ANGULO	1 1/4 x 1 1/4	205	107,98419	0,3388
CORREA G	150X50X15X3 mm	31	90,1224	0,5178
OMEGA	80x46x30x3 mm	40	240	1,2494
CORREA G	200X50X15X3	265	265,81713	1,8399
			Total	4,9336

Como se puede apreciar en la tabla, el peso de varios elementos ha sido tomado en cuenta como cargas distribuidas, lo cual se acerca mucho más a la realidad puesto que las cargas puntuales no reflejan los efectos precisos sobre

la estructura. Cabe indicar que las cargas distribuidas, como en el caso del peso de los colectores y el peso de granizo o ceniza, se han ubicado en las vigas longitudinales superiores de la estructura, que son las que soportan el peso directo de estas cargas, mientras que en el caso del peso propio de la estructura, todas las cargas se han distribuido en todas las vigas que son las que se ven afectadas por el efecto del peso.

Tomando en cuenta lo anterior, se ha procedido a obtener las magnitudes de las cargas distribuidas sobre los perfiles utilizados en la estructura:

Tabla 4.2: Cargas distribuidas sobre los perfiles de la estructura

CARGA	VALOR
Carga en omegas(35x50x20x3)	0,01 ton / m
Carga en vigas C (200x50x4)mm	0,03 ton / m
Carga en vigas C (150x50x3)mm	0,02 ton / m
Carga de: sismo, viento	0,01 ton

En los siguientes gráficos se muestra la ubicación de las cargas en la estructura:

4.5 Simulación en SAP 2000

Una vez definido el tipo de carga que recibirá la estructura, la selección de las vigas, y las fuerzas y cargas distribuidas que soportara la estructura, se procede a simular en el programa SAP 2000 para ver si los radios de esfuerzos en los elementos estructurales verifican que tan seguro es el diseño

A continuación se presentan las graficas del programa:

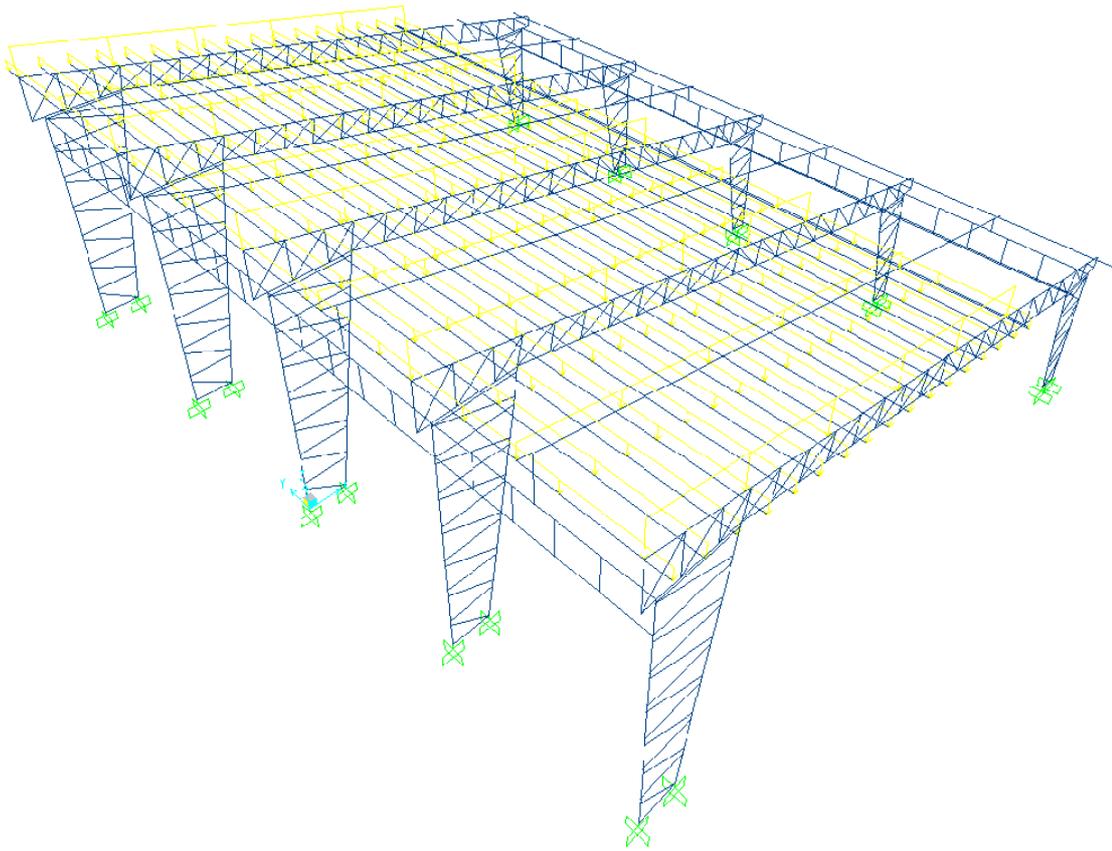


Figura 5.9: Ubicación de las cargas de: peso de los colectores, loseta, granizo.

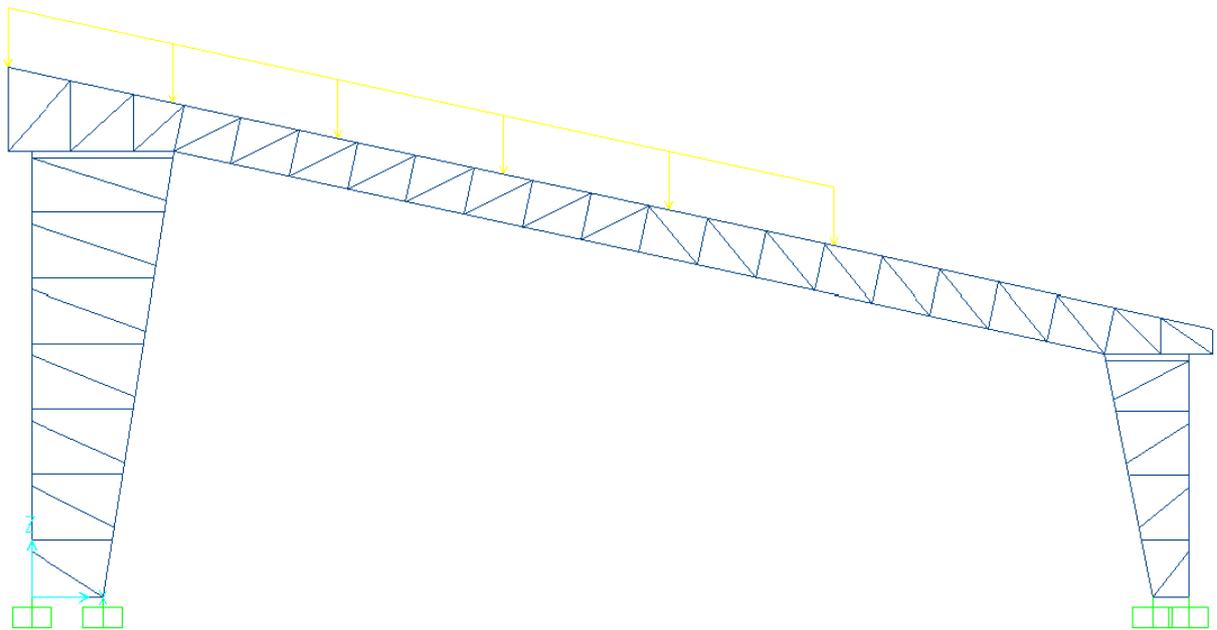


Figura 6.0: Ubicación de la carga distribuida vista frontal.

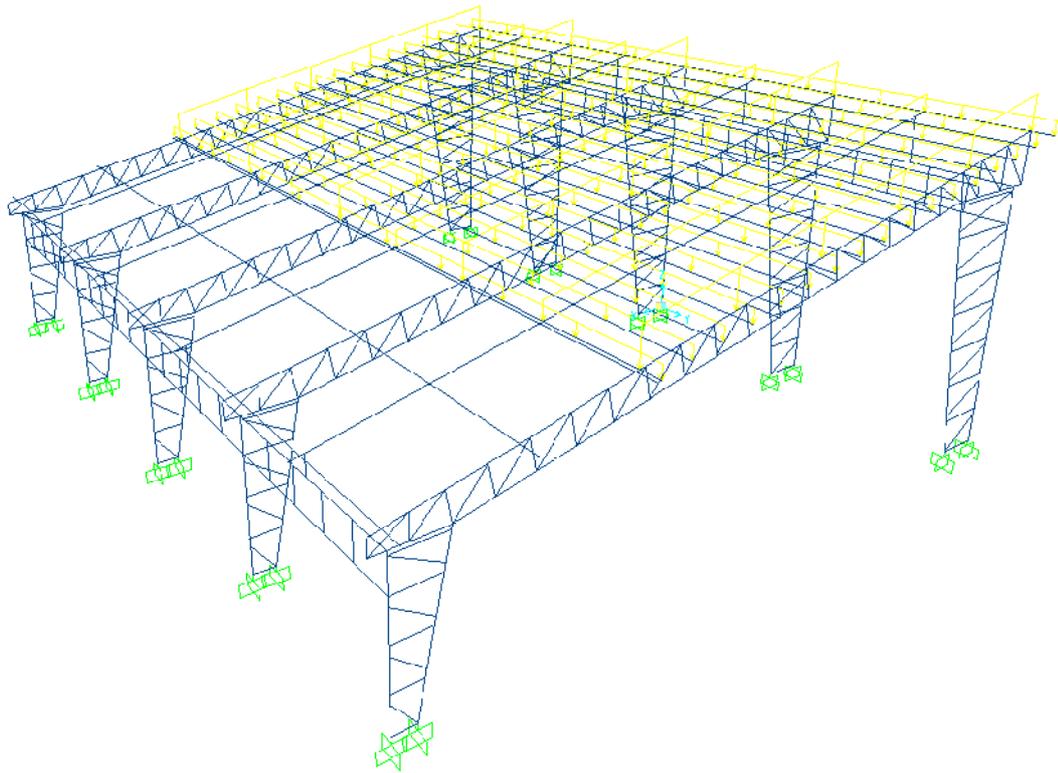


Figura 6.1: Ubicación de la carga distribuida vista isométrica.

Para la ubicación de las cargas de sismo y/o viento o sismo se ha decidido ubicar las cargas en los nodos superiores de la estructura, en la parte más expuesta hacia la acción del viento. Este valor se lo calcula con el programa SAP 2000, que nos presenta en sus funciones el peso total de la estructura y el peso muerto de la misma. Este valor lo multiplicamos por 20%, en valor referencial sobre diseño de estructuras y obtenemos la carga puntual, este valor se visualiza en la tabla 4.2.

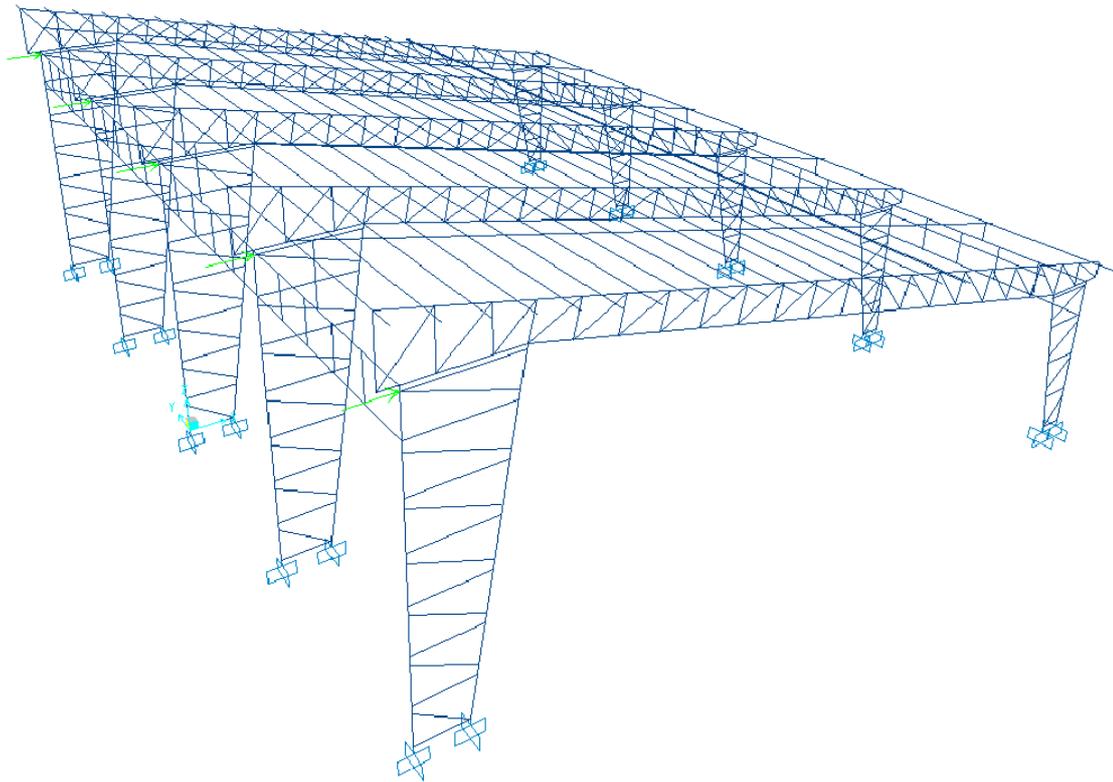


Figura 6.2: Ubicación de la carga puntual (sismo, viento) en flechas verdes

La simulación realizada en el programa SAP 2000 nos presenta que los radios de esfuerzo esta por el 50% de esfuerzo de su capacidad total y algunos elementos como los ángulo en la cercha presenta un valor superior al 70%. En los ángulos que presentaban esta característica se procedió a colocar refuerzos laterales.

El análisis de radios de esfuerzos proporcionado por el SAP2000 proporciona la seguridad de que el diseño de la estructura soporte de los colectores puede ser construida con el material y la sección transversal seleccionados como se puede apreciar en los planos en el anexo A1.

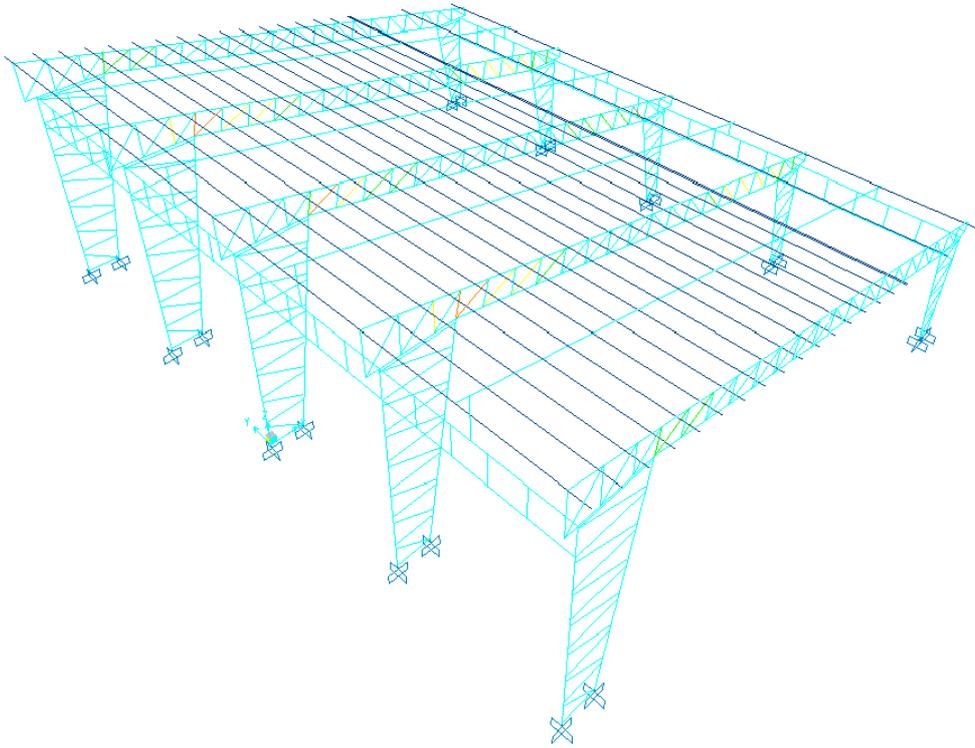


Figura 6.3: Diagrama de colores de radios de esfuerzos sobre los elementos estructurales.

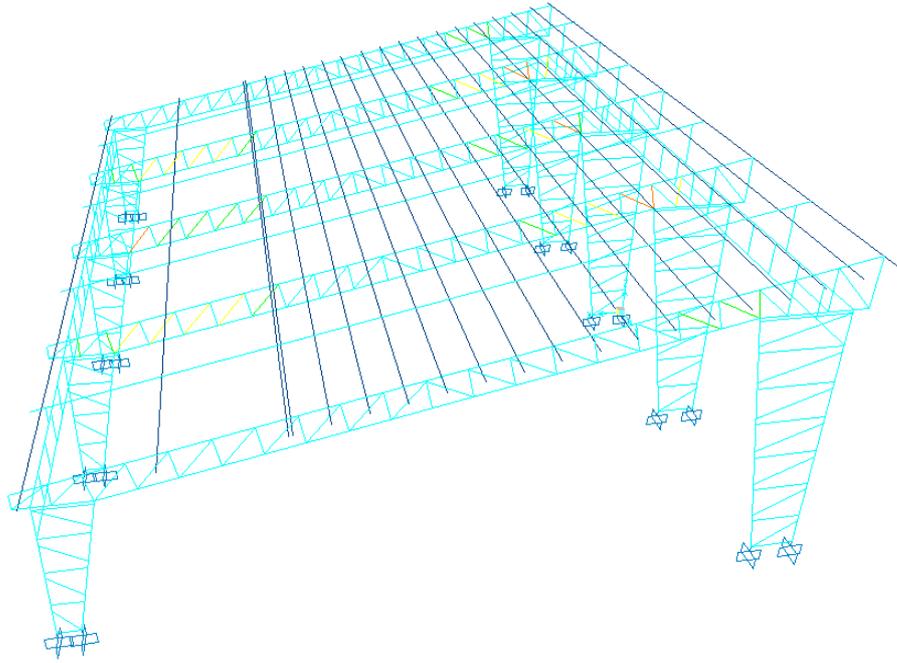


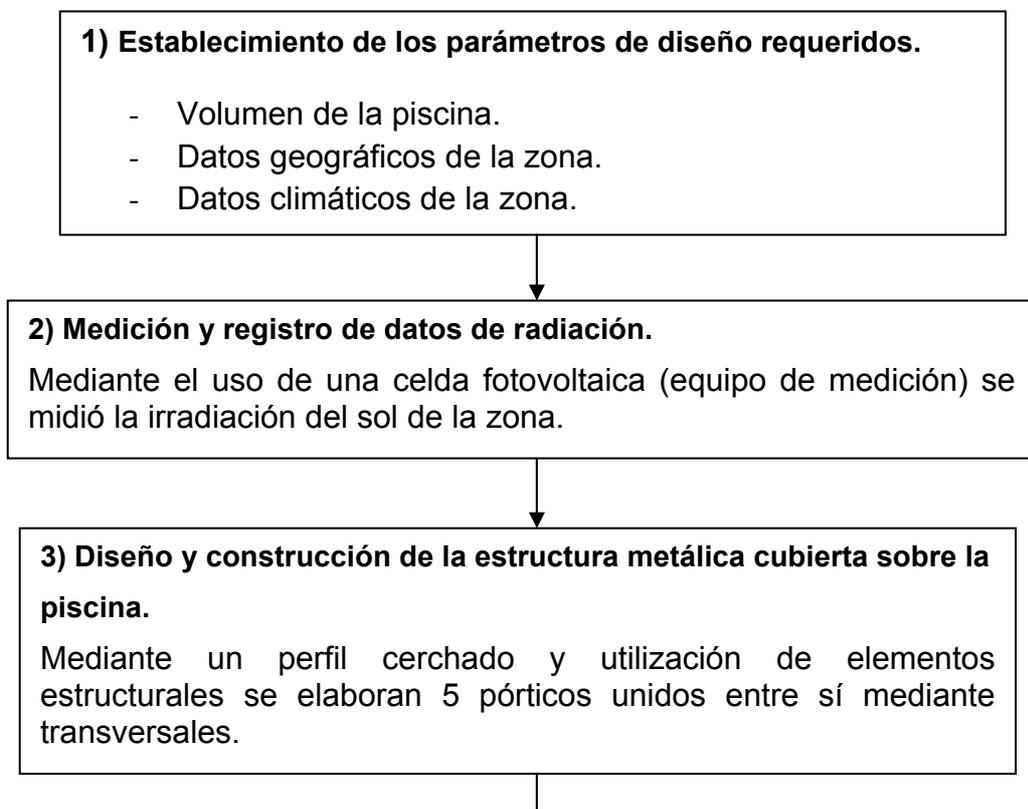
Figura 6.3.1: Diagrama de colores de radios de esfuerzos sobre los elementos estructurales. (vista en perspectiva)

CAPITULO 5.

CONSTRUCCION Y MONTAJE

5.1 Organigramas de proceso.

El proyecto realizado esta organizado mediante distintas etapas de construcción. A continuación se las menciona en el siguiente organigrama:



αα

4) Diseño y construcción de los colectores solares.

Definido la demanda y capacidad energética, se establece la cantidad requerida de colectores solares de dimensionamiento y materiales utilizados definidos. Se procede a la construcción de los colectores en un plazo fijado.

5) Diseño y construcción del sistema hidráulico de la planta baja.

- Realización de cavado y adecuación de infraestructura para la sala de máquinas donde se colocará la bomba y filtro.
- Realización de cavado para la instalación de tuberías de circulación de agua y accesorios (desnatador y rejilla).
- Instalación de tuberías y accesorios respectivos.
- Relleno o tapado del cavado con material de construcción.

6) Construcción de loza y paredes de encerramiento de la piscina.

Se realiza la edificación de encerramiento y establecimiento de la terraza de base sólida para los colectores.

7) Diseño y construcción de la estructura metálica soporte de los colectores.

Se elabora la estructura soporte sobre la terraza de una fijación sobre la base de forma emperrada y posteriormente revestida con pintura anticorrosiva.

8) Colocación de los colectores sobre la estructura soporte e instalación hidráulica.

- Se realiza el montaje de los colectores solares en dos series de 10 (batería).
- Se realiza los correspondientes empates de los colectores entres si y la unión de las dos baterías.
- Se realiza el empate final hacia las líneas de conducción de entrada y salida respectivamente.

αα

9) Adecuación de la infraestructura y piscina.

- Realización de acabado y pintado de paredes y estructura metálica.
- Acabado de las paredes del vaso de la piscina asegurando hermeticidad y construcción de rompe-olas en el contorno de la piscina.
- Colocación de baldosas en las paredes del vaso de la piscina.
- Colocación de una puerta de entrada/salida para usuarios.

10) Implementación del sistema eléctrico y automático de circulación del fluido

- Se establece las entradas de corriente con los dispositivos de seguridad eléctrica para la alimentación de la bomba de acuerdo con el manual establecido del fabricante de la bomba.
- Se coloca los sensores de entradas en el colector, línea de conducción de entrada y salida respectivamente.
- Se coloca el programador lógico de control (PLC) previamente establecido el sitio de colocación y cargado el programa de automatización. Se realiza los respectivos empates de entradas y salidas.

11) Llenado de la piscina.

Se permite el ingreso del agua en la piscina verificando el cierre de las válvulas de salida hacia el drenaje. El nivel del agua debe estar aproximadamente a 2" superior del nivel medio del desnatador.

12) Corrida del funcionamiento de climatización.

Se enciende el programa automático y se comprueba el calentamiento gradual de la piscina.

13) Monitoreo de la funcionalidad del sistema automático.

- Verificación de cero fugas de agua en las tuberías.
- Verificación del caudal y presión correcta de circulación de agua.
- Verificación del sellamiento de la cubierta transparente de los colectores solares ante la presencia de humedad.
- Verificación del calentamiento óptimo llevado a cabo con la automatización, si existe fallas se revisa los sensores, algoritmos de programa para su corrección.

**14) Medición y registro de datos.**

Nuevamente con el equipo de medición de radiación solar, se mide y registra los parámetros de entrada y salida de calentamiento para obtener eficiencias y verificar el correcto manejo del recurso energético.

5.2 Instalación de material cerámico.

La instalación de material cerámico tiene como objetivo en hermetizar las paredes internas del vaso de la piscina ante la presencia del agua contenida y aislar térmicamente las pérdidas energéticas por conducción. Antes de su instalación, se realizó un relleno de 8cm. para la hermeticidad de las paredes y suelo base con una mezcla de alta concentración de cemento. El área total para instalar el material cerámico en los paredes laterales es de 36 m². Y en la base y gradas el área total es de 47 m².

En lo referente a los lados laterales se ha colocado baldosas de coloración azul marino de área unitaria de 400 cm² y en la base y gradas una baldosa de coloración celeste de área unitaria de 961 cm². Durante su colocación se verifica el correcto asentamiento, uniformidad y distancia de separación. A continuación se presenta los siguientes materiales utilizados:

Tabla 4.3 Materiales utilizados para la instalación cerámica.

Número	Denominación	Cantidad
1	Baldosa azul de 20 x 20 cm	900 unidades
2	Baldosa celeste de 31 x 31 cm	490 unidades
3	Cemento	2 m ³
4	Masilla bondex relleno entre separación de baldosas	75 lbs

5.3 Instalación del sistema de tuberías carga y descarga del agua.

Basando en los criterios de diseño y parámetros descritos en la sección 3.2 en lo referente al diseño del sistema de tuberías para la admisión y salida del agua, el circuito hidráulico de una piscina consta de una sección para la climatización o calentamiento del agua y otra sección para la recirculación. El tipo de piscina que se desea climatizar es relativamente pequeña. El posicionamiento de los accesorios hidráulicos está de acuerdo al dimensionamiento superficial de la piscina y ubicación de la bomba. Basándose en un criterio de la cantidad necesaria de desnatadores o skimmer que consiste en colocar uno por cada 25m² de superficie de piscina, se decide la cantidad requerida de la misma. Los inyectores de agua caliente y fría deben ser puestos en el lado contrario del desnatador dado que los inyectores deben fluir el agua para alimentar al desnatador.

Con estas consideraciones, se ha determinado que la piscina debe poseer:

- **Un desnatador o skimmer**, puesto que la relación de área superficial de la piscina y los 25m² para cada desnatador (45/25) es 1 (aproximado al entero menor).
- Dos inyectores de agua caliente de ubicación simétrica en el lado contrario del desnatador.
- Dos inyectores de agua fría de ubicación simétrica en el lado contrario del desnatador.
- Una rejilla de drenaje.

Para minimizar el recorrido de desplazamiento del agua de los inyectores hacia el desnatador se establece que ambos accesorios estén puestos en lo ancho de la piscina (5 m).

Como se ha mencionado antes, la piscina ha sido construida anteriormente; la ubicación de la rejilla drenaje ha sido definido y se mantiene su posición para ubicar la sala de máquinas y distribución de las salidas. La ubicación de los inyectores se ha colocado lo más cerca de la bomba posible para reducir las pérdidas hidráulicas.

Esquemáticamente se presenta a continuación la ubicación de los accesorios y elementos mencionados.

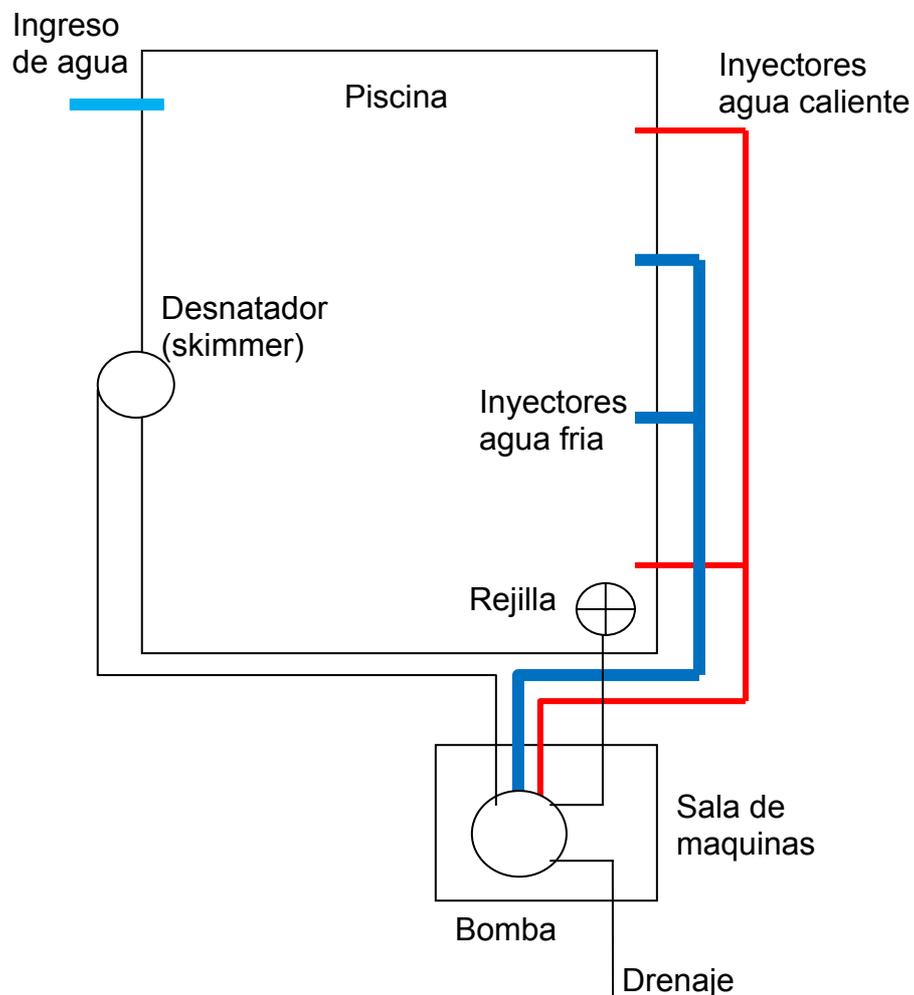


Figura 6.4 Esquema general del circuito hidráulico de la planta baja.

En lo referente a la instalación hidráulica de los colectores solares, se lo menciona en el siguiente punto (5.4). El listado de materiales e insumos para la

realización total del circuito hidráulico se presenta en el apéndice A (planos de construcción) en el código de plano: DC-CH-08-1/1.

5.4 Construcción e instalación de los colectores solares planos.

En lo referente a la construcción, se estableció los parámetros de diseño térmico y selección de materiales basadas en el presupuesto para la realización de las mismas. Los materiales utilizados para la construcción de los colectores son consideradas de buena selección y convencionales. Cabe destacar que un factor clave para una mayor asimilación de captación de energía solar en el diseño de los colectores es en el incremento significativo del área unitaria del 10% de cada colector en relación de los colectores que se diseñan. Otro factor de consideración es en el aumento de los tubos serpentín que permite una mayor circulación de agua en cada colector sin reducir significativamente el factor de remoción. Nuevamente se destaca la descripción de la construcción del colector solar plano mencionado en el punto (3.3).

Tabla 4.4. Descripción constructiva del colector solar.

Colector (caja soporte)		
<i>Dimensión</i>	Métrico [m]	Americano
<i>Largo:</i>	2	6.56 ft
<i>Ancho :</i>	1.1	3.6 ft
<i>Alto :</i>	0.1	0.33 ft
Cubierta transparente		
<i>Clase:</i>	Vidrio templado de e=4mm	
<i>Número:</i>	1	
Placa absorbadora		
<i>Material:</i>	Aluminio (acanalado)	
Serpentín		
<i>Material:</i>	Cobre	
<i>Diámetro interno del serpentín:</i>	0.0127	1/2"
<i>Diámetro interno de tubo flauta:</i>	0.0254	1"
Aislamiento		
<i>Material:</i>	Poliuretano	
<i>espesor en la base:</i>	0.045	1.77"
<i>espesor lateral:</i>	0.03	1.18 "

Los colectores solares se instalaron sobre la estructura soporte metálica previamente fabricado y montado. Como se destacó en la sección (3.3), los 20 colectores están instalados hidráulicamente de forma paralelo-serie para mantener un flujo balanceado equilibrado para cada colector. Para facilidad de empate y desarme de los colectores, se utilizó universales de bronce. A continuación se presenta esquemas de construcción de los colectores solares e instalación.

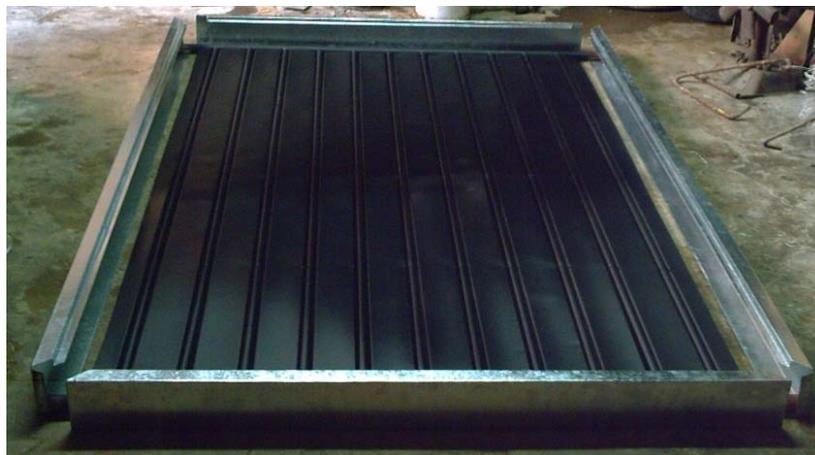


Figura 6.5.1 Construcción y armado del colector solar



Figura 6.5.2 Colectores solares terminados.



Figura 6.5.3 Montaje e instalación de los colectores solares.

Los planos constructivos, diagrama de proceso del colector solar se especifica al detalle en el apéndice A1 (planos) en los códigos de plano: DC-CSP-08-1/4, DC-CSP-08-2/4, DC-CSP-08-3/4, DC-CSP-08-4/4.

5.5 Construcción de la estructura soporte.

5.5.1 Estructura metálica cubierta de la piscina.

La estructura metálica consta de 5 pórticos separados a 3m unidos entre sí mediante transversales. Posee un ángulo de inclinación de $13.8\pm 1.2^\circ$. La configuración de sus elementos estructurales es de forma cerchada de forma Warren en el miembro superior y en las columnas. Los elementos estructurales utilizados son:

- Vigas de perfil G de 200x50x4
- Vigas de perfil C de 150x50x4
- Angulo estructural de 11/4".
- Omega de 50x80x3.

Todos los elementos estructurales son homogéneas (mismo material), se selecciono el acero A36. El orden de seguimiento de la construcción de la estructura metálica se presenta a continuación:

1. Construcción de las columnas extremos de tamaño inferior, total: 5.
2. Asentamiento de las columnas extremos de tamaño inferior hacia las bases previamente preparadas, Total 5.
3. Construcción de las columnas extremos de tamaño superior, total: 5.
4. Asentamiento de las columnas extremos de tamaño superior hacia las bases previamente preparadas Total: 5.
5. Construcción de los transversales para las columnas superior e inferior, total: 8.
6. Montaje y unión por medio de soldadura SMAW de los transversales hacia las columnas Total: 8.
7. Construcción del miembro superior del pórtico, total: 5.
8. Levantamiento, montaje y unión por medio de soldadura SMAW del miembro superior del pórtico hacia la columna superior e inferior respectivamente, total: 5.

9. Construcción del pórtico intermedio (entre columnas sobre transversal), total: 4.
10. Montaje y unión por medio de soldadura SMAW del miembro estructural omega sobre los pórticos.

Con los pasos descritos anteriormente, se muestra el resultado obtenido:

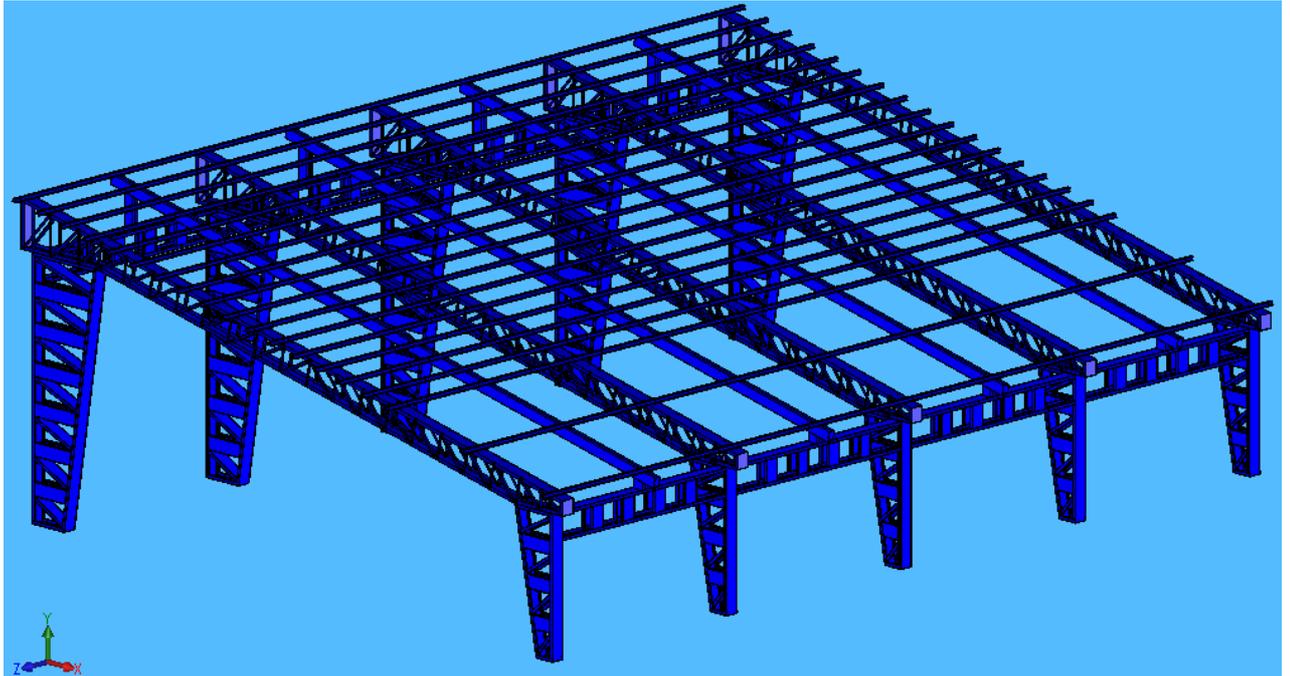


Figura 6.6 Estructura metálica cubierta.

Los planos constructivos, diagrama de proceso de la estructura metálica se especifica al detalle en el apéndice A (planos) en los códigos de plano: DC-ESM-08-1/1.

5.5.2 Estructura metálica soporte de los colectores.

La estructura soporte de los colectores solares agrupa a 10 elementos. Su diseño y construcción consiste en marcos estructurales en donde se asienta cada colector. Dado que el posicionamiento de los colectores es inclinado (10°), se requiere un sistema de sujeción adecuado. En la sección de apoyo

superior, se eligió un sistema de apoyo simple⁵², y en la sección inferior, se eligió un sistema de doble apoyo dado que se requiere de una sujeción que mantiene el colector asentado y otra sujeción para impedir el deslizamiento por el grado de inclinación. Mediante el uso de ángulos y tees estructurales, se logró estas condiciones. El sistema de sujeción de la estructura soporte de los colectores hacia el suelo base (terraza) es de forma empernada. Así mismo, el soporte de los colectores permite un levantamiento de 35cm de los colectores sobre el suelo base lo cual permite una circulación libre de aire e impedimento de acceso de humedad hacia el interior de los colectores producido por las aguas lluvias. Los materiales utilizados para manufacturar la estructura soporte de los colectores solares se presenta a continuación:

Tabla 4.5. Materiales utilizados para elaborar la estructura soporte de los colectores.

Número	Denominación	Cantidad
1	Angulo estructural de 1 1/4" x 1/8", barra de 6m	11
2	Tee estructural 1" x 3/4" x 1/8", barra de 6m	3
3	Placa acero A36 9x10x0,3 cm	28
4	Pernos y taco Fisher de 3/16"x1 1/4"	84

Las fases de construcción de la estructura soporte de los colectores se presenta a continuación:

⁵² Un apoyo simple permite un solo fuerza de reacción (Fuerza Normal), Apuntes de Estática.



Figura 6.7.1 Elaboración del marco estructural y sujeción de placas base.



Figura 6.7.2 Elaboración y soldada de soportes (patas).



Figura 6.7.3 Soldada del marco, montaje y soldada de los transversales e instalación de los colectores solares.



Figura 6.7.4 Esquema final de los colectores sobre el soporte metálico.

Los planos constructivos, diagrama de proceso de la estructura metálica soporte de los colectores solares se especifica al detalle en el apéndice A (planos) en el código de plano:

DC-CSP-08-4/4

5.6 Instalación del sistema de control.

El sistema de control para climatizar la piscina mediante energía solar se ha realizado mediante la utilización de un programador lógico de control (PLC). Dado que el funcionamiento de los sistemas solares de calentamiento están en función de la presencia del sol que durante el día sufre variaciones ante la presencia de factores climáticos impredecibles, el sistema automático permite la optimización del aprovechamiento adecuado en las situaciones ideales. El PLC consta de los siguientes elementos de entrada y salida respectivamente:

Entradas:

- 1 sensor de señal analógica para medir la temperatura de la piscina tipo Pt100.
- 1 sensor de señal analógica para medir la temperatura de la cubierta transparente del colector solar tipo Pt100.
- 1 sensor de señal analógica para medir la temperatura de la salida del agua de los colectores solares tipo Pt100.
- 1 interruptor de señal digital para asignar el tipo de mando que se desea ejecutar.

Salidas:

- 1 interruptor de señal digital para ejecutar el encendido del motor de la bomba.
 - 5 memorias de señal.
- Los sistemas de accionamiento de apertura y cerrado de las válvulas del circuito hidráulico son de forma manual, lo cual implica la regulación de caudal, presión de circulación mediante la intervención de un operador o un asistente. Por lo general, las válvulas del circuito hidráulico se mantienen siempre en el mismo posicionamiento de apertura estas son:

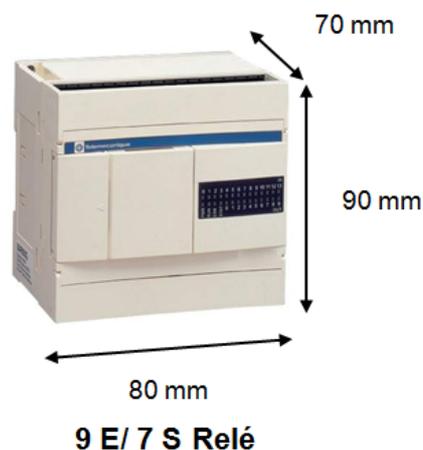
La válvula que acciona el paso del agua hacia los colectores esté totalmente abierta.

La válvula que acciona el paso del agua del desnatador hacia la trampa de succión de la bomba esté semi-abierta ó totalmente abierta.

La válvula que acciona el paso del agua de la rejilla hacia la trampa de succión de la bomba esté semi-abierta ó totalmente abierta.

La válvula que acciona el paso del agua hacia los inyectores para la recirculación esté semi-abierta.

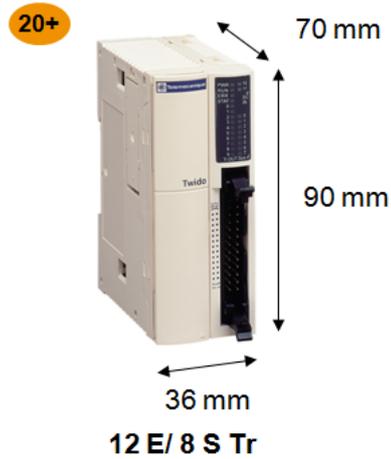
El PLC utilizado es de tipo compacto, su marca es: tele-mecanique modelo: 9 E/ 7S. A continuación se muestra su esquema y características proporcionado por los catálogos:



- No Ampliable
- 1 Potenciómetro Integrado
- Hasta 2000 instrucciones de programa
- 2º Puerto serie opcional

Figura 6.8 Ilustración gráfica del PLC para automatizar el sistema de climatización.

Como el sistema automático requiere de entradas analógicas, se requirió un modulo analógico de número de serie: 12E/8S Tr para adjuntar al PLC, a continuación se muestra su esquema y características proporcionado por los catálogos:



- Hasta 4 Módulos de Ampliación
- Hasta 144 E/S
- 1 Potenciómetro Integrado
- Hasta 3000 instrucciones de programa

Figura 6.9 Ilustración gráfica del módulo de entradas analógicas.

El control automático está configurado de la siguiente forma:

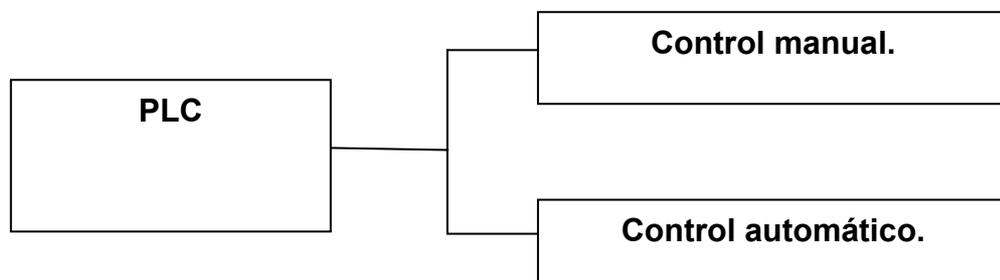


Figura 7.0 Esquema general del control automático.

5.6.1 Control manual

Esta opción de la configuración del control permite una operación como su nombre indica de tipo manual o manejado por un asistente. En esta opción la bomba simplemente se enciende y permite la circulación de agua sin importar las consideraciones de presencia del sol o factores climáticos. Esta opción tiene como objetivo en realizar actividades de mantenimiento del sistema hidráulico, limpieza de la piscina, y el vaciado de la piscina.

5.6.2 Control automático

Esta opción corresponde al funcionamiento ideal de climatización, se encarga de circular el agua en los colectores solares cuando existe las condiciones necesarias y suficientes de la captación de energía del sol, es decir en la presencia de radiación directa o directa-difusa. Caso contrario de las condiciones de captación, el sistema no permite la circulación de agua hacia los colectores evitando pérdidas energéticas.

El control automático toma los datos de entrada o variables descritas anteriormente es decir: **la temperatura de la piscina, la temperatura de la cubierta transparente del colector solar y la temperatura de la salida del agua de los colectores solares**. Basado en las condiciones necesarias y suficientes para un calentamiento de agua en los colectores solares; y las condiciones de temperatura deseadas por el usuario o por el tipo de uso de la piscina, se destaca a continuación las condiciones o limitantes de estos variables son:

- La temperatura de la piscina [Tp] sea calentado hasta los 30°C (86°F) máximo.

Justificación: La piscina será de uso familiar, la temperatura según las normas para este tipo de uso (presencia de niños, mujeres embarazadas, publico general) (tabla 3.0) es de 30°C.

- La temperatura de la cubierta transparente del colector solar [Tc] sea mayor o equivalente de 34°C (93°F).

Justificación: Dentro del análisis termodinámico de los colectores solares, un calentamiento de agua se lleva a cabo cuando la radiación solar produce un calentamiento superficial de la placa absorbadora de 76 - 80°C, realizando el cálculo iterativo de la temperatura de la cubierta transparente (descrito en la sección 2.3.7 la ecuación 7.1) la temperatura de la cubierta es de 32-34°C.

- La temperatura de la salida del agua de los colectores solares sea mayor que la temperatura de la piscina [$T_s > T_p$].

Justificación: Esta condición corresponde a una definición lógica, es decir que se debe realizar la circulación del agua en los colectores solares siempre y cuando la temperatura del agua entregada por los colectores solares sea mayor que la temperatura del agua contenido de la piscina salvo que no afecta a la primera condición descrita.

Dadas estas condiciones, el programa de automatización funciona de la siguiente forma:

1. Para el inicio, la opción automática permanece activada del PLC.
2. Si la temperatura de la piscina [T_p] es inferior a 30°C ($T_p < 30$) se activa una memoria M0 (interruptor abierto), caso contrario se desactiva.
3. En el transcurso del día, cuando el sensor de temperatura de la cubierta transparente del colector solar [T_c] es equivalente o superior a 34°C ($T_c \geq 34$), se activa una memoria M1 (interruptor abierto), caso contrario ($T_c < 34$) se desactiva la memoria M1.
4. Si la memoria M0 y la memoria M1 se activa, se activa un temporizador T1 que después de un tiempo dado (3 minutos) permite el paso de corriente pasando por una memoria o contacto de tipo cerrado M3 (M3 es explicado más adelante) para activar posteriormente el encendido de la bomba. Caso contrario, no se activa el temporizador T1 y por lo tanto no se activa el encendido de la bomba. Este paso permite el aseguramiento de la temperatura superficial de la cubierta transparente de cumplir con la instrucción 3.

5. Si se activa la bomba(el agua comienza a circular por los colectores solares), se activa otra memoria M2 (interruptor abierto) y ésta a su vez activa a otro temporizador T2 que luego de un tiempo dado (4 minutos) activa una memoria M4 (interruptor abierto).
6. Durante el encendido de la bomba en el transcurso de tiempo especificado del temporizador T2, si el sensor que indica la temperatura de la salida del agua de los colectores solares es **menor** que la temperatura de la piscina (medido por el sensor) $[T_s < T_p]$ se activa una memoria M5 (interruptor abierto). Esto permite realizar una comparación de temperaturas de salida de los colectores y piscina después de un tiempo para estabilizarse térmicamente. Caso contrario no se activa la memoria M5.
7. Si la memoria M5 se activa (quiere decir que la temperatura de la salida del agua de los colectores solares es menor que la temperatura de la piscina) y la memoria M4 se encuentra activada, se energiza la memoria M3 permitiendo el cierre de energía de la bomba dado que en la instrucción 3, M3 esta descrito como un contacto cerrado.
8. Si la bomba se apaga, se repite la secuencia.

De esta manera se obtiene la automatización del sistema de climatización. Las instrucciones descritas anteriormente se encuentran en forma real de algoritmo de programación en el apéndice A – anexos.

En lo que se refiere a la programación, se utilizó el software comúnmente usado para PLC: Concept en lenguaje estructurado. Luego se realizó una transferencia de programa en el software denominado TWIDOSOFT para cargarlo en el PLC.

Gracias a la posibilidad de presentar los parámetros medidos de temperatura, la operación y simulaciones en pantalla, el resultado de datos y su análisis están descritos de la manera más instantánea, clara y precisa en el capítulo siguiente.

CAPITULO 6

PRUEBAS DE OPERACIÓN

6.1 Hoja de pruebas

Durante la realización de este proyecto, fue necesario la medición y registro de datos de irradiación entregado por la fuente solar en la zona del sistema que se implanto el aprovechamiento. Los datos fueron recopilados en el mes de Abril – Mayo, en una temporada invernal crítica de días consecutivos, aun así se obtuvo una climatización significativa de la piscina.

6.1.1 Datos de irradiación

Se efectuó la toma en estos días críticos porque las horas de radiación directa son escasas en temporada invernal debido a que la presencia constante de nubes de tipo estrato y estratocúmulos que obstaculizan el paso libre de la radiación directa, disminuyendo la captación de energía en los colectores aun así es importante mencionar que en días nublados, los colectores solares también asimilan energía de la radiación difusa, como consecuencia del reflejo de los rayos con las nubes, y el albedo que parte del reflejo con los objetos del contorno en la tierra.

A continuación, se muestra los datos de irradiación medidos:

Tabla 4.6.1 Hoja de Pruebas Para días representativos del mes de mayo

<i>Hora</i>	<i>Tsalida agua [°C]</i>	<i>T ambiente [°C]</i>
9:10	23	20
9:20	20	21
9:30	23	27
9:40	23	25
9:50	24	25
10:00	24	25
10:10	24	25
10:20	24	25
10:30	24	25
10:40	24	25
10:50	24	25
11:30	24	26
11:40	24	28
11:50	25	28

Fecha: 4 mayo 2008

Tabla 4.6.2 Hoja de Pruebas Para días representativos del mes de mayo

<i>Hora</i>	<i>Tsalida agua [°C]</i>	<i>T ambiente [°C]</i>
9:20	22	22
9:50	22	22
10:00	23	22
10:30	23	23
12:30	23	23
12:40	23	26
12:50	24	26
13:00	24	25

Fecha: 5 mayo 2008

Tabla 4.6.3 Hoja de Pruebas Para días representativos del mes de mayo

<i>Hora</i>	<i>Tsalida agua [°C]</i>	<i>T ambiente [°C]</i>
10:20	24	25
10:30	24	25
10:40	25	24
10:50	25	24
11:00	25	23
11:10	25	23
11:20	25	24
11:30	25	25
11:40	25	23
11:50	25	23
12:00	25	26
12:10	25	26
12:20	25	26
12:30	25	26
12:40	22	26
12:50	25	26
13:00	25	26
13:10	25	25
15:00	23	29
15:10	23	29
15:20	23	30
15:30	23	29
15:40	22	29
15:50	22	29
16:00	22	28

Fecha: 6 mayo 2008

Como se mencionó anteriormente, el equipo utilizado para medir la irradiación instantánea consiste de una celda fotovoltaica proporcionado por el laboratorio de termodinámica de la Escuela politécnica del Ejército (ESPE). Esta foto-celda

convierte la radiación electromagnética solar en una señal o lectura de corriente continua (DC) final que es cuantificado mediante un multímetro. La relación de Irradiación y corriente es: $3.8 \text{ A} = 1000 \text{ W/m}^2$.

6.2 Datos

6.2.1 Eficiencia.

Partiendo de los datos medidos anteriormente se realiza a continuación el cálculo de eficiencia energética del colector:

Tabla 4.7 Datos calculados de eficiencia para días representativos del mes de mayo

Fecha: Domingo 4 de mayo						
temperatura del vaso de la piscina [C]		18				
Hora	Amperaje	Irradiación [W/m²]	Promedio	Tsalida agua [°C]	T ambiente [°C]	eficiencia
9:10	2.72	715.79		23	20	82.98
9:20	1.3	342.11		20	21	69.45
9:30	2.77	728.95		23	27	81.49
9:40	2.76	726.32		23	25	81.78
9:50	2.75	723.68		24	25	98.49
10:00	2.84	747.37	664.04	24	25	95.37
10:10	2.82	742.11		24	25	96.05
10:20	2.72	715.79		24	25	99.58
10:30	2.74	721.05		24	25	98.85
10:40	2.81	739.47		24	25	96.39
10:50	2.85	750.00	733.68	24	25	95.04
11:30	3.24	852.63		24	26	83.60
11:40	3.06	805.26		24	28	88.52
11:50	3.18	836.84	831.58	25	28	99.37
		Suma	2229.30			

Fecha: Lunes 5 de mayo						
temperatura del vaso de la piscina [C]		18.5				
Hora	Amperaje	Irradiación [W/m2]	Promedio	Tsalida agua [°C]	T ambiente [°C]	eficiencia
9:20	2.29	602.63		22	22	69.00
9:50	2.51	660.53	644.74	22	22	62.95
10:00	2.55	671.05		23	22	79.66
10:30	2.65	697.37	697.37	23	23	76.66
12:30	2.48	652.63		23	23	81.91
12:40	2.85	750.00		23	26	71.28
12:50	2.9	763.16	721.93	24	26	85.62
13:00	2.68	705.26	705.26	24	25	92.65
Suma			2769.30			

Fecha: Martes 6 de mayo						
temperatura del vaso de la piscina [C]		19				
Hora	Amperaje	Irradiación [W/m2]	Promedio	Tsalida agua [°C]	T ambiente [°C]	eficiencia
10:20	2.64	694.74		24	25	85.50
10:30	2.7	710.53		24	25	83.60
10:40	2.84	747.37		25	24	95.37
10:50	2.82	742.11		25	24	96.05
11:00	2.92	768.42	732.63	25	23	92.76
11:10	2.93	771.05		25	23	92.44
11:20	2.98	784.21		25	24	90.89
11:30	2.98	784.21		25	25	90.89
11:40	2.97	781.58		25	23	91.20
11:50	2.97	781.58		25	23	91.20
12:00	2.97	781.58	778.95	25	26	91.20
12:10	3.02	794.74		25	26	89.69
12:20	3	789.47		25	26	90.29
12:30	2.98	784.21		25	26	90.89
12:40	1.5	394.74		22	26	90.29
12:50	3.1	815.79		25	26	87.37
13:00	2.99	786.84	735.34	25	26	90.59
13:10	3.1	815.79	801.32	25	25	87.37
15:00	2.17	571.05		23	29	83.21
15:10	2.07	544.74		23	29	87.23
15:20	1.96	515.79		23	30	92.13
15:30	1.87	492.11		23	29	96.56
15:40	1.77	465.79		22	29	76.51
15:50	1.65	434.21		22	29	82.08
16:00	1.66	436.84	494.36	22	28	81.58
		Suma	3542.59			

Ejemplo de cálculo

La eficiencia térmica de los colectores solares para 6 mayo 2008 a las 15:20.

Datos:

$$Amp = 1.96 [A]$$

$$Tsa = 23 \text{ }^\circ\text{C}, \quad \text{temperatura salida agua}$$

$$Ta = 30 \text{ }^\circ\text{C}, \quad \text{temperatura ambiente}$$

$$Tp = 19 \text{ }^\circ\text{C}, \quad \text{temperatura del vaso de la piscina}$$

$$Qa = 1.26 \frac{Kg}{s}, \text{ caudal de agua en colectores}$$

$$(\tau\alpha) = 1.01, \text{ factor tau - alfa para colector de una cubierta}$$

$$Ac = 2.2 \text{ m}^2, \text{ area unitaria del colector solar}$$

Desarrollo

$$I = \frac{1.96 \cdot 1000}{3.8} = 515.79 \text{ W/m}^2 \quad \text{Irradiación}$$

Utilizando la ecuación 4.5, se procede al cálculo de la eficiencia.

$$n = \frac{100\% \cdot 1.26 \frac{Kg}{s} \cdot 4190 \frac{W}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot (23^\circ C - 19^\circ C)}{515.79 \frac{W}{m^2} \cdot (1.01) \cdot 20 \cdot 2.2 m^2}$$

Donde:

$$n = 92.13 \% \quad ///$$

6.2.2 Presentación de datos registrados en el programa.

En el capítulo anterior en la sección 5.6 se señaló el uso de un PLC para la automatización del sistema de climatización de la piscina. Gracias a la posibilidad de realizar conexiones y realizar presentaciones y simulaciones en pantalla de un computador se detalla los registros de los parámetros termodinámicos descritos tales como temperatura de la piscina, temperatura de la cubierta, y temperatura de salida de los colectores solares. Tales registros se efectuaron en las horas ideales de brillo solar con la radiación adecuada. El software utilizado para estas presentaciones es: Intouch.

A continuación se demuestra los datos registrados en días posteriores del mes de Mayo (la curva verde representa la temperatura de la cubierta del colector, la curva roja representa la temperatura del vaso de la piscina (con un error sistemático ó propagado de 3°C de lectura), la curva azul representa la temperatura de salida de los colectores solares):

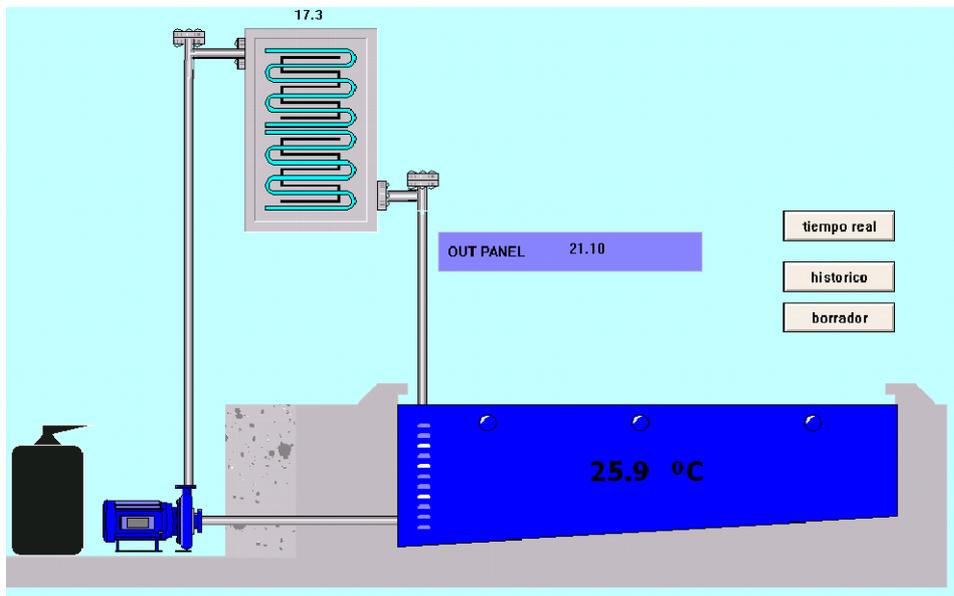


Figura 7.1 Representación gráfica del sistema

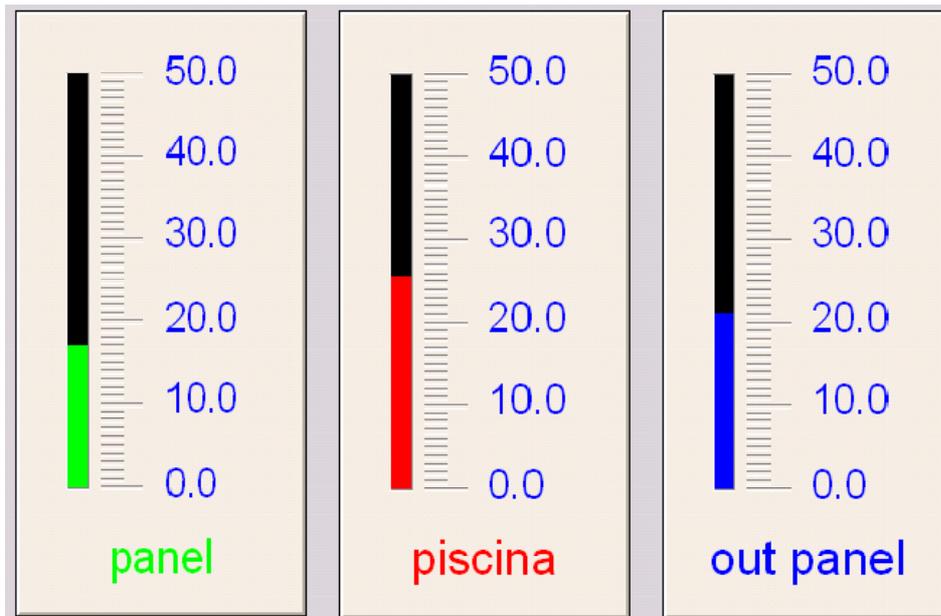


Figura 7.2 Representación de datos en tiempo real

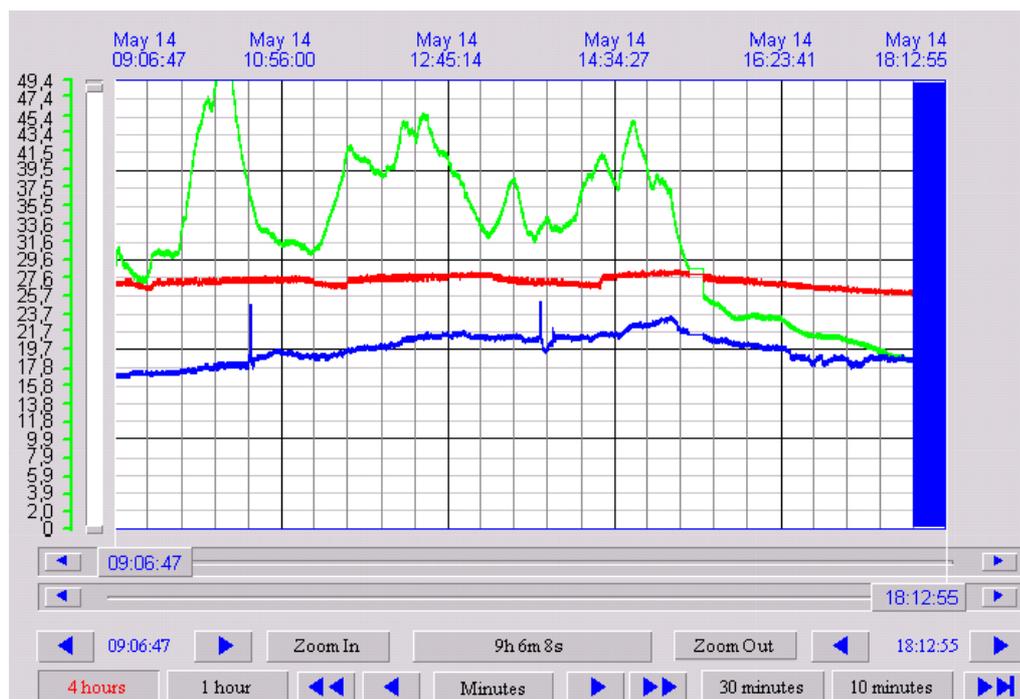


Figura 7.3 Registro de datos histórico para Mayo 14 de 2008.

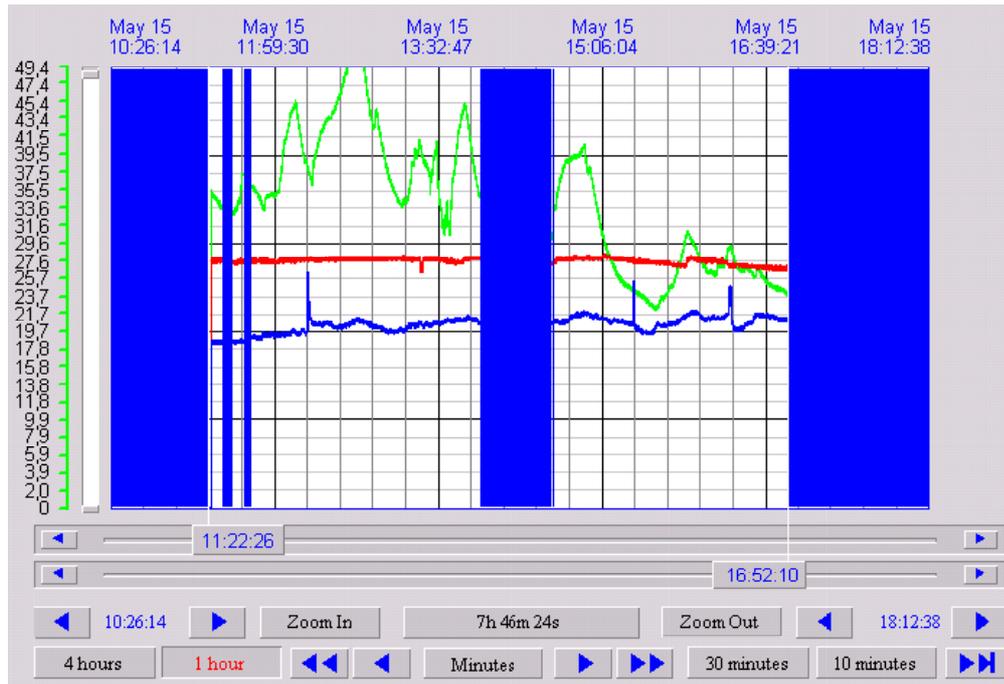


Figura 7.4 Registro de datos histórico para Mayo 15 de 2008

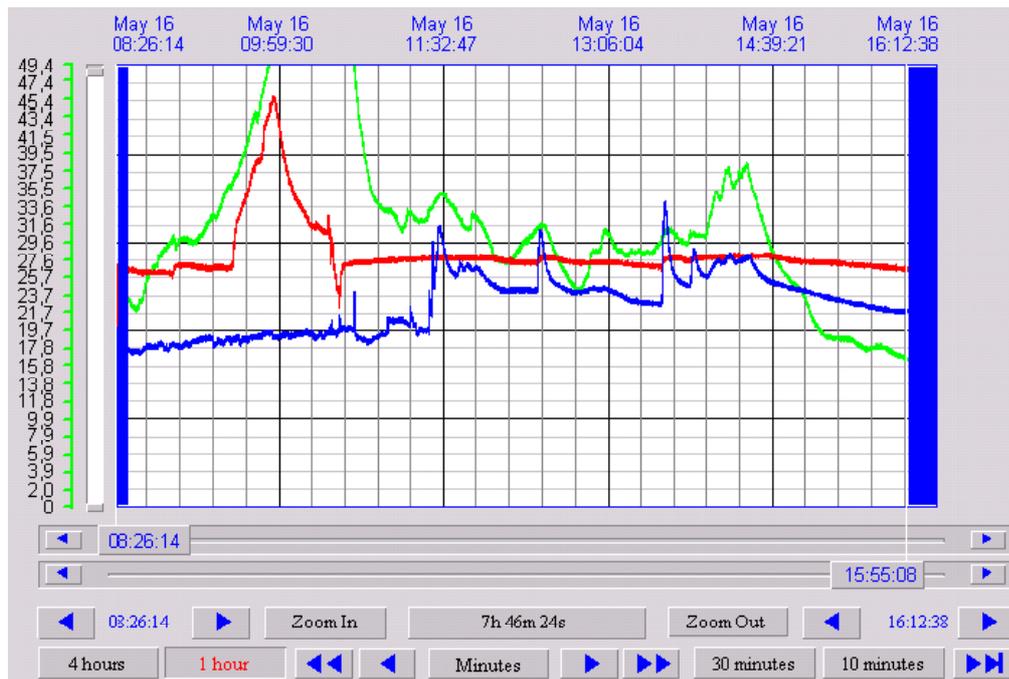


Figura 7.5 Registro de datos histórico para Mayo 16 de 2008.

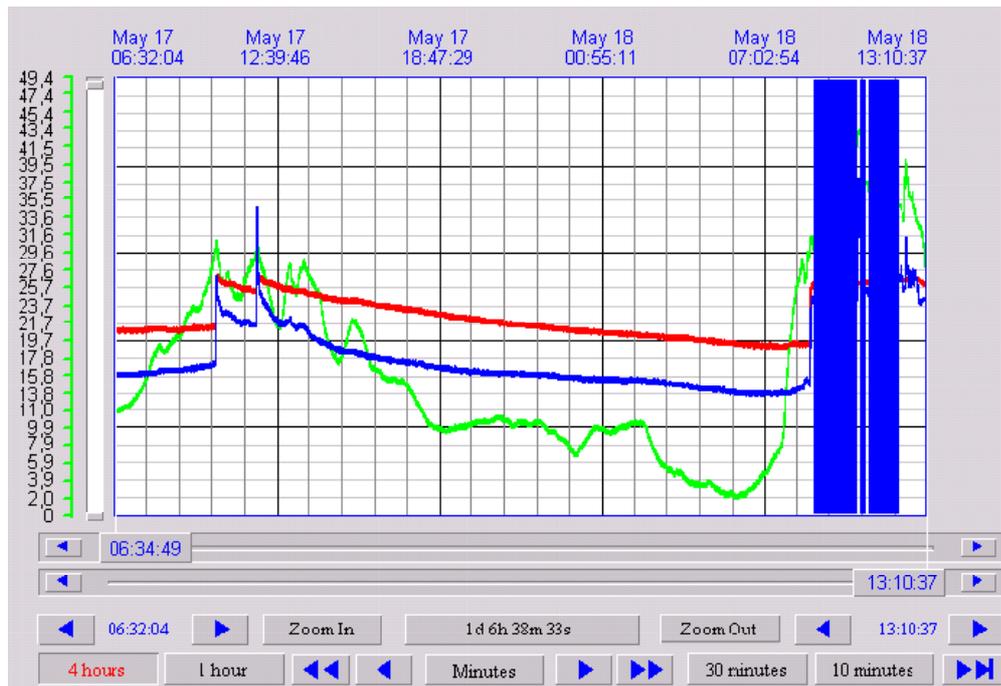


Figura 7.6 Registro de datos histórico para Mayo 17 de 2008

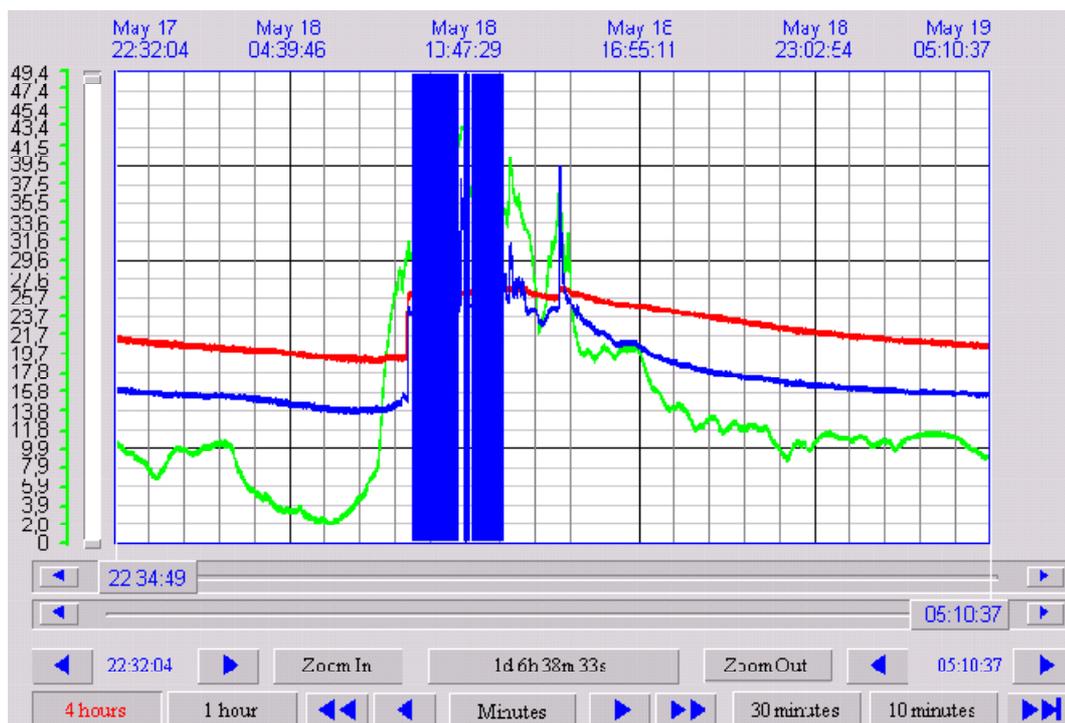


Figura 7.7 Registro de datos histórico para Mayo 18 de 2008.

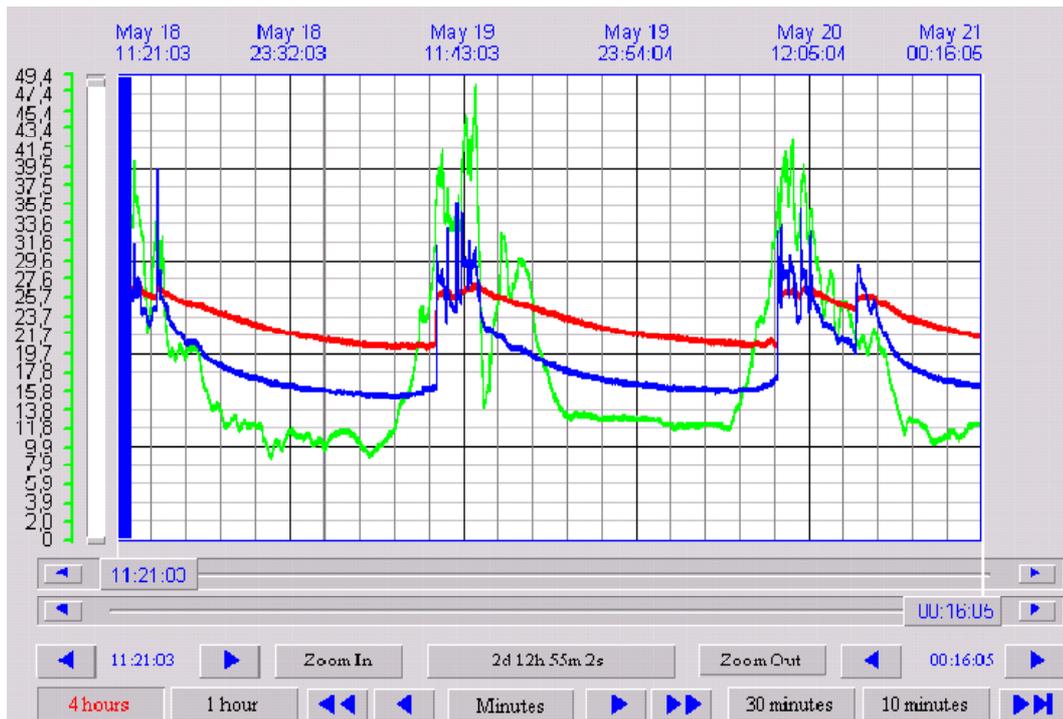


Figura 7.8 Registro de datos histórico para Mayo 19 de 2008.

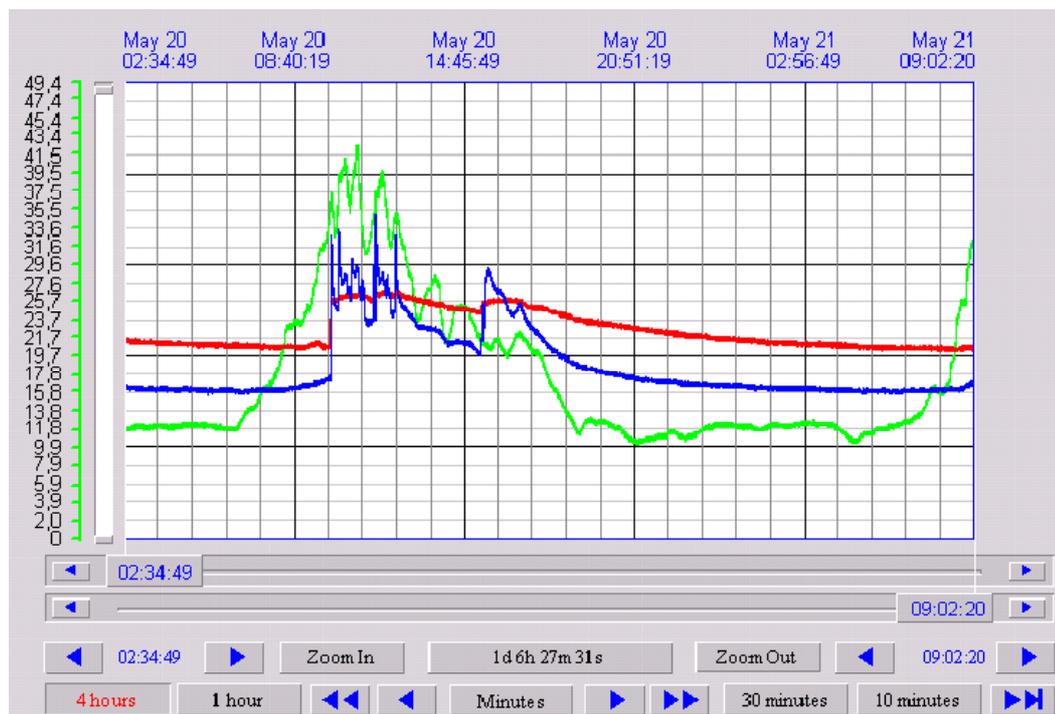


Figura 7.9 Registro de datos histórico para Mayo 20 de 2008.

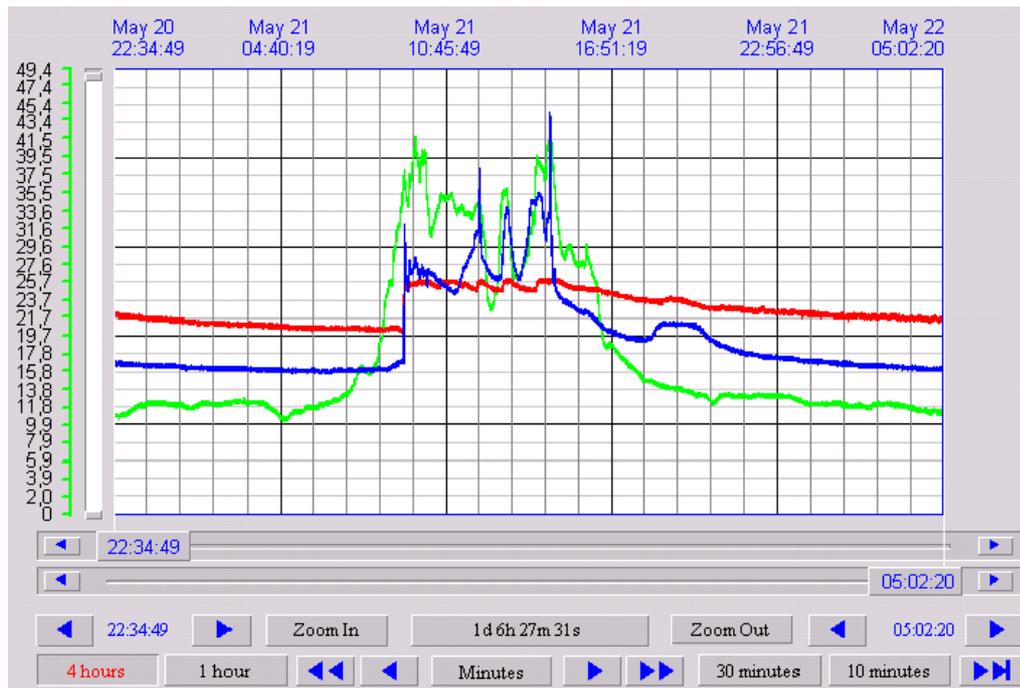


Figura 8.0 Registro de datos histórico para Mayo 21 de 2008



Figura 8.1 Registro de datos histórico para Mayo 22 de 2008

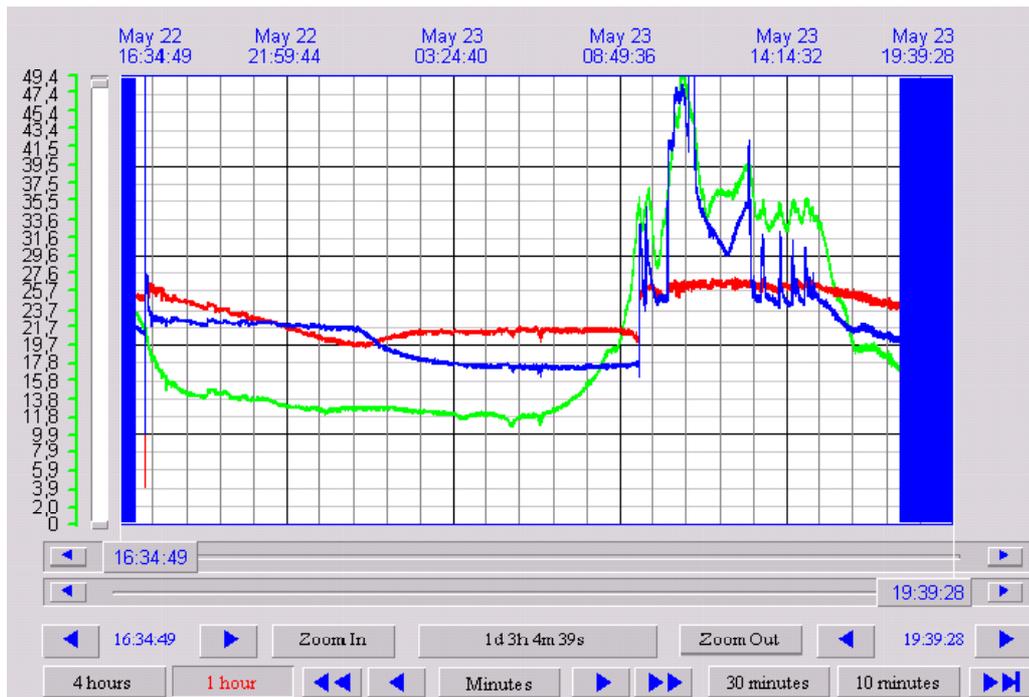


Figura 8.2 Registro de datos histórico para Mayo 23 de 2008

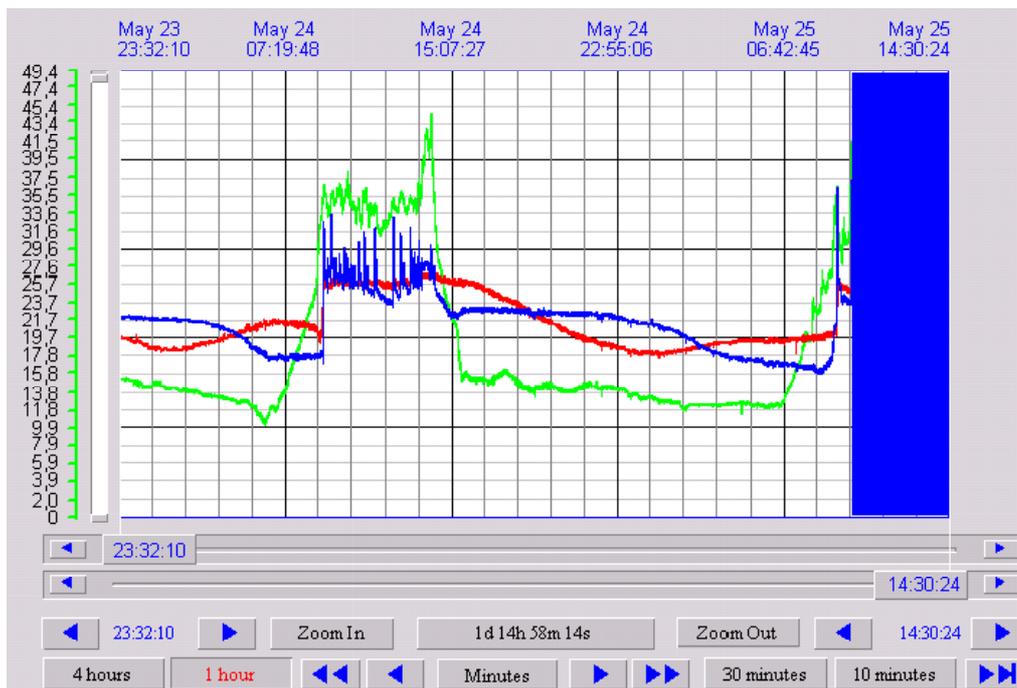


Figura 8.3 Registro de datos histórico para Mayo 24 de 2008

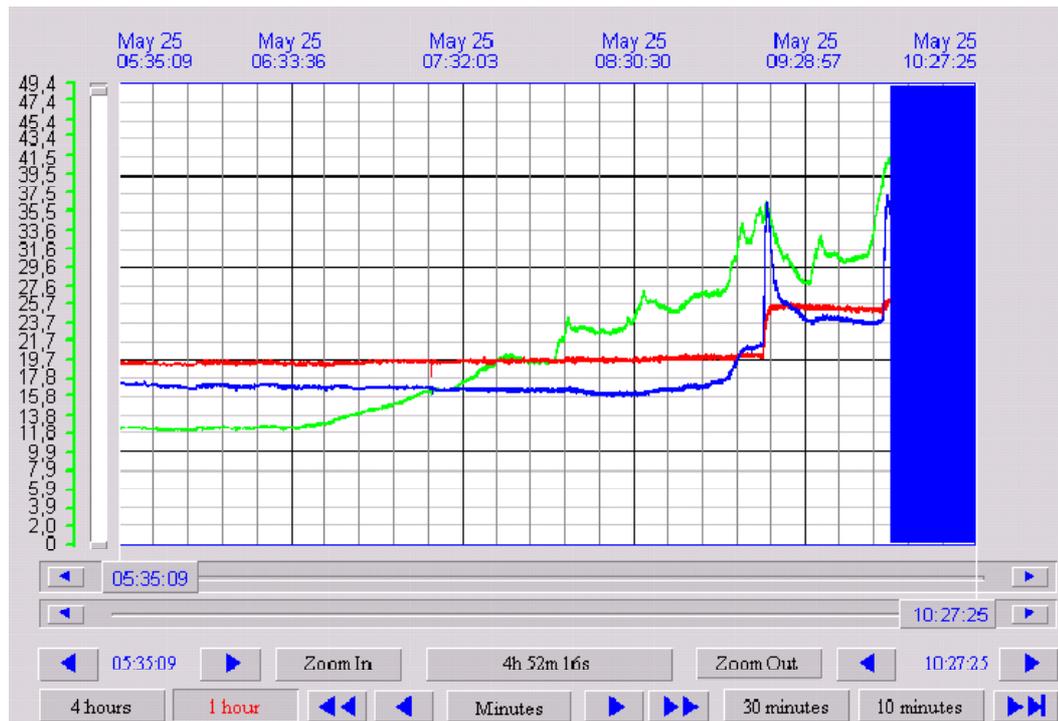


Figura 8.4 Registro de datos histórico para Mayo 25 de 2008

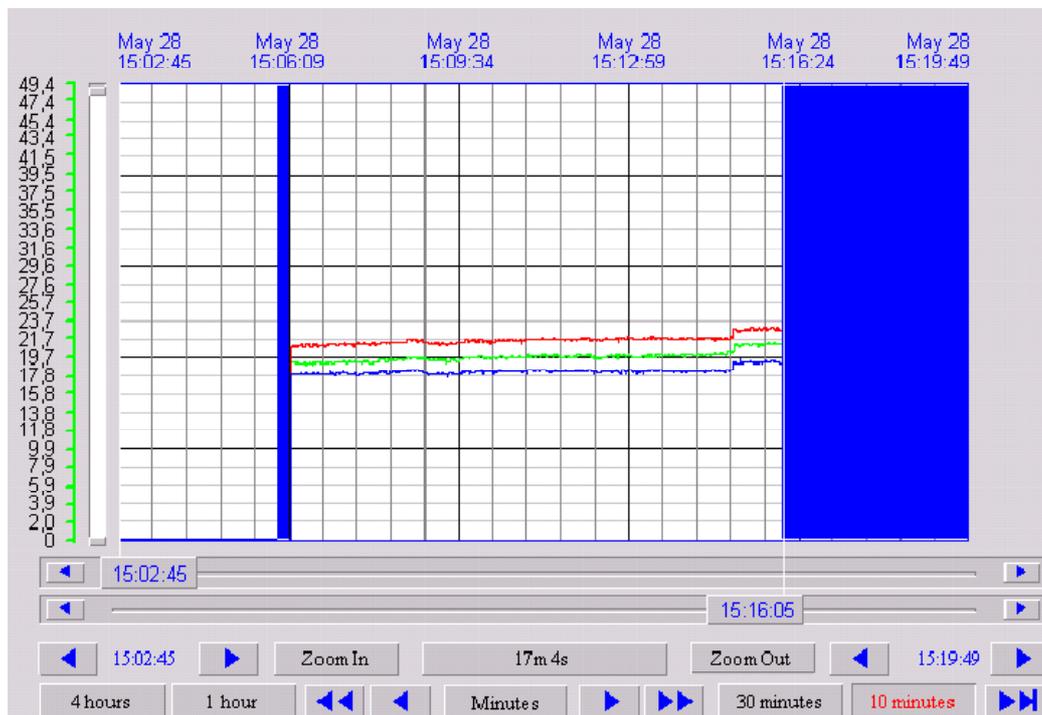


Figura 8.5 Registro de datos histórico para Mayo 28 de 2008

6.3 Análisis de datos

6.3.1 Análisis de eficiencia

Para graficar curvas de tendencia de la eficiencia y el factor $(T_m - T_a)/I$, se lo ha tomado en consideración para los pares ordenados con una temperatura ambiental (t_a) mayoritario o común.

Para graficar la tabla 1(4 de mayo), la temperatura común ambiental es 25°C. El grafico se muestra a continuación.

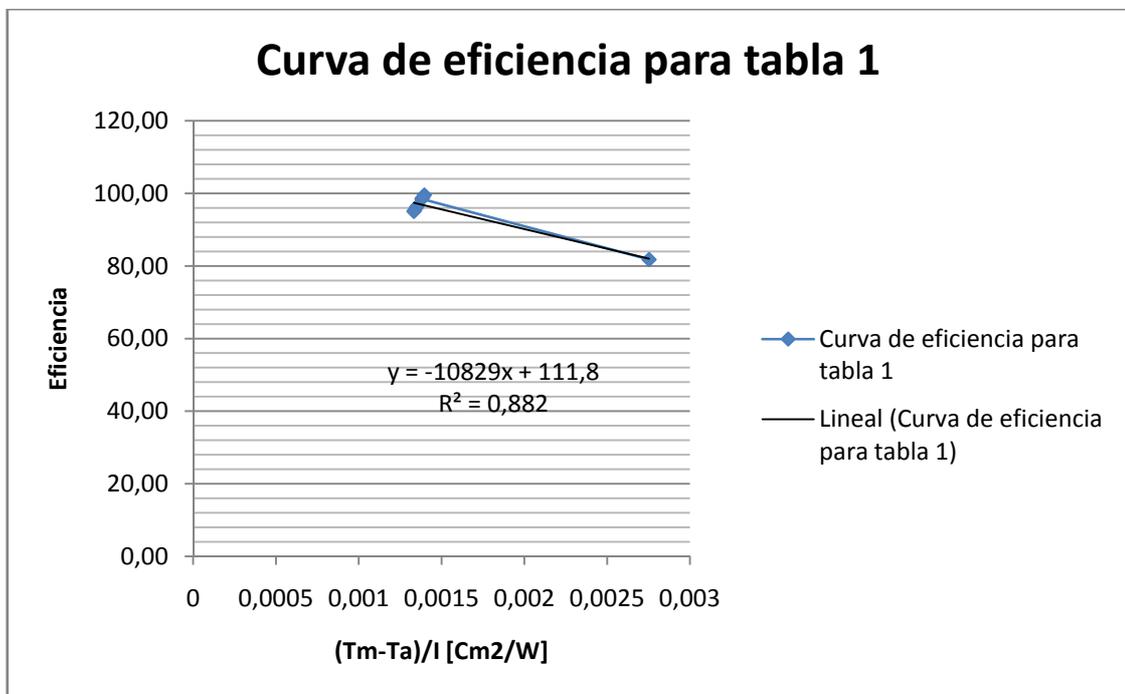


Figura 8.6 Gráfica de la eficiencia del colector solar para 4 de mayo.

Realizando una regresión de tipo lineal de esta dispersión de datos, se denota una tendencia no correspondiente a ser recta ($R^2 < 0.9$). Se recuerda los valores teóricos característicos de la recta de eficiencia del colector b , m (mencionado en el cálculo de colectores planos por el método CENSOL).

$b_t = 94\%$.

$m = 7.14$.

El termino independiente de la recta mostrada (111.8%) si posee un acercamiento significativo hacia el valor teórico, mientras que la pendiente (108.29) no posee un acercamiento significativo hacia el valor teórico.

Justificación:

La razón del error significativo de la pendiente quiere decir una perdida enorme de captación de energía sol que se disipa en los lados laterales y base, esto debido a filtraciones de humedad de hacia el interior del colector. Se realizó acciones correctivas para este detalle.

El grafico 2, correspondiente para 5 de mayo, se muestra a continuación. La temperatura común ambiental es 25°C.

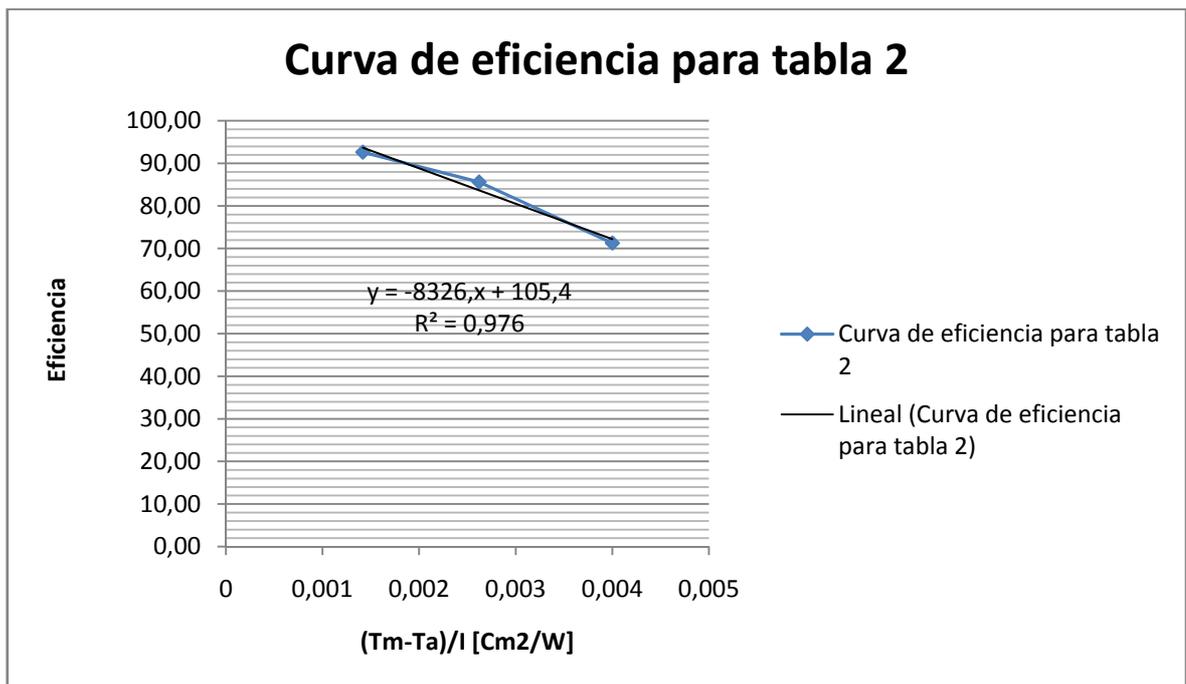


Figura 8.7 Gráfica de la eficiencia del colector solar para 5 de mayo

El termino independiente de la recta mostrada (105.4%) si posee un mayor acercamiento hacia el valor teórico, mientras que la pendiente (83.26) no posee un acercamiento significativo hacia el valor teórico pero si posee un acercamiento en relación de la gráfica anterior.

Justificación:

La razón del error significativo de la pendiente quiere decir aún existe una pérdida de captación de energía sol que se disipa en los lados laterales y base, debido a filtraciones de humedad específicamente hacia el interior del colector. Se mantiene acciones correctivas para este detalle.

El grafico 3, correspondiente para 6 de mayo, se muestra a continuación. La temperatura común ambiental es 23°C.

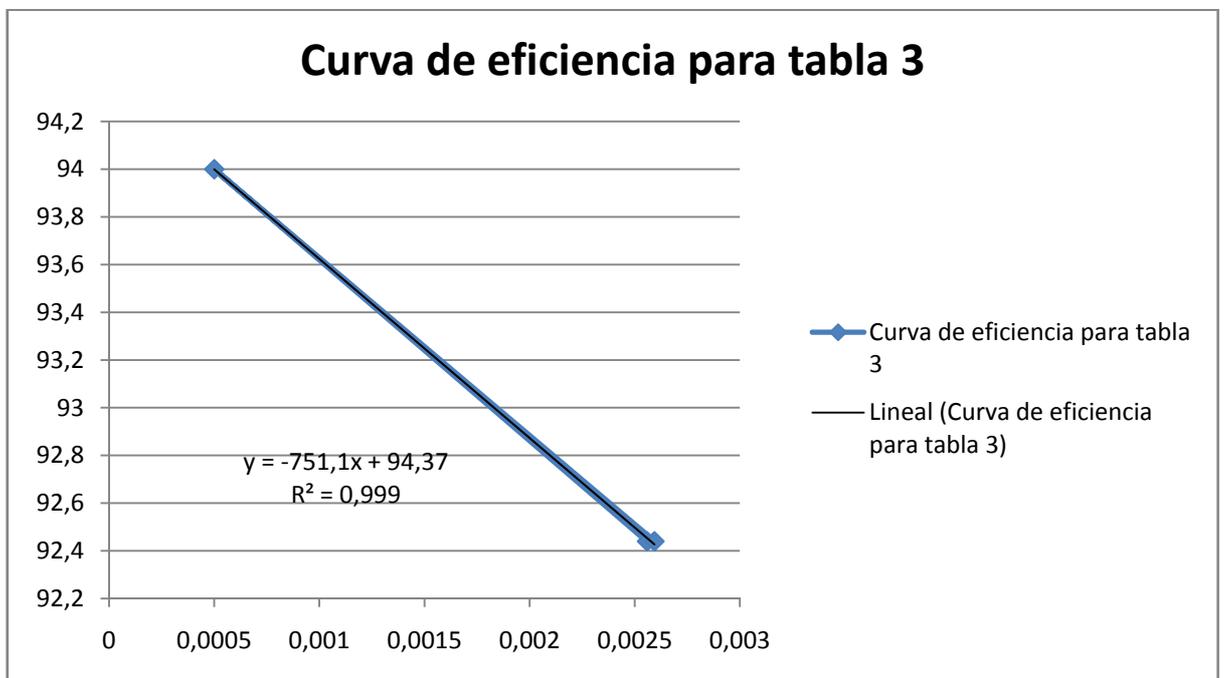


Figura 8.8 Gráfica de la eficiencia del colector solar para 6 de mayo

El termino independiente de la recta mostrada (94.37%) posee un mayor acercamiento hacia el valor teórico, y la pendiente (7.51) posee un acercamiento muy significativo hacia el valor teórico en relación de los gráficos anteriores.

Justificación:

La razón de pendiente correcto quiere decir que las pérdidas de captación de energía sol que se disipa en los lados laterales y base, debido a filtraciones de humedad específicas de hacia el interior del colector son mínimas por las acciones correctas realizadas.

6.3.2 Confiabilidad y Disponibilidad del sistema de climatización solar.

6.3.2.1 Confiabilidad.

La confiabilidad es la probabilidad que un dispositivo o un sistema o máquina cumplan con la función establecida y para la operación en la que fue diseñada. La confiabilidad se determina mediante la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{TIF}{TIF+TFS} \quad (8.4)$$

Donde:

f_c : Confiabilidad.

TIF: tiempo de interrupción forzado del sistema.

TFS: tiempo de servicio que brinda el sistema.

Para el sistema de climatización solar de la piscina se tiene:

TIF = horas de la noche/día + horas apagones/día

TIF = 24horas - 11.5 horas/ día (6:00 – 17:30) + 5/60 hora (asumiendo 5 minutos diarios en promedio de apagón).

TIF = 12.4167 Horas/día.

TFS = horas de brillo solar real = 4.8 horas

$$fc = \frac{12.4167 * 100\%}{12.4167 + 4.8}$$

$$fc = 72.1\% \text{ ///}$$

6.3.2.2 Disponibilidad.

La disponibilidad de un sistema, dispositivo, o máquina es la medida de la duración de pérdida de servicio.

La disponibilidad se determina mediante la expresión:

$$A = (1 - F)(1 - M) \quad (8.5)$$

Donde:

A: disponibilidad.

F: tiempo total de interrupción forzada/año.

M: fracción dedicada al mantenimiento/año.

Para el sistema de climatización solar de la piscina se tiene:

M = limpieza de colectores + renovación de agua de la piscina + lavado reverso del filtro + aspirada de fondo + tratado de agua + renovación de la arena del filtro.

$$M1 = 2 \text{ veces/semana} * 10 \text{ minutos} * 4 \text{ semanas/mes} * 12 \text{ meses} = 960 \text{ min/año.}$$

$$M2 = 3 \text{ días (vaciado, limpieza, y llenado)} * 24 \text{ horas} * 60 \text{ minutos} * 1 \text{ vez/2 meses} * 12 \text{ meses} = 25\,920 \text{ min/año.}$$

$$M3 = 1 \text{ vez/semana} * 5 \text{ min} * 4 \text{ semanas} * 12 \text{ meses} = 240 \text{ min/año.}$$

$$M4 = 1 \text{ vez/semana} * 20 \text{ min} * 4 \text{ semanas} * 12 \text{ meses} = 960 \text{ min/año.}$$

$$M5 = 1 \text{ vez/15 días} * 20 \text{ minutos} * 30 \text{ días/mes} * 12 \text{ meses} = 480 \text{ min/año.}$$

$$M6 = 1 \text{ vez/2 años} * 60 \text{ minutos} = 30 \text{ min/año.}$$

$$M = 28\,590 \text{ min/año} = 5.44\% \text{ del tiempo anual.}$$

F= TIF + renovación de agua de la piscina + tratado de agua.

$$F = 12.4167*60*30*12 + 25\ 920 + 480 = 294\ 600 \text{ min/año} = 56.05 \%$$

$$A = (1 - 0.5605)(1 - 0.0544) * 100\%$$

$$A = 41.56\% \text{ ///}$$

6.4 Homologación

La homologación se refiere básicamente en una obtención específica de relación de demanda y capacidad energética de los colectores solares planos de baja temperatura. Mediante unas curvas f , desarrollados en la Universidad de Wisconsin Beckman, Klein y Duffie en 1977 se determina una relación porcentual de la cantidad de agua que se puede calentar con la utilización de los colectores solares y la adición del mismo con calefones tomando como base una temperatura de 100 °C (212 °F).

Mediante parámetros adimensionales, calculados a partir de variables termodinámicos descritos anteriormente, se calcula la relación porcentual f denominado: **fracción solar**

6.4.1 Fracción solar

La fracción solar se determina mediante dos variables X, Y. el primer variable se determina de la siguiente forma:

$$X = \frac{\text{Pérdidas del colector}}{\text{Demanda energetica}}$$

Entonces:

$$X = \frac{A_{CT} * F_R * U_L (T_m - T_a) \Delta t}{Q_d} \quad (8.6)$$

Donde:

X: parámetro X

AcT: área total de los colectores solares.

Fr: Factor de remoción. **Ec.(5.7)**

UL: coeficiente global pérdidas. **Ec.(5.3)**

Tm: temperatura media del fluido.

Ta: temperatura ambiental.

Qd: Demanda energética **Ec.(7.2)**

Δt : Tiempo de funcionalidad diario.

La variable Y se determina de la siguiente forma:

$$Y = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Demanda energética}}$$

$$Y = \frac{A_{cT} * F_R * (\tau\alpha) * I_m}{Q_d} \quad (8.7)$$

Donde:

Y: Parámetro Y.

AcT: área total de los colectores solares.

Fr: Factor de remoción. **Ec.(5.7)**

$(\tau\alpha)$: factor tau-alfa.

Im: Irradiación media diaria

Qd: Demanda energética **(7.2)**

Finalmente la fracción solar se determina mediante la siguiente expresión:

$$f_s = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (8.8)$$

Donde:

f_s : Fracción solar

X: parámetro X **Ec.(8.6)**.

Y: parámetro Y **Ec.(8.7)**.

A continuación se procede al cálculo de la fracción solar. Partiendo de los parámetros calculados anteriormente en el capítulo 3:

$$X = \frac{20 * 2.2 * 0.933 * 7.655(28 - 20) * 4.8}{154000}$$

$$X = 0.07835904$$

$$Y = \frac{20 * 2.2 * 0.933 * 1.01 * 3696}{154000}$$

$$Y = 0.9951$$

$$f_s = 1,029 * 0.9951 - 0,065 * 0.07835904 - 0,245 * 0.9951^2 \\ + 0,0018 * 0.07835904^2 + 0,0215 * 0.9951^3$$

$$f_s = 0.7974$$

La fracción solar es del 79.74%.

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1.1 Determinación de costos

En el presente capítulo se detallan los valores correspondientes para la implementación del sistema de climatización de la piscina. Los costos de estas adquisiciones se encuentran presentados a continuación subdivididos en costos de materiales, mano de obra y otros costos.

7.1.2 Materiales

A continuación se presentan los costos de los materiales que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

En la Construcción de la Estructura Soporte se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 4.8 Materiales utilizados en la construcción de la Estructura Soporte.

ESTRUCTURA METALICA				
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR C/U	TOTAL
1	Tubo rectangular 50 x 25 x 1.5	5	17,6	88
2	Omegas 35 x 80x 20 x 3 mm	40	20,45	818
3	Anticorrosivo mate 1/4	2	3,45	6,9
4	Thiñer litros	4	1,3	5,2
5	Canal u 200 x 50 x 4 mm	18	62,17	1119,06
6	Correa g 150 x 50 x 15 x 3 mm	16	38,25	612
7	Correa g 200 x 50 x 15 x 3 mm	45	36,53	1643,85
8	Angulo 1 1/4 x 1 1/4	36	10	360
9	Placa plancha	1	178	178
10	Disco de corte	50	3,48	174
11	Cajas de electrodos	2	48	96
12	Hierro quintales	20	50,25	1005
			SUBTOTAL	6106,01
			IVA	732,7212
			TOTAL	\$6.838,73

El valor total mencionado en la tabla anterior se refiere a la construcción de la Estructura Soporte con un Valor de \$ 6838.73

En la construcción de los Colectores Solares utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 4.9 Materiales utilizados en la construcción de los Colectores Solares.

COLECTORES SOLARES PLANOS				
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR C/U	TOTAL
1	Tubo de cobre M ½" 6 m	66	28	1848
2	Tubo de cobre M 1" 6 m	8	67,47	539,76
3	Vidrio Templado Claro de 4mm 2x1m	20	53	1060
4	Poliuretano (material para inyectar 12kg)	20	32	640
5	Plancha de Aluminio Liso 0,005 mm 2X1 m	20	42,45	849
6	Tol Galvanizado 244X122X0.70 (1/32)	20	22,26	445,2
7	Varillas de Plata	100	3,48	348
8	Alambre Galvanizado 18 2Lb	20	0,66	13,2
9	Antioxidante Mate negro 1GL	2	12	24
10	Electrodos 6011 AGA 1/8 17Unidades = 1lb	10	1,16	11,6
11	Pistola para silicona	1	0,88	0,88
12	Remache Pop 5/32X5/16	1000	0,02	20
13	Sikasil E Transparente 300 ml	20	2,95	59
14	Thiñer Laca cóndor 4 LT	40	1,15	46
			Subtotal	5904,64
			IVA 12%	708,56
			Total	6613,20

El valor total mencionado en la tabla 4.9 se refiere a la construcción de los Colectores Solares Plano un valor de \$ 6613,20 dólares.

En la construcción de los componentes de la Instalación Hidráulica, se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 5.0 Materiales utilizados en la construcción del Sistema Hidráulico.

SISTEMA HIDRAULICO				
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR/UNI	TOTAL
1	Pvc adaptador macho 1-1/2	10	0,5683	5,683
2	Pvc codo 90x1-1/2	10	0,7286	7,286
3	Pvc tee 1-1/2	3	0,9571	2.8713
4	Tubo pvc 1-1/2 x cd 40	5	16	80
5	Colcha 18x36 extra	1	192.8429	192.8429
6	Manguera de 30	1	32.0571	32.0571
7	Drenaje fondo	1	23.3143	23.3143
8	Aspiradora	1	20.8571	20.8571
9	Mango telescópico	1	17.5715	17.5715
10	Llave bola	4	14,72	58,88
11	Cepillo de limpieza	1	10	10
12	Cernidero malla	1	12.2857	12.2857
13	Boquilla retorno 1,5 a ¾	2	3,5	7
14	Filtro sta rite / bomba 1,5hp	1	497.1429	497.1429
15	Test kit comp/agua	1	6.6534	6.6534
16	Tubo p/agua cobre m 1 x 6mts	4	67,47	269,88
17	Reducción cobre 1 x ¾	2	2,52	5,04
18	Tee 90-90	3	6,2	18,6
19	Universal cobre 1"	38	12	456
20	Tapón hh cobre 1"	4	1,48	5,92
21	Skimmer 1 ½	1	40,8	40,8
22	Codo de 1 1/2 x 90	1	1,04	1,04
23	Adaptador macho 1 1/2 a 2	1	0,82	0,82
24	Unión cobre 1"	2	1,48	2,96
25	Codo s0-s0 1 x 90	10	2,18	21,8
26	Válvula. bola gas 1"	3	16,7	50,1
27	Terminal. cu macho s0-he	10	4,42	44,2
28	Suelda estaño 95/5 verde	1	19	19
29	Pomada para soldar	1	1,09	1,09
30	Buje pvcp l/l 1 1/2 x 1	2	0,76	1,52
31	Teflón alemán	10	0,25	2,5
32	Permatex 3.0 onz	1	1,81	1,81
33	Lija para agua nº 150	1	0,4	0,4
34	Kalipega 250cc	1	3,42	3,42
35	Pollimpia 125cc	1	2,03	2,03
			Subtotal	1923,38
			IVA 12%	230,81
			Total	2154,18

De esta manera tenemos que el costo de la instalación hidráulica nos da un total de 2154,18 dólares.

En la implementación del Sistema de Control se obtuvieron los siguientes gastos:

Tabla 5.1 Gastos del sistema de control

CIRCUITO ELECTRICO Y DE CONTROL				
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR/UNI	TOTAL
1	Lámparas techo	4	17,4	69,6
2	PLC incluido módulos	1	400	400
3	Sensores de temperatura	3	30	90
4	Cable concéntrico 3*16	50	1,1339	56,695
5	Cable flexible # 16	150	0,2679	40,185
6	Caja plástica 220x170x120mm	2	13,6607	27,3214
7	Tablero 2-4 c/ventana	1	7,1429	7,1429
8	Cinta autofundente #23 "3m"	1	6,7857	6,7857
9	Dulux 20w-ww-syl	7	2,7857	19,4999
10	Dulux mini spiral 15w/d	2	3,125	6,25
11	Dulux spiral 25w-d-syl	2	3,3482	6,6964
12	Dicroico pin 110v/50w/az	1	3,5714	3,5714
			SUBTOTAL	733,75
			IVA 12%	88,05
			TOTAL	821,80

De esta manera tenemos que el costo de la instalación del circuito eléctrico y de control es de \$ 821.80 dólares.

En la readecuación del vaso de la piscina, loseta y paredes laterales se obtuvieron los siguientes gastos

Tabla 5.2 Costos de infraestructura de la piscina

READECUACIÓN DE LA PISCINA Y CONSTRUCCIÓN DE PAREDES				
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR/UNI	TOTAL
1	Baldosas + bondex	1	800	800
2	Cemento	250	6,25	1562,5
3	Grafito	1	792	792
4	Translucidos 1.83 x 0.94	36	15	540
5	Galones de agua stop	3	12,94	38,82
6	Anticorrosivo	3	11,6	34,8
7	Carretilla sidec reforzado	2	40,17	80,34
8	Galones de sika	2	4,29	8,58
9	Malla para losa	8	79,8	638,4
10	Vigas columna 90 x 15 x 15	2	21,1	42,2
11	Bloques	2500	0,22	550
			SUBTOTAL	5087,64
			IVA 12%	610,52
			TOTAL	5698,16

Lo cual se obtiene un total de \$ 5698.16 dólares

7.1.3 Mano de obra

Tabla 5.3 Costos de mano de obra

MANO DE OBRA				
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR C/U	TOTAL
1	Construcción estructura	1	1700	1700
2	Construcción obra civil	1	3000	3000
3	Construcción de colectores	1	1500	1500
4	Instalación hidráulica	1	250	250
5	Instalación baldosas y granito	1	400	400
6	Instalación eléctrica	1	200	200
			Total	7050

7.1.4. Otros costos

Tabla 5.4 Costos diversos.

ITEM	DETALLES	VALOR
1	Transporte	80
2	Útiles de Oficina	100
3	Asesoría Director de Tesis	500
4	Asesoría Codirector de Tesis	500
5	Aporte Alumno 1	1600
6	Aporte Alumno 2	1600
TOTAL		4380

7.2. Análisis financiero

El análisis financiero del proyecto tiene la finalidad de brindar confort en la utilización de una piscina para todos los meses del año. La viabilidad de éste, está dada por la sustitución del consumo que gas licuado de petróleo, utilizado principalmente por calefones y calderas. La utilización de la energía renovable como la solar trae como consecuencia la preservación de recursos naturales que adicionalmente desarrollan una conciencia para un sin número de instalaciones de piscinas que no son amigables con el cuidado del medio ambiente. Otro factor importante es que este tipo de climatización del agua genera efectos saludables para las bañistas

Es muy importante indicar que el consumo de gas licuado de petróleo para la climatización de piscinas está afectado por una eficiencia de combustión que se estima está alrededor del 60% si consideramos un valor conservador, ya que las condiciones del aire a la altura de Sangolquí son pobres para una correcta combustión.

Otro parámetro de importancia que se debe recalcar es que no todo el gas que se consume es aprovechado, de los recipientes de almacenamiento debido a

que el propio consumo genera una descompresión del tanque que no permite que volumen total sea consumido. Al igual que la eficiencia de combustión, el volumen de gas desperdiciado es difícil de cuantificar sin un estudio profundo lo cual no corresponde a nuestro tema de estudio, por lo tanto hemos tomado un valor igualmente conservador que estima un desperdicio del 5% del peso de gas envasado que se comercializa en el Ecuador.

El precio oficial de gas de uso comercial o industrial según Petrocomercial para la semana del 03 al 09 de Julio del 2008 es de 1.022498 USD por Kilogramo de GLP en terminal, sin embargo para realizar un análisis más objetivo se utilizará el precio promedio desde Enero a Julio el cual es de 0.9807 USD. A este precio se aumentan 0.15 USD/Kg. por transporte y el correspondiente IVA, lo cual suma 1.13 USD/Kg. aproximadamente y para motivos de cálculo de costos y parámetros estableceremos en 1.13 USD/Kg. de GLP para uso comercial como establece la actividad para la climatización de piscinas.

Tomando en cuenta el análisis del consumo y demanda energética del establecimiento, especificado en el Capítulo 3 (3.1 Estudio de la demanda energética de la piscina), establecemos una equivalencia energética de consumo de gas en peso de 168 Kg. de GLP al mes, sin embargo debemos aplicar las condiciones de eficiencia de combustión y desperdicio de gas como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 5.5 Estimación energética de GLP

DETALLE	CANTIDAD (Kg.)	COSTO
Demanda energética de GLP al mes.	193,43	218,58
Eficiencia de combustión (60%)	116,06	131,15
Subtotal	309,49	349,72
Desperdicio (5%)	15,47	17,49
TOTAL(mes)	324,96	367,21
TOTAL(año)		4406,50

Esta cifra sería el ahorro correspondiente a 20 cilindros de gas de 15 kilos c/u que se necesitarías para mantener el agua a 30°C. Para el mes de Junio en donde se considera más desfavorable por la ubicación de azimut, se alcanza temperaturas promedios de 26°C, teniendo un déficit de 4°C. Para compensar esta diferencia los propietarios pueden utilizar un sistema auxiliar de energía como los calefones, el consumo mensual será 75 Kg/MES de GLP (Gas Licuado de Petróleo) incluido su eficiencia de combustión, que son 5 cilindros de gas de 15kilos cada uno. Este gasto mensual sería 85 USD al mes y 1017 USD al año, como se indico anteriormente el precio del GLP es de uso comercial.

Restando estos valores, el ahorro anual en el consumo de GLP es de 3389 USD.

El costo total del proyecto se resume a continuación:

Tabla 5.6 Costo total de Implementación del Sistema

DETALLE	COSTO
Materiales	22126
Mano de Obra	7050
TOTAL	29176

7.2.1 Flujo de caja

Para la realización del flujo de caja es necesario tomar en cuenta qué porcentaje de participación en el aporte de energía tiene el sistema de calentamiento solar. Para lo cual se analiza en los diferentes meses del año con su respectiva radiación, aplicando el valor de eficiencia de los colectores solares calculado previamente y el área implementada de los mismos. En la tabla 5.7 se puede apreciar los datos de energía disponible proporcionada por los colectores para las diferentes radiaciones promedio en comparación con la energía necesaria para calentar todo el volumen de agua al día.

Tabla 5.7: Abastecimiento de energía solar anual.

MES	RADIACIÓN (WH/M2DÍA)	RADIACIÓN (KJ/DÍA)	ENERGÍA DISP (KJ/DÍA)	ENERGÍA NEC (KJ/DÍA)	DIFERENCIA (KJ/DÍA)
ENERO	5015	794376	635500,8	3771000	-3135499,2
FEBRERO	5000	792000	633600	3771000	-3137400
MARZO	4825	764280	611424	3771000	-3159576
ABRIL	4441	703454,4	562763,52	3771000	-3208236,48
MAYO	4016	636134,4	508907,52	3771000	-3262092,48
JUNIO	3784	599385,6	479508,48	3771000	-3291491,52
JULIO	3876	613958,4	491166,72	3771000	-3279833,28
AGOSTO	4239	671457,6	537166,08	3771000	-3233833,92
SEPTIEMBRE	4652	736876,8	589501,44	3771000	-3181498,56
OCTUBRE	4915	778536	622828,8	3771000	-3148171,2
NOVIEMBRE	4989	790257,6	632206,08	3771000	-3138793,92
DICIEMBRE	4991	790574,4	632459,52	3771000	-3138540,48

Analizando los resultados se aprecia claramente que al tener una diferencia negativa entre la energía disponible y la necesaria se puede concluir que el sistema de calentamiento solar en un solo día no puede elevar la temperatura de la piscina de 15 a 30°C. Este tipo de calentamiento se lo hace progresivamente durante varios días en los cuales se gana energía calorífica en el día y se pierde en parte en la noche.

A continuación se presenta la tabla para el mes de Junio, que viene a convertirse en el peor mes de irradiación que pueden captar los colectores según su configuración del ángulo de azimut.

Tabla 5.8: Abastecimiento de energía solar para el mes Junio.

MES	RADIACIÓN	RADIACIÓN	ENERGÍA DISP	ENERGÍA NEC	DIFERENCIA
	(WH/M2DÍA)	(KJ/DÍA)	(KJ/DÍA)	(KJ/DÍA)	(KJ/DÍA)
JUNIO	3784	599385,6	479508,48	3771000	-3291491,52
	3784	599385,6	479508,48	3291491,52	-2811983,04
	3784	599385,6	479508,48	2811983,04	-2332474,56
	3784	599385,6	479508,48	2332474,56	-1852966,08
	3784	599385,6	479508,48	1852966,08	-1373457,6
	3784	599385,6	479508,48	1373457,6	-893949,12
	3784	599385,6	479508,48	893949,12	-414440,64
	3784	599385,6	479508,48	414440,64	65067,84

Como podemos observar para climatizar la piscina con las condiciones dadas se necesita de 8 días de irradiación permanente en días consecutivos para elevar la temperatura de 15 a 30°C, esto sería en condiciones ambientales ideales, pero hay días que se tiene irradiación difusa y existe pérdidas de temperatura debido a: pérdidas por evaporación, conducción, convección y radiación

Compensado estas pérdidas se puede concluir que en unos 12 días aproximadamente se puede alcanzar la temperatura deseada

Para el consumo de la Energía Eléctrica se considera el consumo eléctrico de la bomba, sistema de control y de luminarias para la noche. La potencia de la bomba es de 1.5 hp equivalente a 1.118 Kw, al día el funcionamiento promedio será de 3 horas, que durante el mes será de 90 horas aproximadamente. Las luminarias no serán utilizadas con mucha frecuencia y es equivalente a 800 w y será utilizada unas 10 horas en el mes y el control lógico programable plc de 50 w que funcionara todo el día.

Analizado estos valores se consumirán unos 150 Kwh, el precio del kwh es de 0.12 ctvs. mas los recargos por conceptos de planilla de luz, cuerpo de bomberos, tasa de recolección de basura se obtiene un costo aproximado de \$ 25 dólares al mes y \$ 300 dólares al año.

Para calcular el consumo de Agua se consulto una planilla de Consumo de Agua de la EMAAP-Q, Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable,

con el fin de realizar un acercamiento adecuado, y se obtuvo un valor de 0.60 USD por m³ de agua. El volumen del vaso de la piscina es de 60m³ + un 30% para compensar las pérdidas térmicas y de mantenimiento. Cada 2 meses se vaciará el agua de la piscina y se renovará por agua nueva

Adicionalmente en las planillas de consumo de agua, existe un recargo de Administración de Clientes Mensual de 2.10 USD, y un recargo porcentual del 38.6% del consumo, para el Alcantarillado.

Mensualmente se consumirá un volumen promedio de 40m³ más el recargo por concepto de alcantarillado y otros impuestos se pagaran al mes la cantidad de \$ 36 dólares, \$ 432 dólares al año.

Las personas que utilizaran la piscina serán sus propietarios y familiares allegados, se estima que para cada fin de semana utilicen un promedio de 30 personas entre adultos y niños. El costo por este concepto será de \$ 2, USD para los adultos y \$ 1.50 para los niños, en promedio se tendrá un ingreso de \$. 53 USD en un fin de semana (sábado y domingo), que en el año utilicen un promedio de 26 semanas que nos da un total y \$ 1378 USD al año.

El valor del mantenimiento incluye la limpieza de los colectores solares, corrección de fugas en el circuito hidráulico y limpieza de la bomba y filtro. Además, el mantenimiento del agua de la piscina como: limpieza mediante un carro aspiradora del fondo de la piscina, retiro de insectos en la superficie y el cambio periódico de químicos que mantienen regulado el pH del agua y cloro presente en el agua de la piscina

Con lo anteriormente mencionado se establece un valor de \$ 30 dólares al mes y \$ 360 al año.

Además se toma un valor de depreciación del 5% anual, tomando en cuenta una vida útil del equipo de 20 años.

A continuación se presenta la tabla que determina el flujo de caja del proyecto.

Tabla 5.9 flujo de caja del proyecto.

Año	Ingresos (ahorro):	Costos de funcionamiento					Inversión:	Depreciación	Flujo de Caja	Saldo Acum.
		Mantenimiento:	Energía eléctrica:	agua	GLP Auxiliar					
0	0	0	0	0	0	29176	0	-29176	-29176	
1	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-25059,2	
2	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-20942,4	
3	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-16825,6	
4	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-12708,8	
5	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-8592	
6	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-4475,2	
7	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	-358,4	
8	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	3758,4	
9	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	7875,2	
10	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	11992	
11	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	16108,8	
12	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	20225,6	
13	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	24342,4	
14	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	28459,2	
15	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	32576	
16	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	36692,8	
17	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	40809,6	
18	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	44926,4	
19	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	49043,2	
20	4767	360	300	432	1017	0	1458,8	2658	53160	

7.2.2 TIR Y VAN:

Tabla 6.0 Representación de las cantidades de TIR y VAN.

AÑO	INVERSIÓN	AHORRO	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	-29176	0		-29176
1	0	2658	2109	2658
2	0	2658	2109	2658
3	0	2658	2109	2658
4	0	2658	2109	2658
5	0	2658	2109	2658
6	0	2658	2109	2658
7	0	2658	2109	2658
8	0	2658	2109	2658
9	0	2658	2109	2658
10	0	2658	2109	2658
11	0	2658	2109	2658
12	0	2658	2109	2658
13	0	2658	2109	2658
14	0	2658	2109	2658
15	0	2658	2109	2658
16	0	2658	2109	2658
17	0	2658	2109	2658
18	0	2658	2109	2658
19	0	2658	2109	2658
20	0	2658	2109	2658
	SUMA =	7893	1092	23984

Al final del período tendremos un VAN final y un TIR de:

Tabla 6.1 TIR y VAN al final del Período

TIR	6.55%
VAN	30487

Si bien el valor actual neto indica una magnitud positiva, tanto este como la tasa interna de retorno reflejan que la viabilidad e importancia del proyecto no son precisamente de carácter económico como se mencionó al inicio de este capítulo.

7.2.3 Recuperación de la inversión:

Cómo fue posible apreciar en los datos anteriores, la inversión para la implementación de este sistema es relativamente alta al igual que el ingreso que para este caso es el ahorro de combustible. Sin embargo la vida útil del proyecto es prolongada y permite tener un beneficio apropiado a lo largo de la misma.

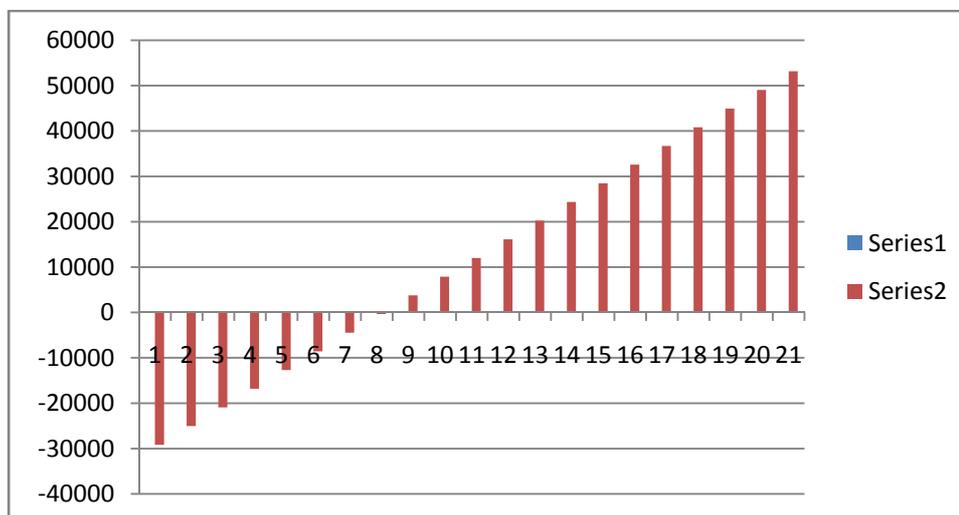


Figura 8.9 Gráfico de recuperación de inversión.

Como se aprecia en la gráfica anterior se recupera el total de la inversión en el octavo año, lo cual podría considerarse apropiado para este tipo de proyectos con beneficio a mediano y largo plazo.

$$\text{Costo / Beneficio} = 0.40$$

Analizando la relación costo beneficio al ser este valor menor a 1, se observa que el beneficio supera al costo de manera apropiada y por lo tanto existe además de los beneficios intangibles un beneficio económico.

CAPITULO 8.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- La construcción de un sistema de climatización de la piscina de 60m³ mediante la utilización de la energía solar se realizó a cabalidad con resultados exitosos descritos y tomados en cuenta en la sección teórica de diseño térmico.
- Los sistemas de climatización de las piscinas mediante la utilización de la energía solar térmica para el Ecuador son rentables, pues presentan una confiabilidad del 70%, una disponibilidad del 40% y los parámetros económicos de inversión permite una recuperación a mediano plazo.
- El diseño de los colectores realizado para la captación energética del sol frente a la demanda energética requerido para climatizar la piscina presenta una fracción solar cerca del 80%, lo cual implica que el diseño es adecuado.

- El calentamiento o climatización de una piscina mediante colectores solares es de forma gradual, las condiciones requeridas por los usuarios (bañistas) contempla el transcurso de al menos 15 días para llegar en estas condiciones con una irradiación solar de tipo moderado.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el diseño y construcción de los sistemas de aprovechamiento solar posicionar los captadores con un ángulo de inclinación de 10° y azimut en dirección sur-este (para sitios en el Ecuador) pues este grado de inclinación y azimut permite el máximo aprovechamiento en las dos temporadas de solsticio durante el año.
- Se recomienda en el diseño térmico para implementar el sistema de aprovechamiento de la energía solar mediante colectores solares para climatizar piscinas, determinar el número o cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda mediante los tres métodos descritos en el capítulo 3.
- Se recomienda realizar acciones de mantenimiento correctivo o predictivo de la bomba o sistema hidráulico en horarios de la tarde o de irradiancia del sol permanente difusa (“baja”) para evitar acumulación elevada de calor (por falta de circulación de agua) en los colectores incrementando el riesgo de accidentes de quemaduras causadas por el desprendimiento de vapores o prejuicios para el sistema.
- Se recomienda utilizar la manta térmica de aislamiento cuando no se utiliza la piscina para evitar las pérdidas de energía principalmente generadas por la evaporación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Referencias bibliográficas

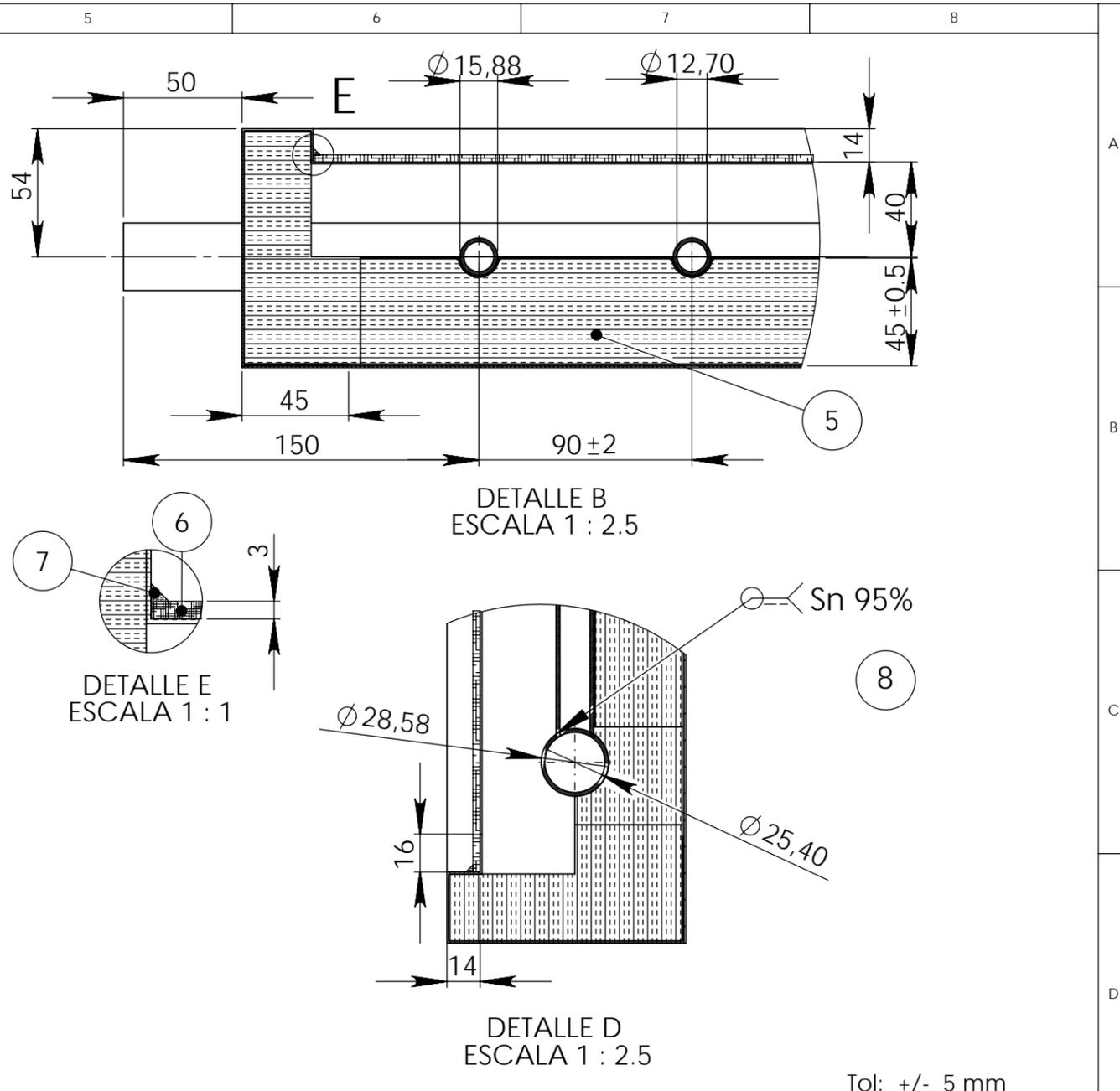
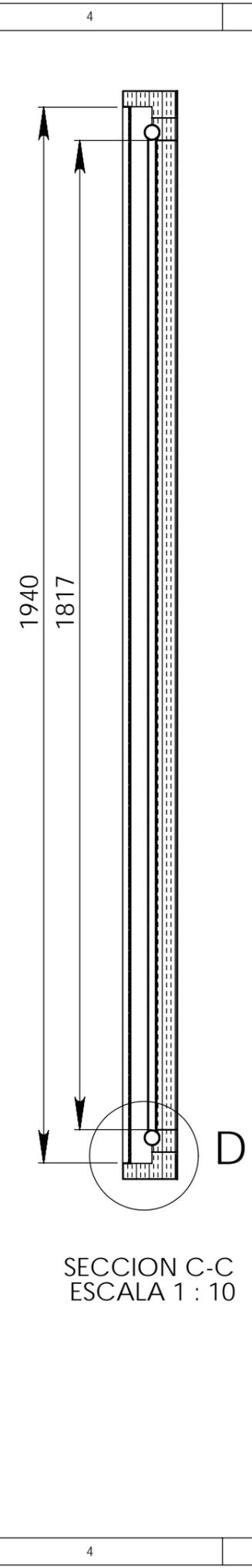
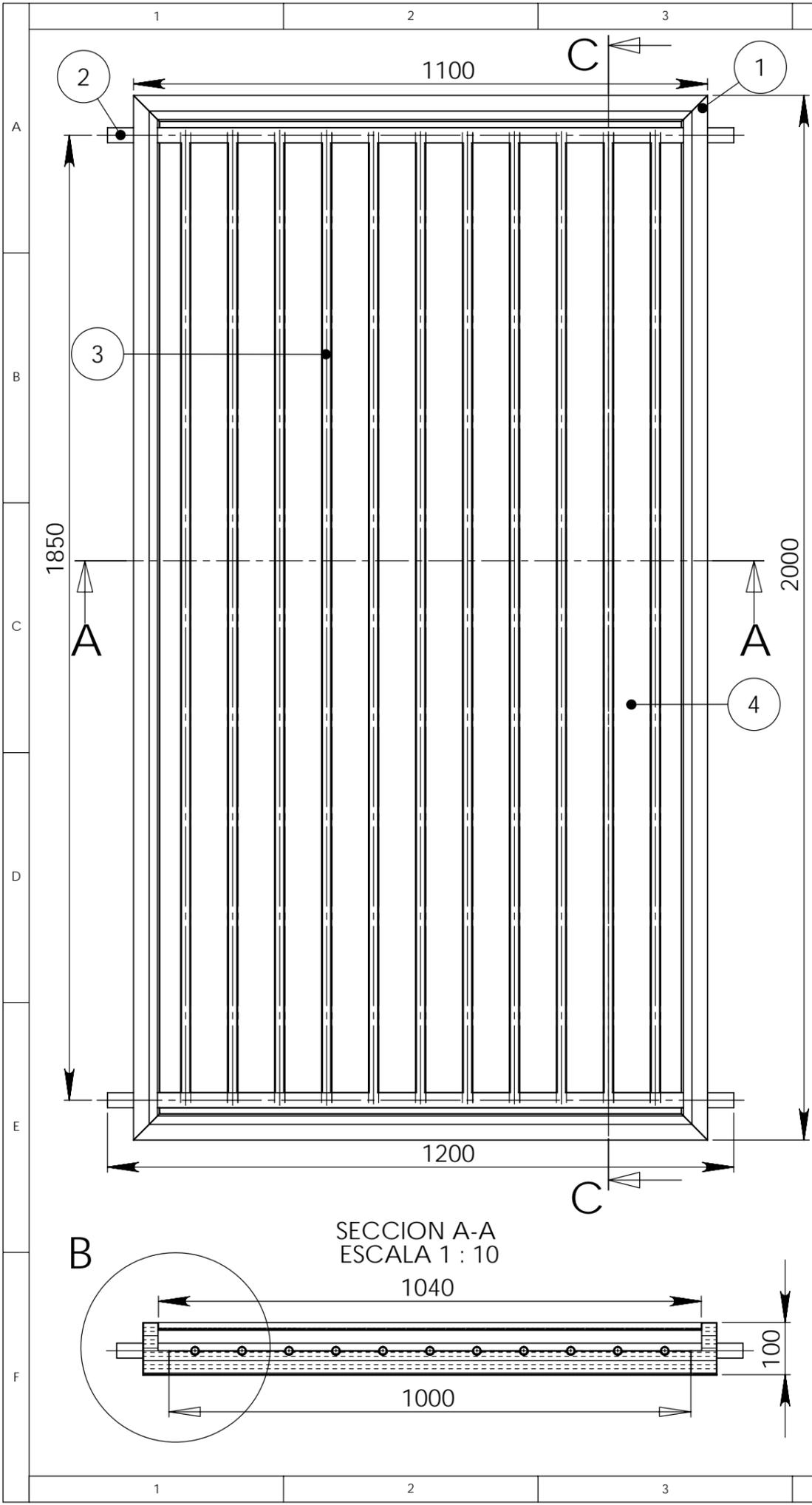
- F.KREITH, W.Z.BLACK.La transmisión del calor, principios fundamentales.
- LLUIS JUTGLAR. Energía Solar, Energías alternativas y medio ambiente.
- MARKS. Manual del ingeniero mecánico. Vol II.
- FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER. Solar wáter & pool heating installation & operation. 2nda edición.
- INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. Traducido del inglés por Ricardo Cruz. 4ta ed. México, Prentice Hall.
- MOTT, R. Mecánica de Fluidos Aplicada. Traducido del inglés por Carlos Cordero. 4ta ed. México, Prentice Hall, 569 p.
- ING. JOSE GUASUMBA, Energías alternativas para el desarrollo sustentable; Solar térmica, fotovoltaica, eólica; ed.2006.
- PET-REV, Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura (normas españolas);ed. 2002
- GORDON J. VAN WYLEN, RICHARD E. SONNTAG, Fundamentos de termodinámica.

DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://solardat.uregon.edu/SunChartProgram.html>, Sun chart program, programa online para determinar las cartas solares.
- http://www.ciatesa.es/data/documentos_tecnicos/public/2005-11-28_Climatizacion_piscinas_cubiertas.pdf
- <http://www.schneider-electric.com.mx/opencms/opencms/SchneiderElectric/modules/DisplayProductosTMF.jsp?FileName=4Telemecanique>
- <http://www.us.telemecanique.com/>
- <http://www.olade.org/>
- <http://www.censolar.es/>
- <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28038.pdf>
- www.construaprende.com/

APÉNDICE A

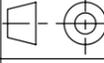
- A.1 PLANOS.**
- A.2 DIAGRAMAS DE PROCESOS.**
- A.3 EJEMPLO DE CALCULOS.**
- A.4 FOTOCOPIAS ANEXOS.**
- A.5 PROGRAMA PLC.**
- A.6 CARTA DE CONFORMIDAD.**
- A.7 FOTOS.**

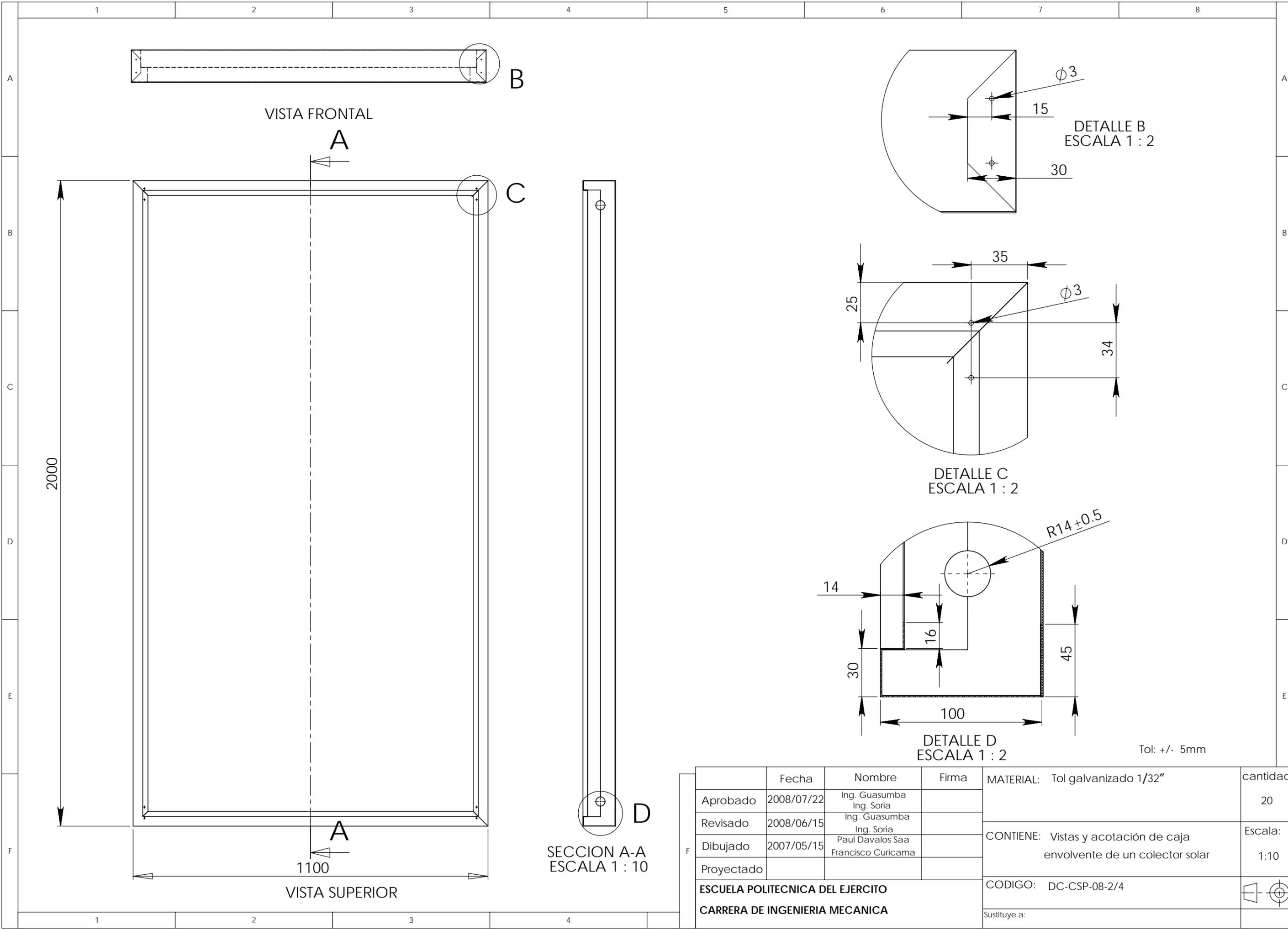


No.	POS.	DENOMINACION	CANT.	DIBUJO	MATERIAL	OBSERVACION
8	C-8	Cordón de soldadura	6 rollos	DC-CSP-08-1/4	95% Estanio	rollo de 400m
7	B-5	Sello de la cubierta	8 tubos	DC-CSP-08-1/4	Silicón	transparente
6	C-5	Cubierta transparente	20	DC-CSP-08-1/4	Vidrio templado	1940 x1040 x 4
5	B-7	Aislante térmico	20x1 m3	DC-CSP-08-1/4	Poliuretano	dim. 1x2x.45 m
4	C-3	Placa absorbora	20	DC-CSP-08-1/4	Alumninio	e = 0.5 mm
3	B-2	Tubo serpentín	220	DC-CSP-08-1/4	Cobre	1/2" tipo M
2	A-1	Flauta	40	DC-CSP-08-1/4	Cobre	1" tipo M
1	A-3	Caja envolvente	20	DC-CSP-08-2/4	Tol galvanizado	e = 1/32"

		Fecha	Nombre	Firma	MATERIAL:	cantidad
Aprobado	2008/07/22	Ing. Guasumba	Ing. Soria		CONTIENE: Vistas y acotación de un colector solar plano	Escala: 1: 10
Revisado	2008/06/15	Ing. Guasumba	Ing. Soria			
Dibujado	2008/05/15	Paul Davalos Saa	Francisco Curicama		CODIGO: DC-CSP-08-1/4	
Proyectado					Sustituye a:	

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

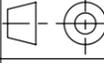


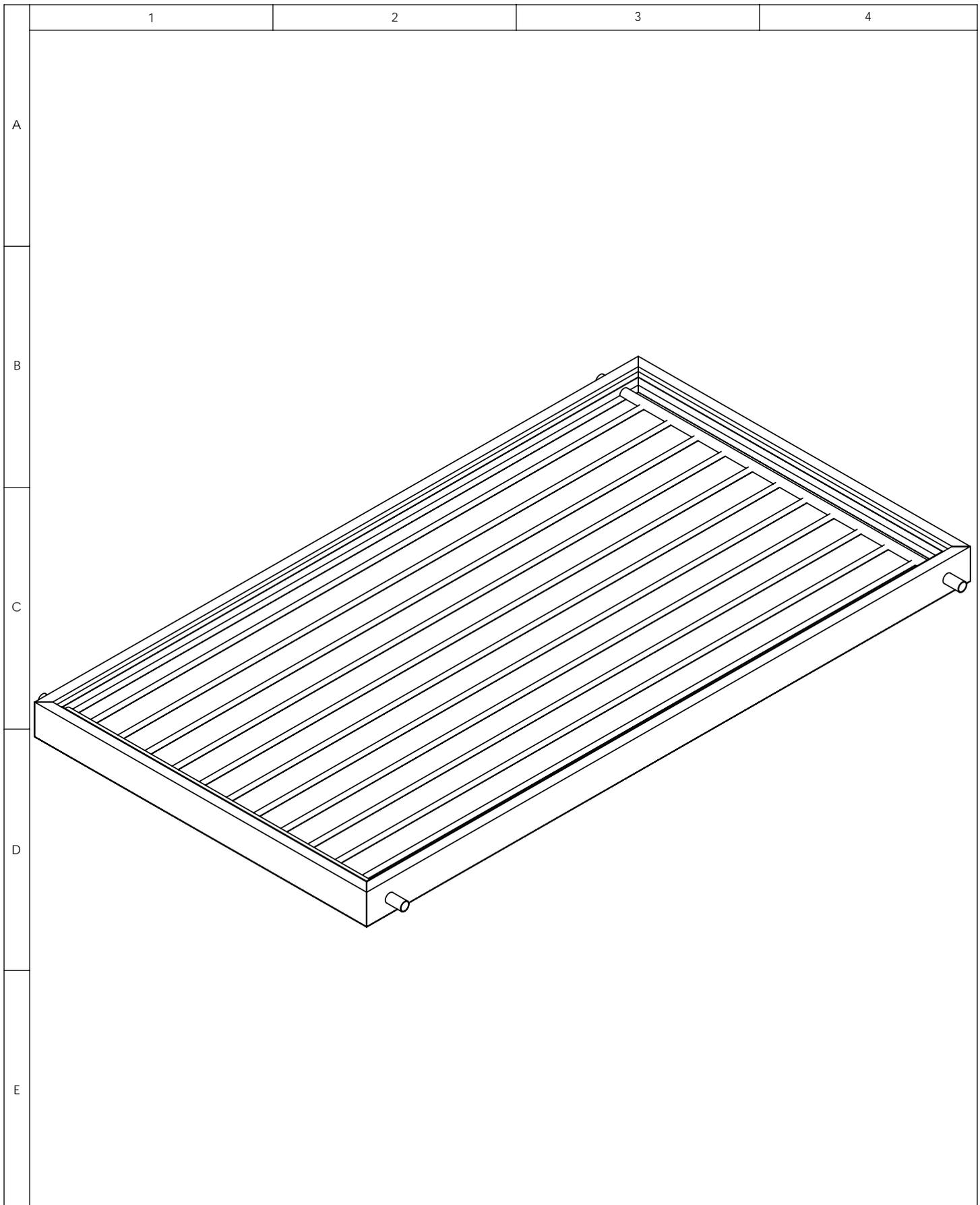


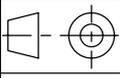
Tol: +/- 5mm

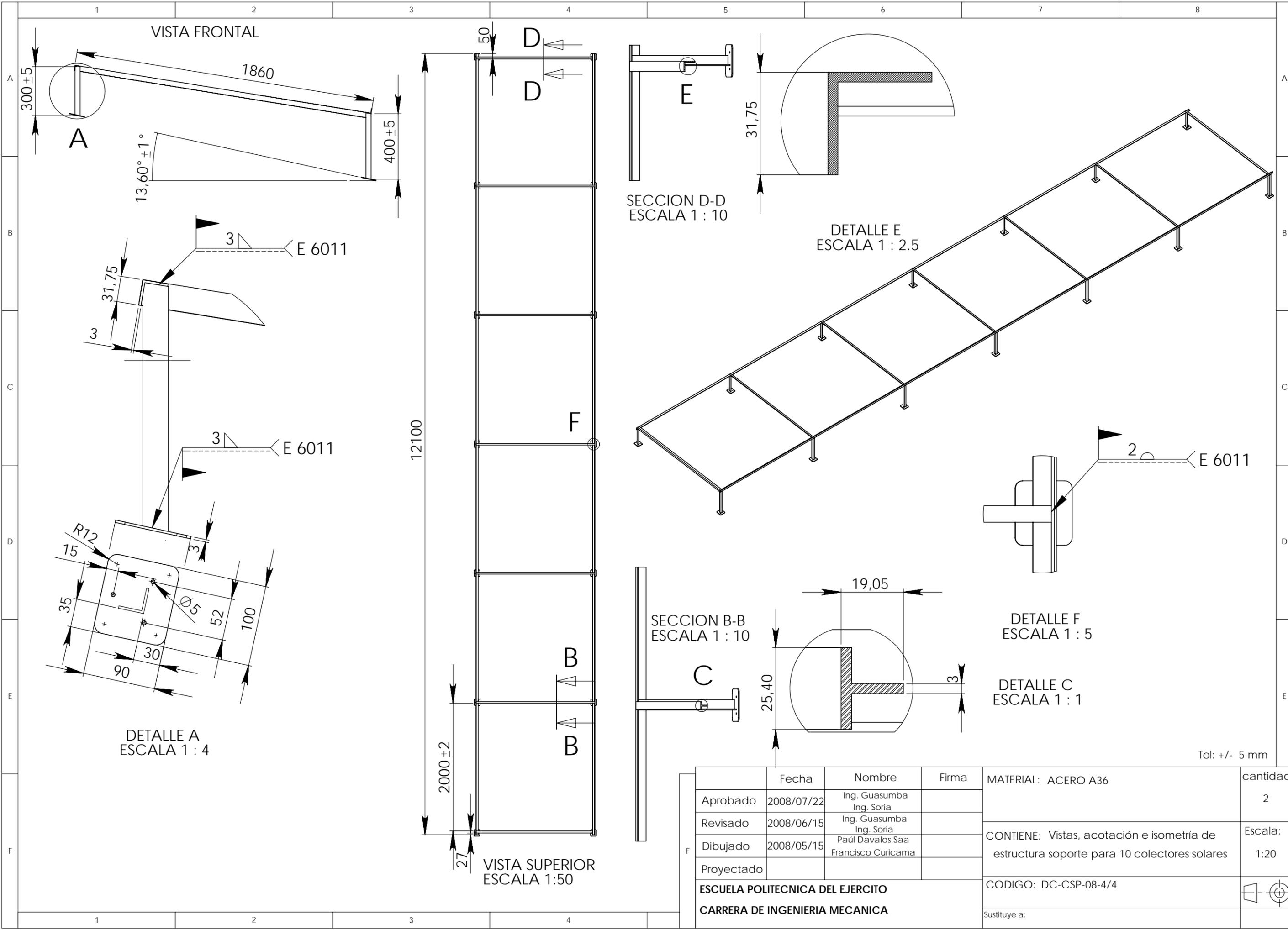
	Fecha	Nombre	Firma	MATERIAL: Tol galvanizado 1/32"	cantidad
Aprobado	2008/07/22	Ing. Guasumba Ing. Soria		CONTIENE: Vistas y acotación de caja envolvente de un colector solar	20
Revisado	2008/06/15	Ing. Guasumba Ing. Soria			Escala: 1:10
Dibujado	2007/05/15	Paul Davalos Saa Francisco Curicama		CODIGO: DC-CSP-08-2/4	
Proyectado				Sustituye a:	

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA





	Fecha	Nombre	Firma	MATERIAL:	cantidad
Aprobado	2008/07/22	Ing. Guasumba Ing. Soria		CONTIENE: Isometría de colector solar plano	20
Revisado	2008/06/15	Ing. Guasumba Ing. Soria			Escala: 1:12
Dibujado	2008/05/15	Paul Davalos Saa Francisco Curicama			
Proyectado					
ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO				CODIGO: DC-CSP-08-3/4	
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				Sustituye a:	



VISTA FRONTAL

1860
300 ± 5
400 ± 5
13,60° ± 1°

12100

2000 ± 2

VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:50

SECCION D-D
ESCALA 1:10

DETALLE E
ESCALA 1:2.5

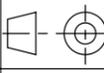
SECCION B-B
ESCALA 1:10

DETALLE F
ESCALA 1:5

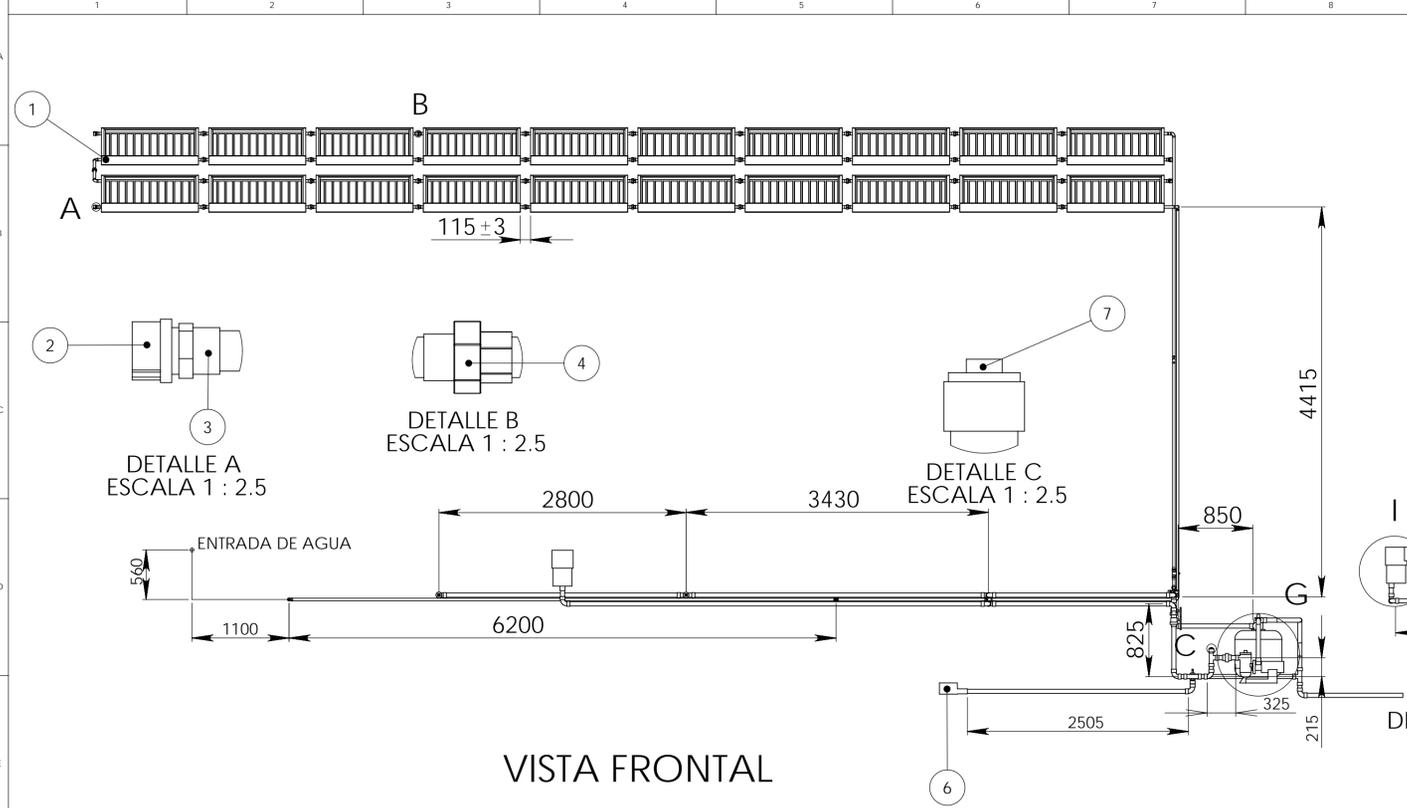
DETALLE C
ESCALA 1:1

DETALLE A
ESCALA 1:4

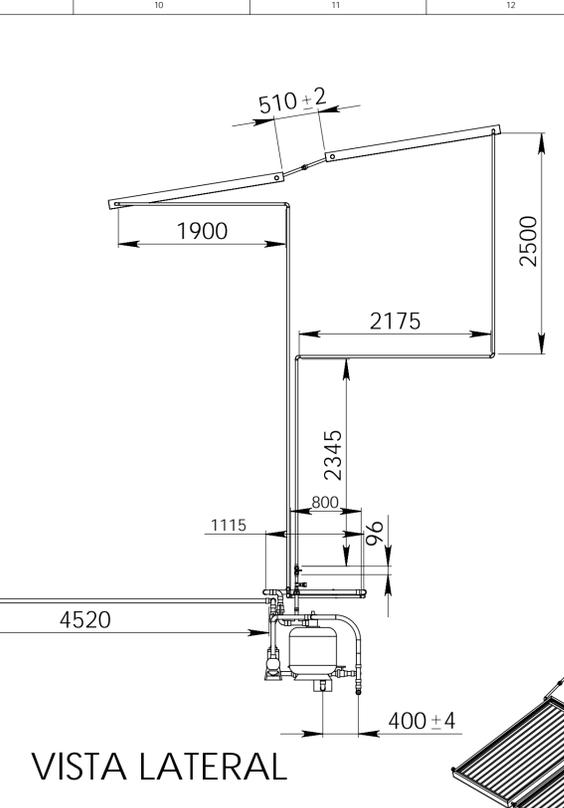
Tol: +/- 5 mm

	Fecha	Nombre	Firma	MATERIAL: ACERO A36	cantidad
Aprobado	2008/07/22	Ing. Guasumba Ing. Soria		CONTIENE: Vistas, acotación e isometría de estructura soporte para 10 colectores solares	Escala: 1:20
Revisado	2008/06/15	Ing. Guasumba Ing. Soria			
Dibujado	2008/05/15	Paúl Davalos Saa Francisco Curicama		CODIGO: DC-CSP-08-4/4	
Proyectado				Sustituye a:	

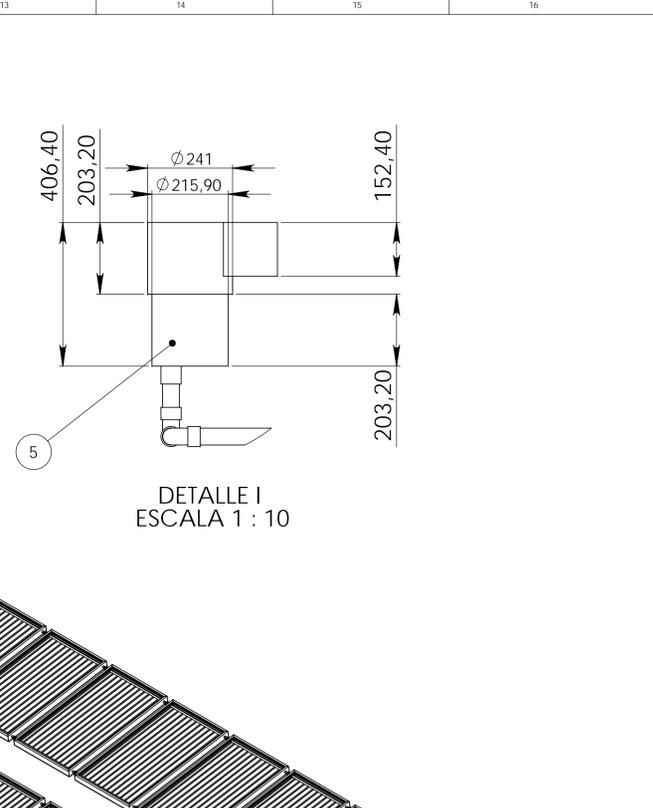
ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA



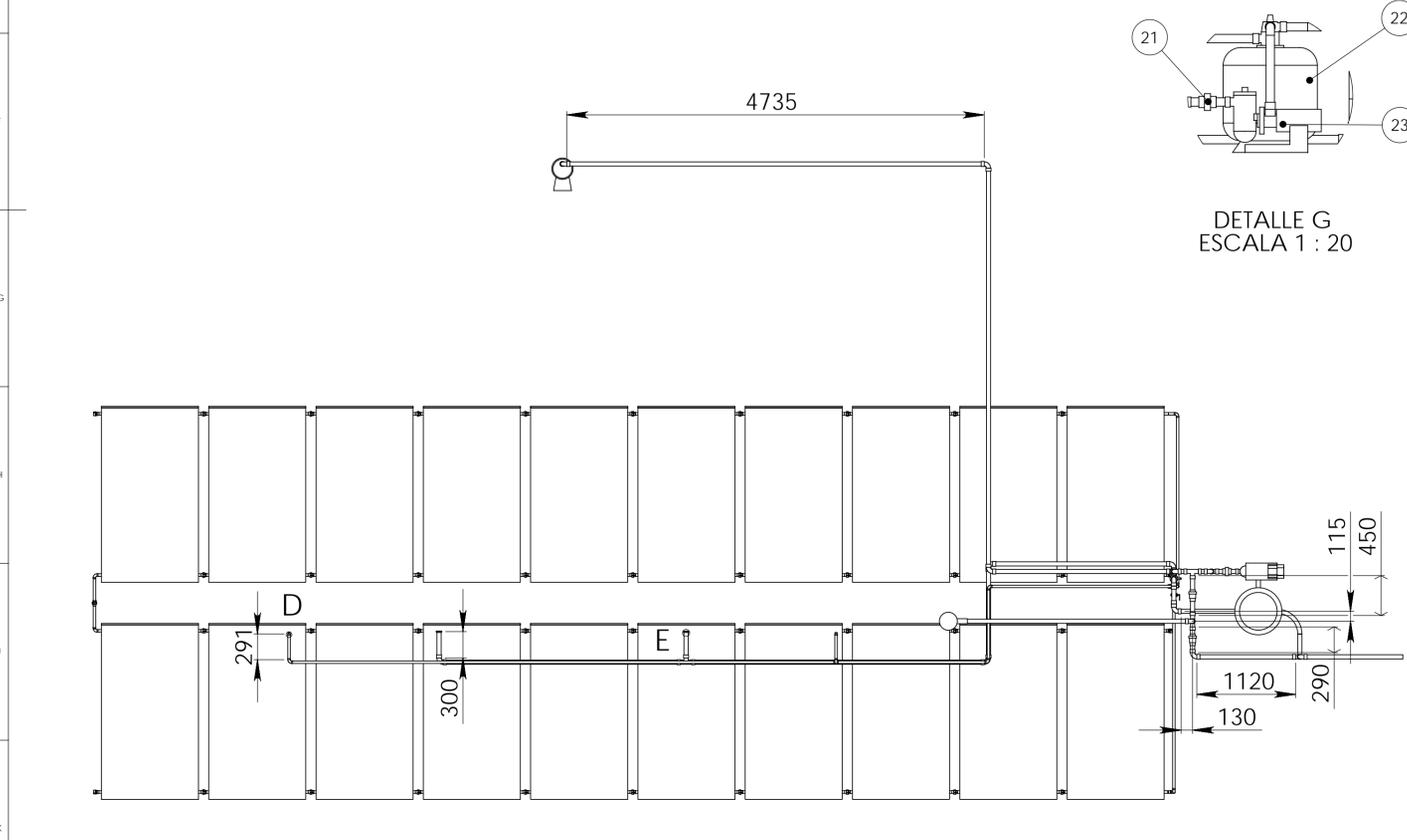
VISTA FRONTAL



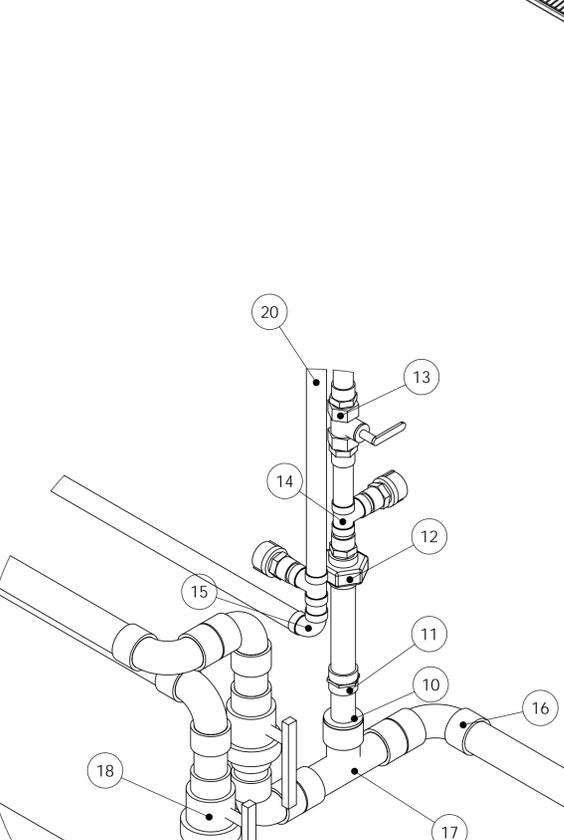
VISTA LATERAL



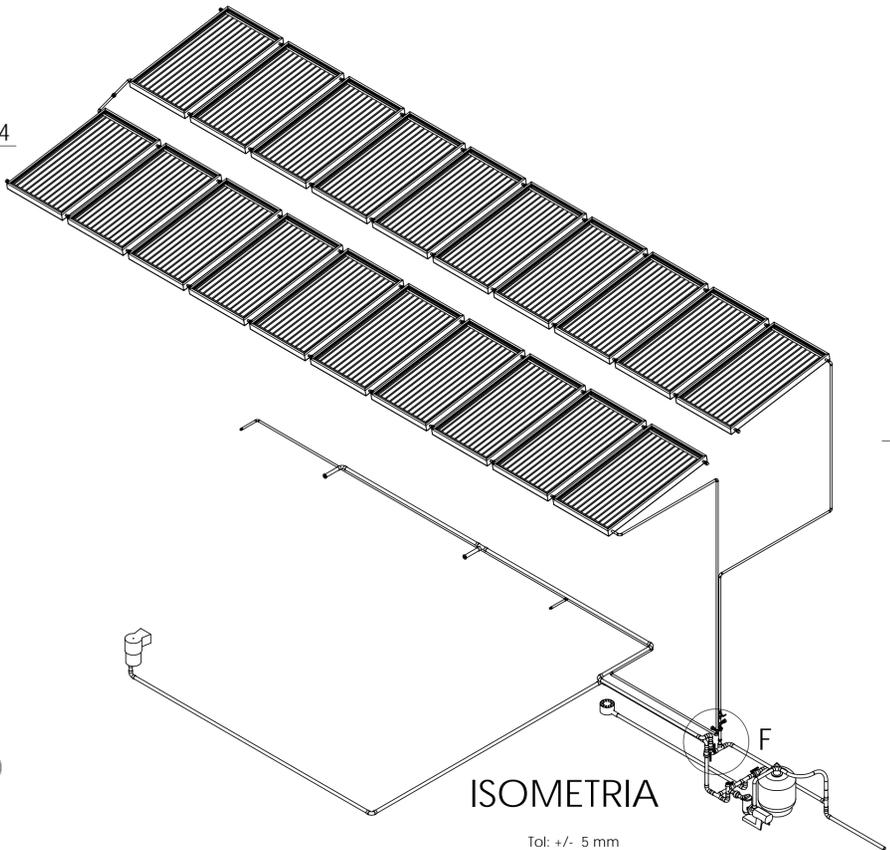
DETALLE I
ESCALA 1 : 10



VISTA INFERIOR



DETALLE F
ESCALA 1 : 5

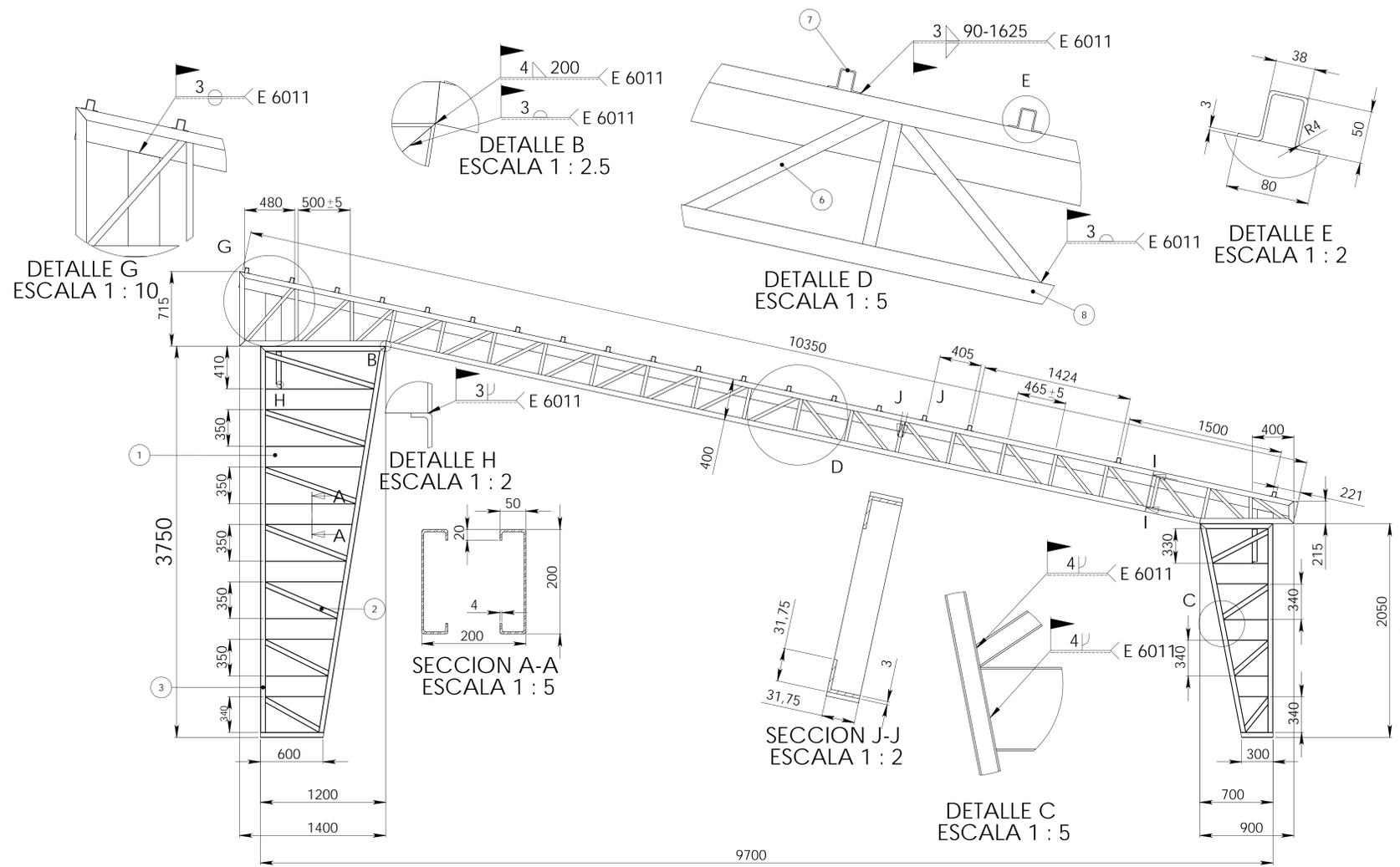


ISOMETRIA

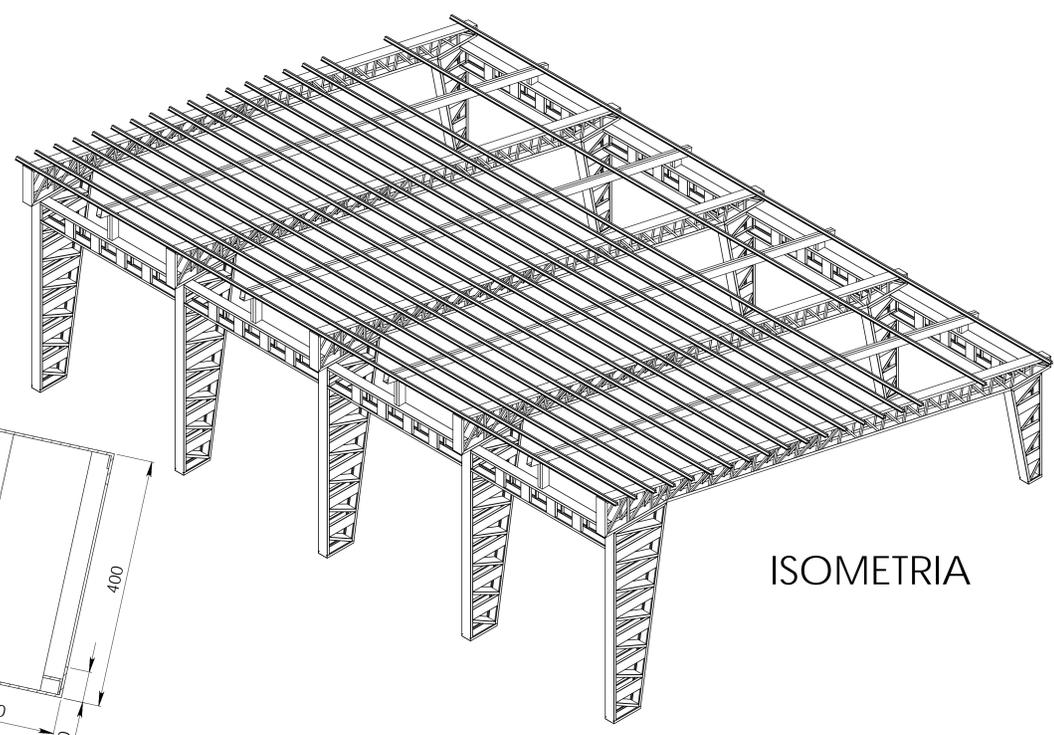
Tol: +/- 5 mm

No.	POS.	DENOMINACION	CANT.	DIBUJO	MATERIAL	OBSERVACION
23	F-7	Bomba de caudal	1	DC-CH-08-1/1	-	1 1/2 HP
22	F-8	Filtro de arena	1	DC-CH-08-1/1	P.V.C	Recipiente 21"
21	F-7	Universal	1	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1 1/2"
20	E-15	Tubo de agua caliente	5	DC-CH-08-1/1	Cobre	1" tipo M
19	G-15	Tubo de recirculación	4	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1 1/2" de presión
18	F-15	Válvula de compuerta	4	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1 1/2"
17	F-15	Tee	6	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1 1/2"
16	F-16	Codo 90°	16	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1 1/2"
15	F-15	Codo 90°	11	DC-CH-08-1/1	Cobre	1"
14	F-15	Tee	3	DC-CH-08-1/1	Cobre	1"
13	F-15	Válvula de compuerta	1	DC-CH-08-1/1	Bronce	1"
12	E-15	Universal	1	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1"
11	F-15	Adaptador de rosca	1	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1"
10	F-15	Adaptador para tubo P.V.C	1	DC-CH-08-1/1	P.V.C	1 1/2" - 1"
9	L-5	Collarin	2	DC-CH-08-1/1	P.V.C	Salida 1/2"
8	L-2	Reductor de sección	2	DC-CH-08-1/1	Cobre	1" - 3/4"
7	C-6	Posada para sensor	1	DC-CH-08-1/1	P.V.C	diam. 1/4"
6	E-6	Rejilla	1	DC-CH-08-1/1	Plástico	diam. 8"
5	D-4	Desnatador o skimmer	1	DC-CH-08-1/1	Plástico	dim. 8" x 6"
4	C-3	Universal	37	DC-CH-08-1/1	Bronce	1" para tubo cobre
3	C-2	Adaptador para tubo	9	DC-CH-08-1/1	Cobre	1" para tubo cobre
2	C-1	Tapón tipo sombrero o hembra	6	DC-CH-08-1/1	HG	1"
1	B-1	Colector solar	20	DC-CSP-08-1/4	Compuesto	1.1 x 2 m

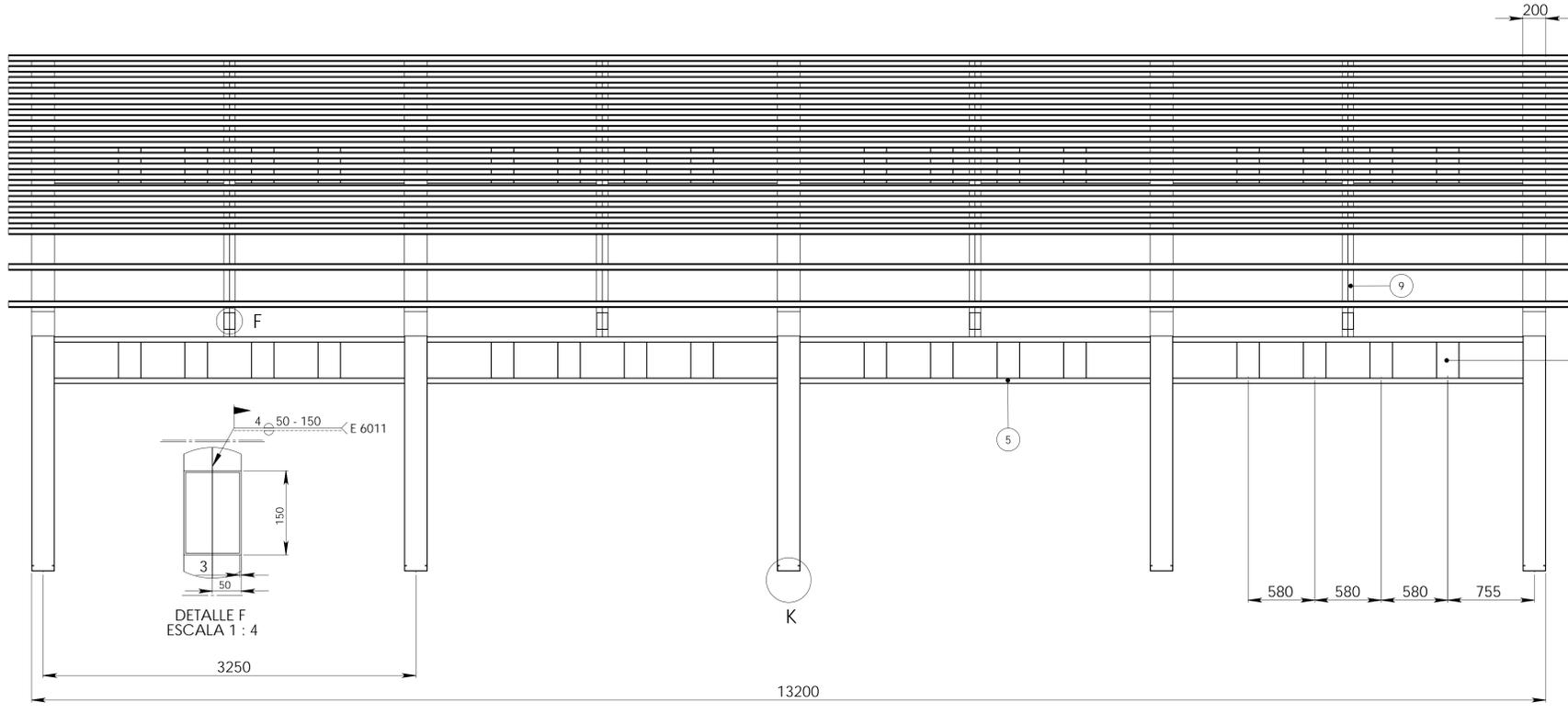
No.	POS.	DENOMINACION	CANT.	DIBUJO	MATERIAL	OBSERVACION
						cantidad
						1
						Escala:
						1:40
CONTENIENE: Vistas, acotación e isometria de un circuito hidraulico para climatizar una piscina de 60 m3 mediante colectores solares						
ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
CODIGO: DC-CH-08-1/1 Sustituye a:						



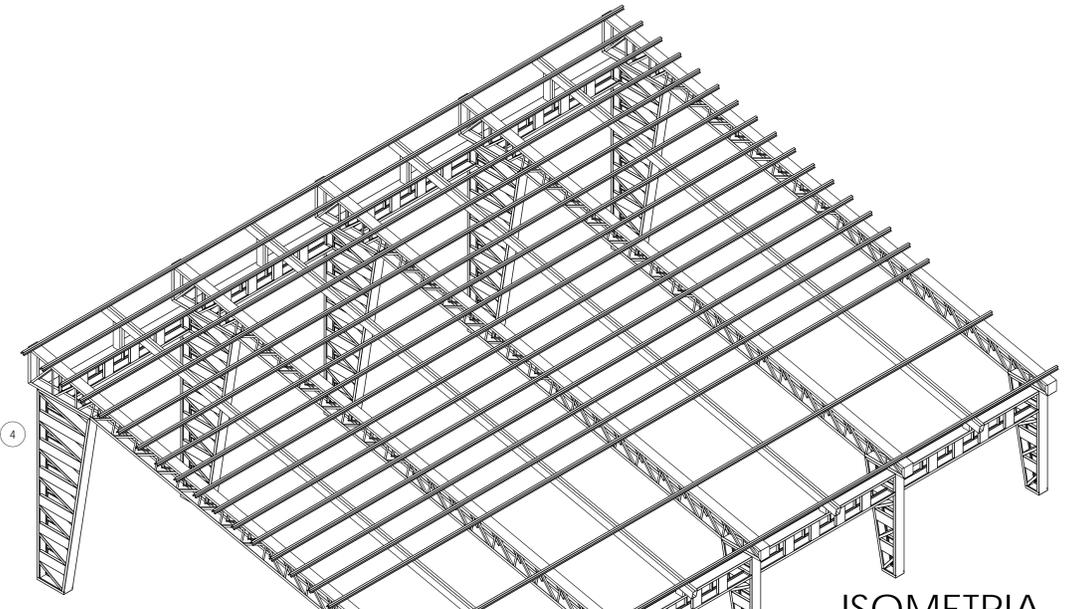
VISTA FRONTAL



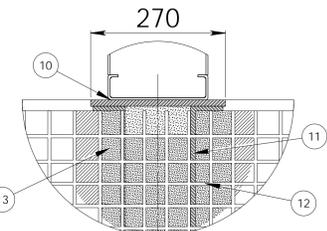
ISOMETRIA



VISTA LATERAL



ISOMETRIA



DETALLE K ESCALA 1 : 5

No.	POS.	DENOMINACION	CANT.	DIBUJO	MATERIAL	OBSERVACION
13	O-16	Repleno de la base	10 m ³	DC-ESM-08-1/1	Acero al carbono	2' x 1/4"
12	O-16	Malta metálica	40 m ²	DC-ESM-08-1/1	Acero al carbono	2' x 1/4"
11	O-16	Plinto	20 un.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	1.2 m
10	O-16	Base cuadrada	75 Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	270 x 12.7
9	M-12	Correa de perfil C	505 Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	150 x 50 x 3
8	C-11	Correa de perfil C	988 Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	200 x 50 x 4
7	A-9	Omega	1060 Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	80 x 50
6	B-9	Angulo perfil	550 Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	1 1/4" x 1/8"
5	M-10	Correa de perfil G		DC-ESM-08-1/1	Acero A36	200 x 50 x 4
4	M-13	Correa de perfil G		DC-ESM-08-1/1	Acero A36	200 x 50 x 4
3	G-4	Correa de perfil G	2430	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	200 x 50 x 4
2	F-4	Correa de perfil G	Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	200 x 50 x 4
1	E-4	Correa de perfil G		DC-ESM-08-1/1	Acero A36	200 x 50 x 4

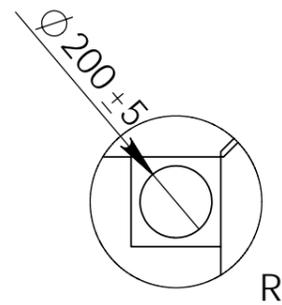
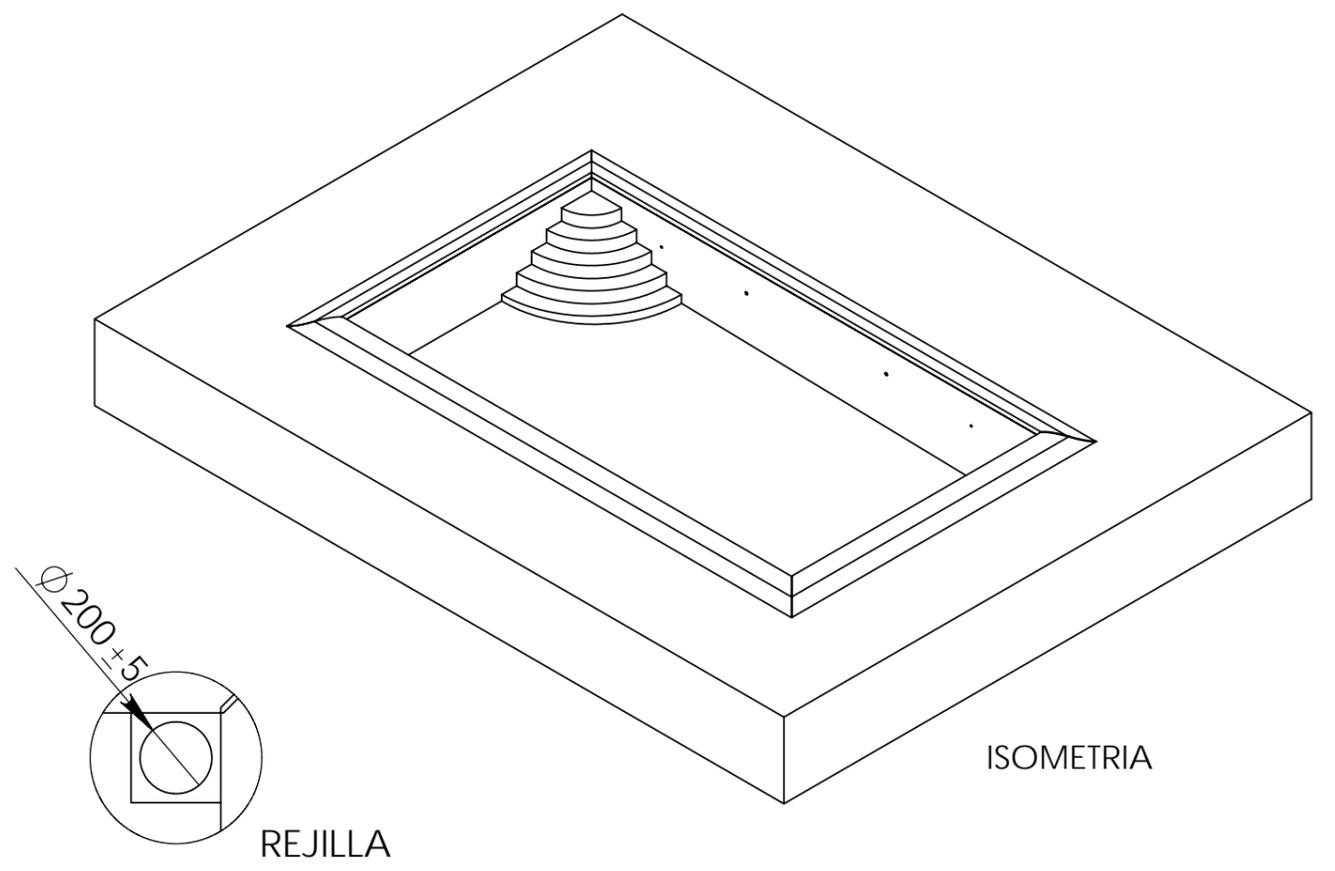
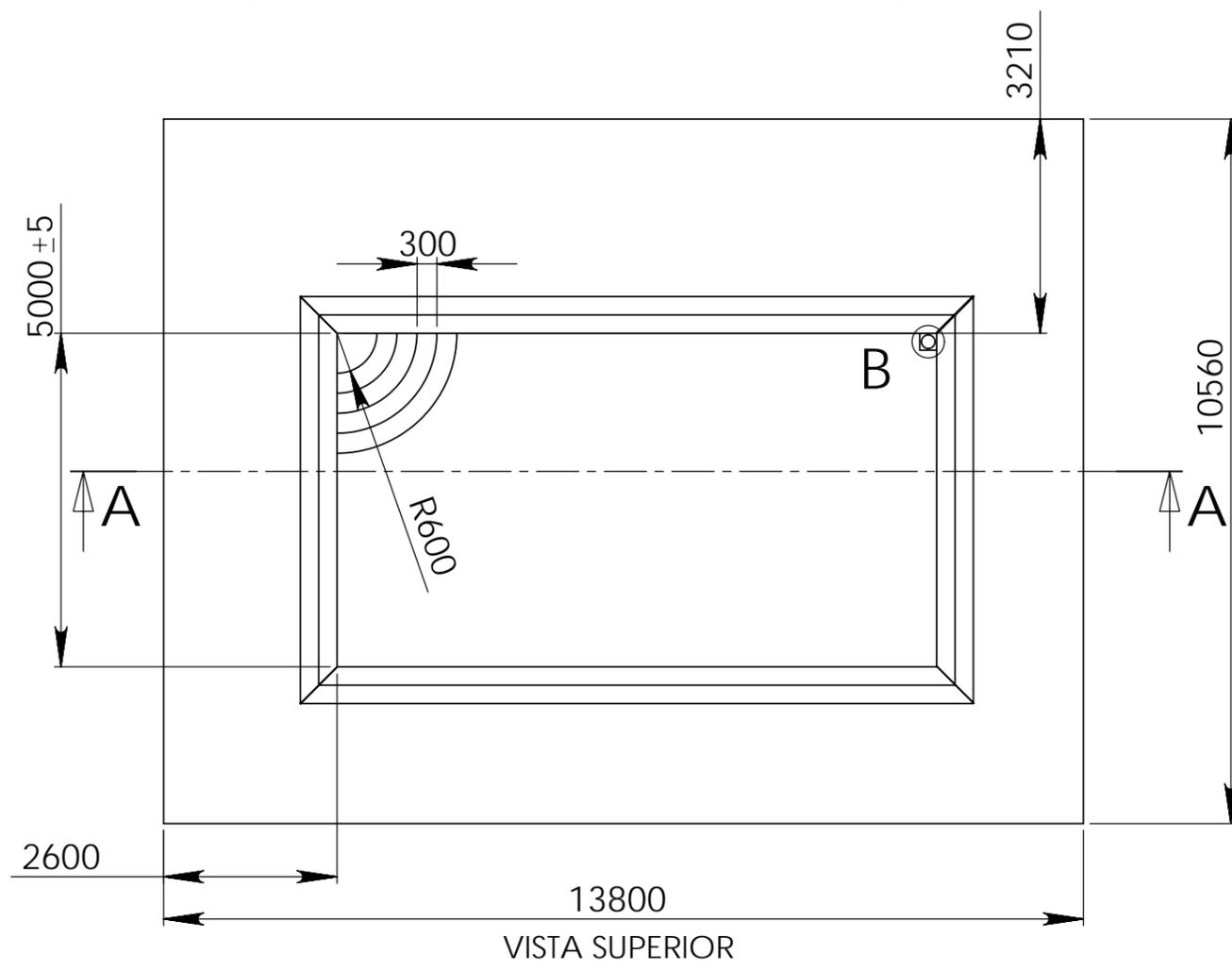
Fecha: 2008/07/22
 Revisado: 2008/06/15
 Dibujado: 2008/05/15
 Proyecto:

Ing. Guzmán
 Ing. Soria
 Ing. Guzmán
 Ing. Soria
 Paul Olivares
 Francisco Guzmán

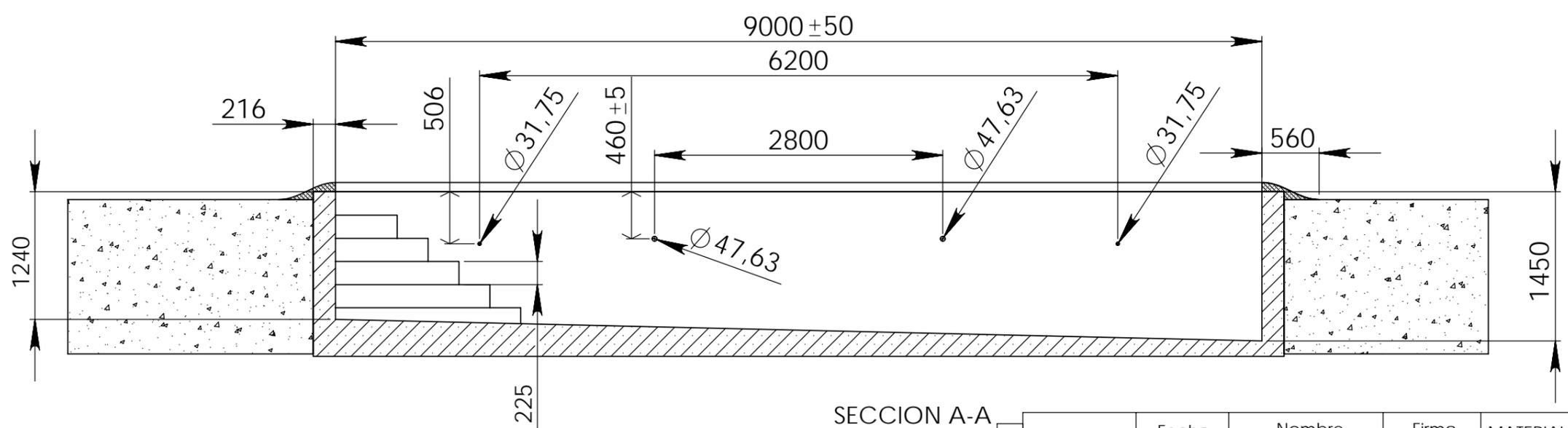
Materiales: Acero A36
 CONTENIDO: Vistas, acotación e isometría de estructura metálica.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Total electrodos: 66 lb.
 Proporc. 1:1/2
 Escala: 1:20
 CODIGO: DC-ESM-08-1/1

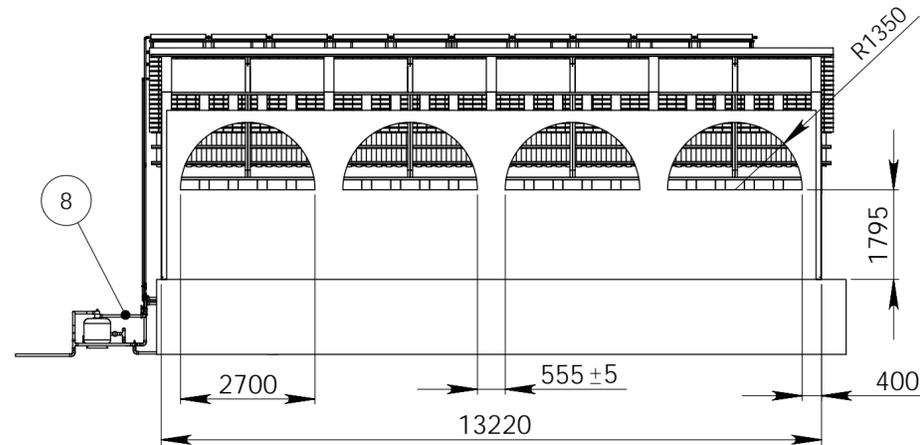
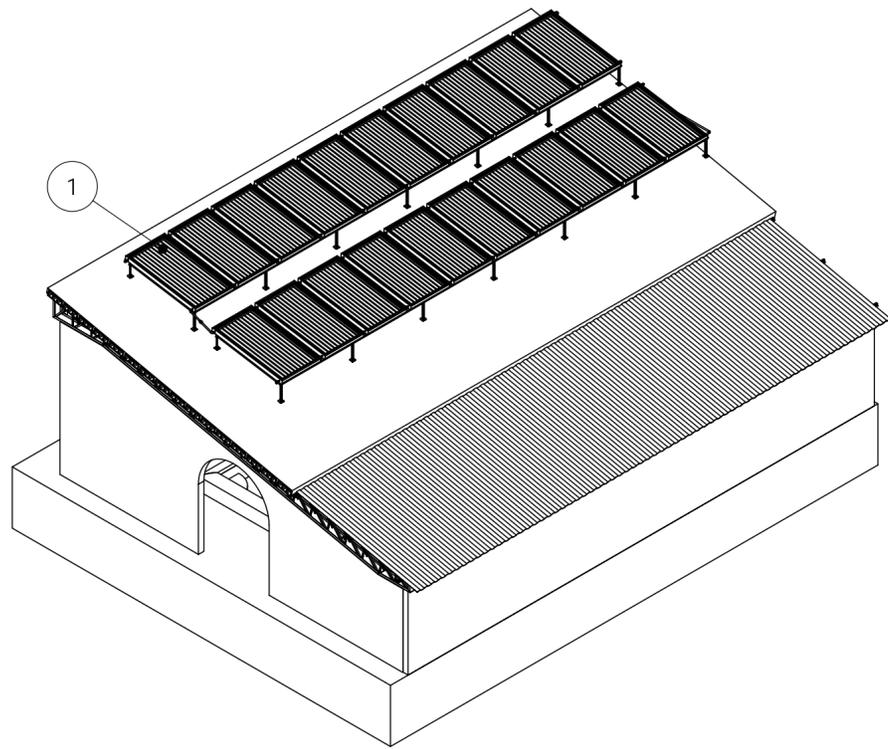


DETALLE B
ESCALA 1 : 20

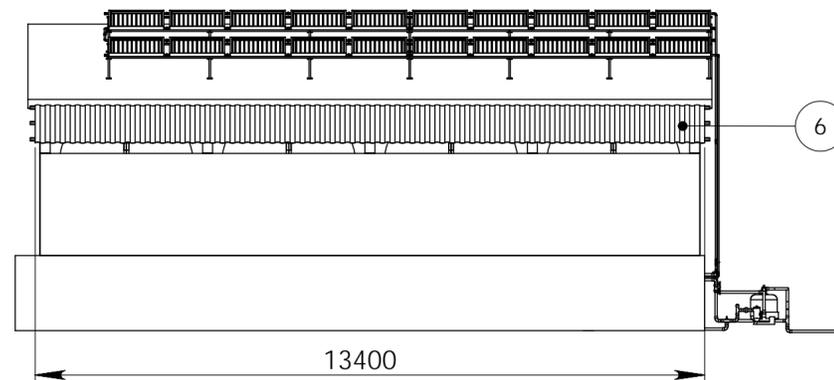
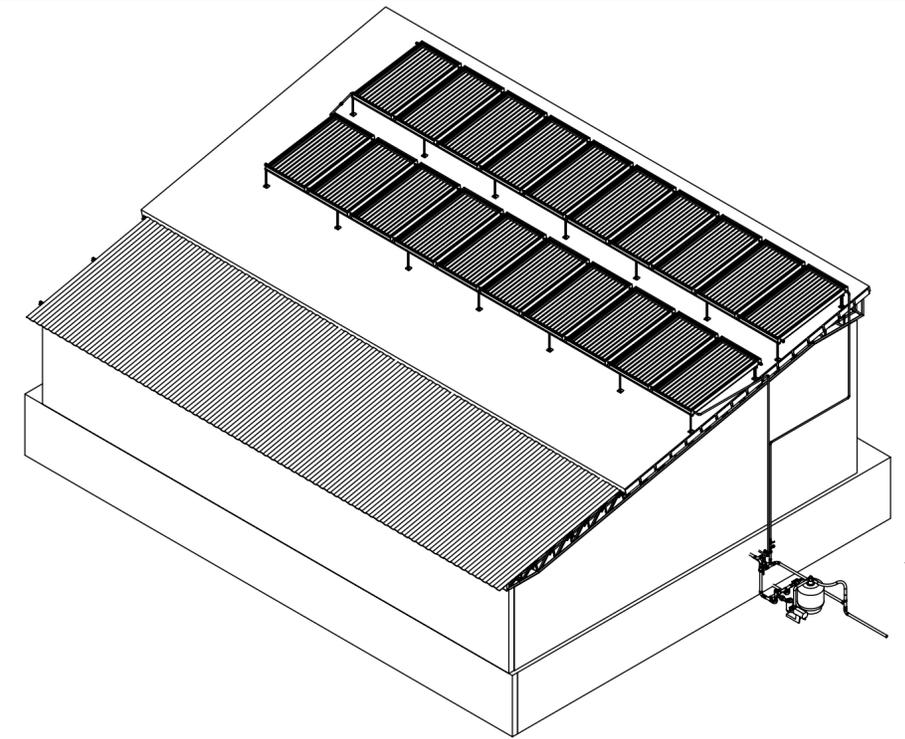


SECCION A-A
ESCALA 1 : 50

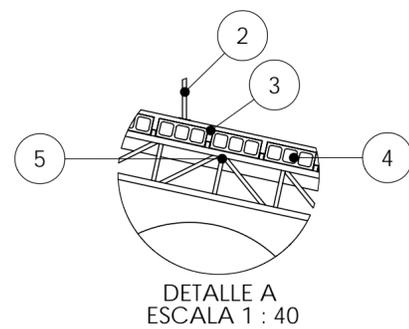
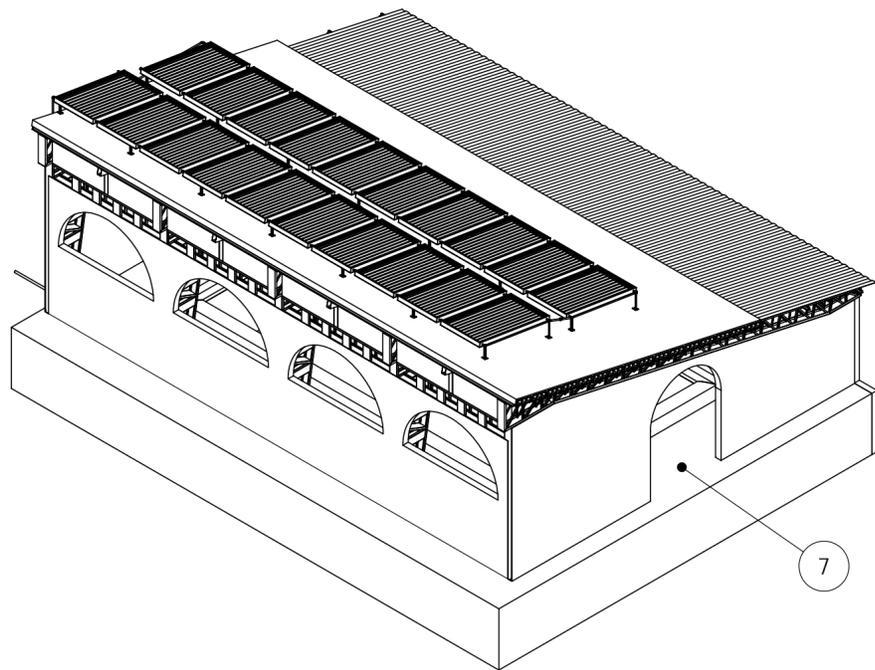
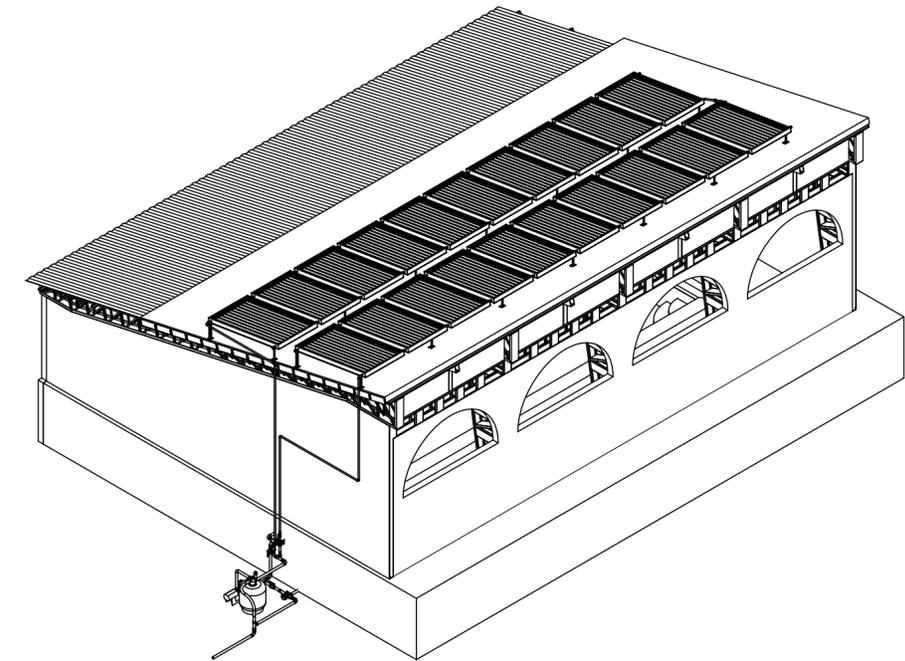
	Fecha	Nombre	Firma	MATERIAL: Concreto	cantidad
Aprobado	2008/07/22	Ing. Guasumba Ing. Soria		CONTIENE: Vistas, acotación e isometría de una piscina de 60 m3	1
Revisado	2008/06/15	Ing. Guasumba Ing. Soria			
Dibujado	2008/05/15	Francisco Curicama Paúl Dávalos Saá		CODIGO: DC-VP-08-1/1	Escala: 1:100
Proyectado					
ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO				Sustituye a:	
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA					



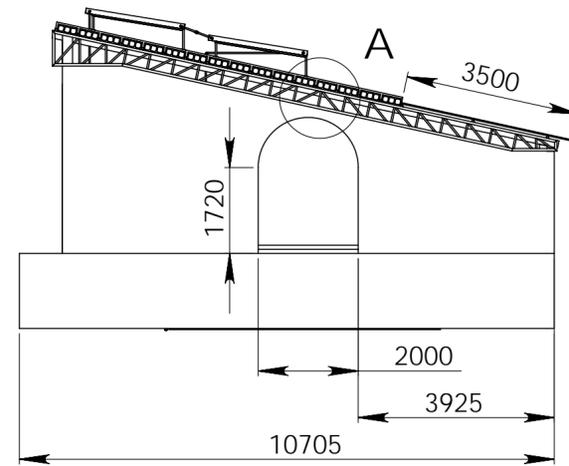
VISTA POSTERIOR



VISTA FRONTAL



DETALLE A
ESCALA 1 : 40

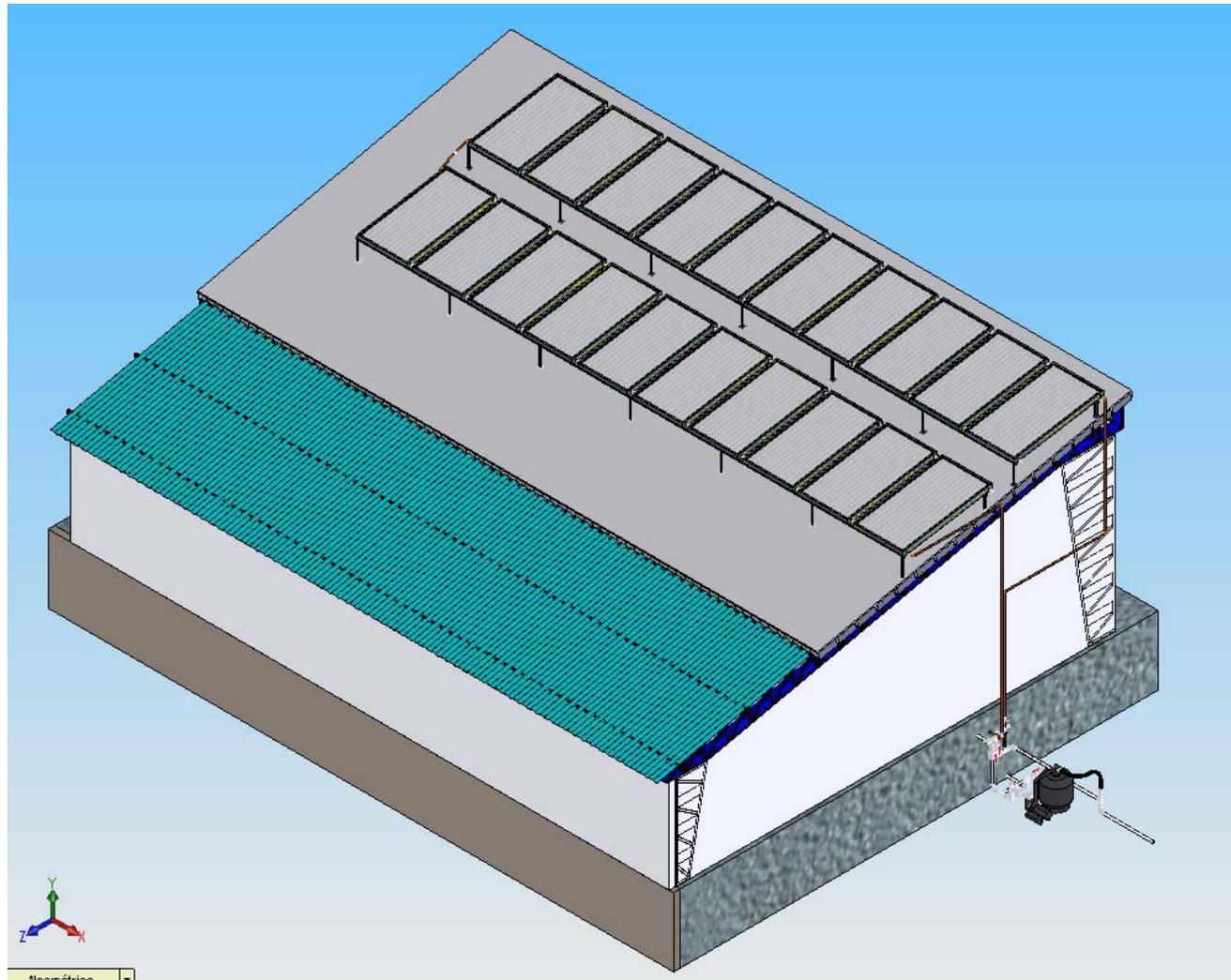


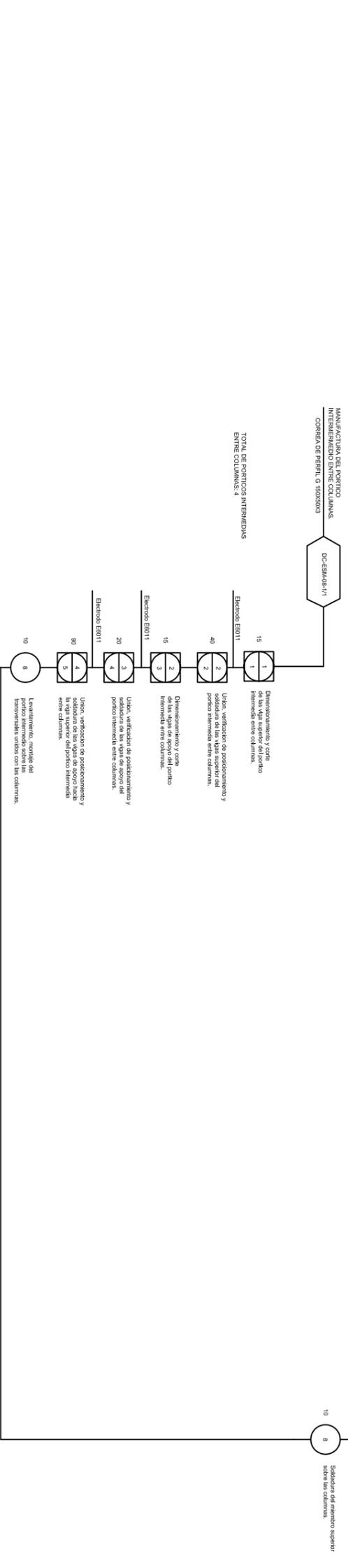
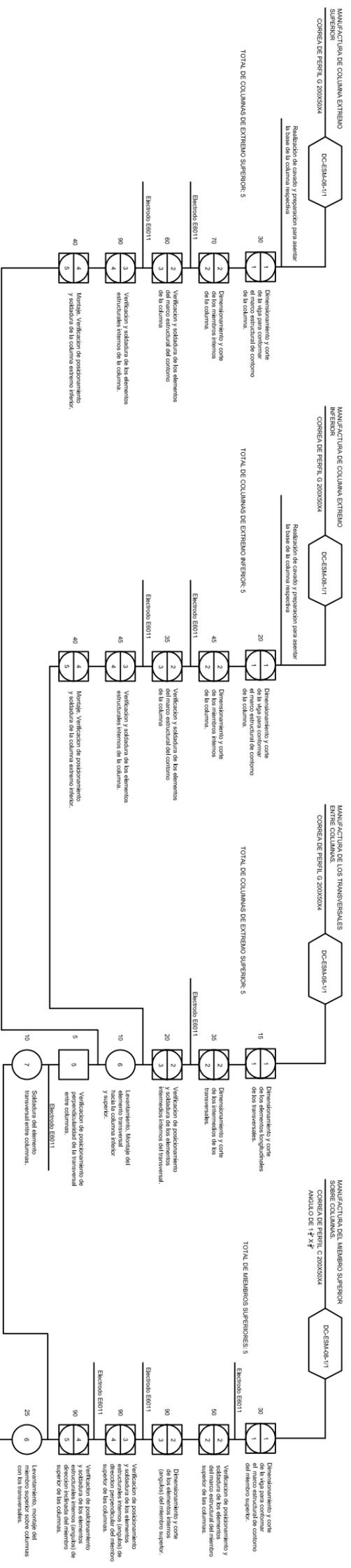
VISTA LATERAL

No.	POS.	DENOMINACION	CANT.	DIBUJO	MATERIAL	OBSERVACION
8	B-5	Circuito hidráulico	1	DC-CH-08-1/1	Cobre, P.V.C	Conducción forzada
7	F-4	Piso de la piscina	1	DC-VP-08-1/1	Cemento, arena, ripio	Piso empedrado
6	D-7	Translucido	32 un.	DC-PS-08-1/1	Policarbonato	Plancha 1.8 x 0.92 m
5	H-4	Estructura metálica	5300 Kg.	DC-ESM-08-1/1	Acero A36	Perfil G.C, angulos
4	H-4	Bloque	1258 un.	DC-PS-08-1/1	Cemento	45 x 400 mm
3	H-4	Loza	4.5 m3	DC-PS-08-1/1	Cemento, ripio	Prop. 1:1.5
2	G-4	Estructura soporte del colector	2	DC-CSP-08-4/4	Acero A36	angulo: 10°
1	B-1	Colector solar	20	DC-CSP-08-1/4	Compuesto	1.1 x 2 m

No.	POS.	DENOMINACION	CANT.	DIBUJO	MATERIAL	OBSERVACION
		Fecha	Nombre	Firma	MATERIAL:	
Aprobado	2008/07/22	Ing. Guasumba	Ing. Soria		cantidad 1	
Revisado	2008/06/15	Ing. Guasumba	Ing. Soria		Escala: 1:100	
Dibujado	2008/05/15	Paúl Dávalos Saá	Francisco Curicama		CONTIENE: Vista, acotación e isometría de un sistema de aprovechamiento de la energía solar para climatizar una piscina de 60 m3	
Proyectado					CODIGO: DC-PS-08-1/1	
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					Sustituye a:	

Esquema final del proyecto Realizado





FECHA	NOMBRE	FIRMA	MATERIAL: Acero A36	CANTIDAD:
08/05/15	Davalos, Curicama			1
08/06/15	Ing. Guesumba, Ing.Soria			
08/07/22	Ing. Guesumba, Ing.Soria			

Procesos	Cantidad	Tiempo Total
Verificaciones	146	5600 min.

ENTREGA

MANUFACTURA DE COLUMNA EXTENSO
CORREDA DE PERFIL G 200X20X4

MANUFACTURA DEL PORTICO INTERMEDIO ENTRE COLUMNAS
CORREDA DE PERFIL G 180X20X4

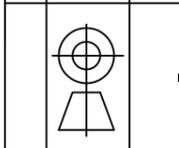
MANUFACTURA DE LOS TRANSVERSALES ENTRE COLUMNAS
CORREDA DE PERFIL G 200X20X4

MANUFACTURA DEL MIEMBRO SUPERIOR SOBRE COLUMNAS
CORREDA DE PERIL G 200X20X4 ANILLO DE 14 1/2

Proyecto: Diagrama de proceso de manufactura de la estructura metálica del sistema de encerramiento de una piscina de 60 m3 climatizado mediante colectores solares.

Código: DC-DPESM-08-1/1

Sustituye a:

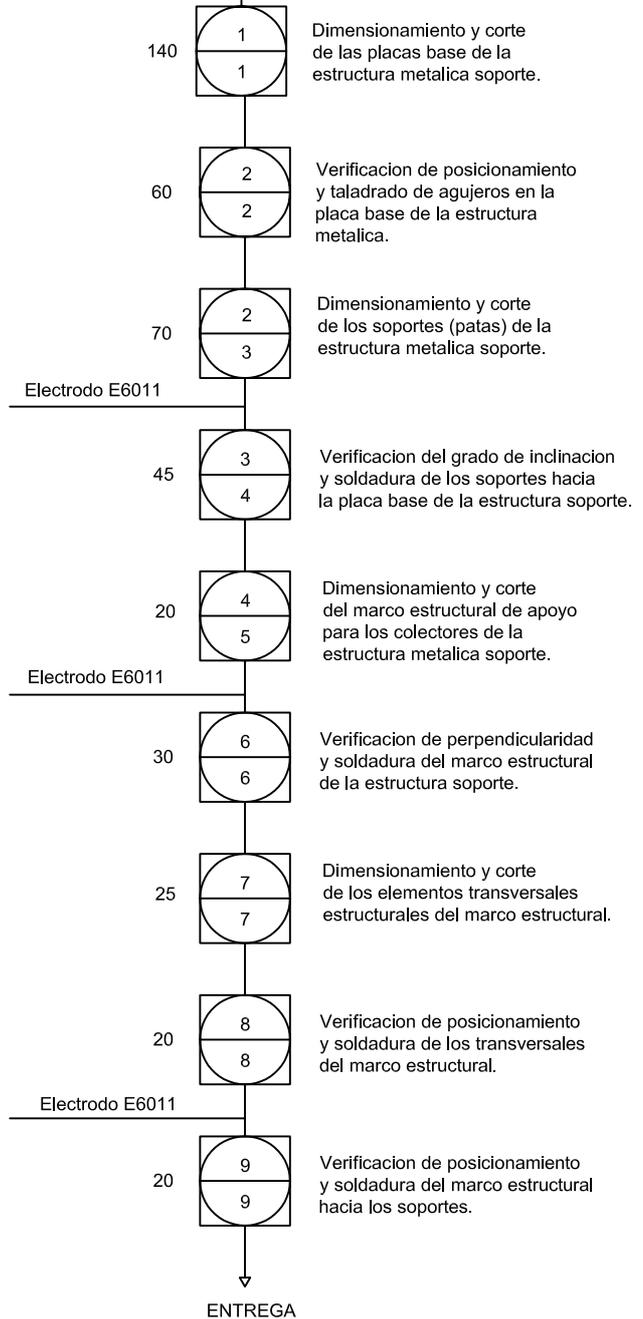


ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
Carrera de Ingeniería Mecánica

MANUFACTURA DE LA ESTRUCTURA METALICA SOPORTE DE LOS COLECTORES SOLARES.

PLACA BASE DE 3mm.
 ANGULO ESTRUCTURAL 1 1/4" X 1/8".
 TEE ESTRUCTURAL 3/4" X 1/8".

DC-CSP-08-4/4



	Cantidad	Tiempo Total
Procesos	9	430 min.
Verificaciones	9	

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero A36	Cantidad: 2
Proyectado:				Proyecto: Diagrama de proceso de manufactura de la estructura metalica soporte para los colectores solares.	ESCALA: -
Dibujado:	08/05/15	Davalos, Curicama			
Revisado:	08/06/15	Ing. Guasumba, Ing.Soria			
Aprobado:	08/07/22	Ing. Guasumba, Ing.Soria			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: DC-DPEMCS-08-1/1	
				Sustituye a:	

Ejemplo de cálculo de la radiación solar para una superficie inclinada mediante el método descrito de la sección 2.1.3.3 (modelo matemático para calcular la radiación solar) para una superficie con las siguientes características.

Datos:

Fecha: 22 de Julio.

Latitud de la zona: 0° 19' sur → $\phi = -0.31667^\circ$.

$\beta = 10^\circ$, ángulo de inclinación de la superficie inclinada.

Factor climáticos: a = 0.25, b = 0.45.

$\rho = 45\%$, factor de albedo.

$n = 4.8$ h, horas de brillo solar real.

1. Cálculo de días representativos del mes, consultando la tabla 2.3 para mes de julio:

$$n = 22 + 181 = 203 \text{ ///}$$

2. Cálculo de declinación terrestre, utilizando la expresión 2.1.

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + 203}{365}\right)$$

$$\delta = 20.2407^\circ \text{ ///}$$

3. Cálculo de la irradiación, utilizando la expresión 2.7.

$$I = 1367 * \left[1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360}{365} * 203\right)\right]$$

$$I = 1324.67 \text{ W/m}^2 \text{ /// (7 Btu./min.ft}^2\text{)}$$

4. Cálculo del ángulo horario de puesta de sol (ws) utilizando la expresión 2.4.

$$ws = \cos^{-1}[-\tan 20.2407 * \tan -0.31667]$$

$$ws = 89.8832^\circ$$

5. Cálculo de la radiación solar considerando una superficie horizontal y fuera de la atmosfera terrestre He, utilizando la expresión 2.8.

$$He = \frac{24 * 3600 * 1367}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} * 203 \right) \right] \left(\cos -0.31667 \cos 20.2407 \sin 89.8832 + \frac{2\pi}{360} * 89.8832 \sin -0.31667 \sin 20.2407 \right)$$

$$He = 34\,071\,430 \text{ J/m}^2/// \quad (9464.3 \text{ W-h/m}^2) \quad (814.33 \text{ Ln}) \quad (3003.37 \text{ Btu/ft}^2)$$

6. Cálculo de horas de brillo solar teórico (N), utilizando la expresión 2.5

$$N = \frac{2 * \cos^{-1}[-\tan 20.2407 * \tan -0.31667]}{15}$$

$$N = 11.9844 \text{ Horas} ///$$

7. Cálculo de coeficiente de insolación, utilizando la expresión 2.9.

$$\sigma = \frac{4.8}{11.9844}$$

$$\sigma = 0.40052 ///$$

8. Cálculo del índice de claridad, utilizando la expresión 3.0

$$K = 0.25 + 0.45 * 0.40052$$

$$K = 0.43023 ///$$

9. Cálculo de la radiación solar sobre una superficie terrestre horizontal (radiación global), utilizando la expresión 3.1.

$$H_o = 0.43023 * 34\ 071\ 430$$

$$H_o = 14\ 658\ 551\text{J/m}^2\text{///} \quad (350.34\ \text{Ln.}) \quad (4071.82\ \text{W-h/m}^2) \quad (1292.14\ \text{Btu/ft}^2)$$

10. Cálculo del ángulo horario de puesta de sol (wsi) para una superficie inclinada utilizando la expresión 3.3.

$$\omega_{si} = \min\{\cos^{-1}[-\tan(-0.31667 - 10) \tan 20.2407], 89.8832\}$$

$$\omega_{si} = \min\{86.1513, 89.8832\}$$

$$\omega_{si} = 86.1513^\circ\text{///}$$

11. Cálculo de la radiación difusa en media diaria mensual, utilizando la expresión 3.4.

$$H_d = 14\ 658\ 551 * [1.39 - 4.027 * 0.43023 + 5.531 * 0.43023^2 - 3.108 * 0.43023^3]$$

$$H_d = 6357934\ \text{J/m}^2\text{///} \quad (151.96\ \text{Ln.}) \quad (1766.1\ \text{W-h/m}^2) \quad (560.45\ \text{Btu/ft}^2)$$

12. Cálculo de la radiación directa en media diaria mensual, utilizando la expresión 3.5

$$H_b = 14\ 658\ 551 - 6\ 357\ 934$$

$$H_b = 8\ 300\ 617\ \text{J/m}^2\ \text{///} \quad (198.4\ \text{Ln.}) \quad (2305.7\ \text{W-h/m}^2) \quad (731.7\ \text{Btu/ft}^2)$$

13. Cálculo del factor de relación entre la radiación fuera de la atmosfera para una superficie horizontal y una superficie inclinada, utilizando la expresión 3.6.

$$R_b = \frac{\cos(-0.31667 - 10) \cos 20.2407 \sin 86.1513 + \frac{2\pi}{360} 86.1513 \sin(-0.31667 - 10) \sin 20.2407}{\cos -0.31666 \cos 20.2407 \sin 89.8832 + \frac{2\pi}{360} 89.8832 \sin -0.31667 \sin 20.2407}$$

$$R_b = 0.885166 \text{ ///}$$

14. Cálculo de la radiación directa en media diaria mensual, utilizando la expresión 3.7.

$$HT = 8300617 * 0.885166 + \frac{1 + \cos 10^\circ}{2} * 6\ 357\ 934 + 0.45 * \frac{1 - \cos 10^\circ}{2} * 14\ 658\ 551$$

$$HT = 13\ 707\ 169 \text{ J/m}^2\text{///} \text{ (327.6 Ln.) (3807.54 W-h/m}^2\text{) (1208.3 Btu/ft}^2\text{)}$$

Ejemplo de cálculo de la determinación del calor de absorción por radiación y la temperatura de la cubierta transparente de un colector solar mediante el proceso de iteraciones descrito en la sección 2.3.7.2.

Datos:

$L = 0.040 \text{ m}$	Separación entre placa absorbadora y cubierta.
$\epsilon_p = 0.9$	Emitancia de la placa absorbadora.
$T_a = 20^\circ\text{C}$	Temperatura ambiental.
$V = 3.5 \text{ m/s}$	Velocidad de viento de la zona.
$\epsilon_c = 0.85$	Emitancia de la cubierta.
$\beta = 10^\circ$	Angulo de inclinación del colector.
$T_p = 78^\circ\text{C}$	Temperatura de la placa absorbadora.
$K_{\text{aire}} = 0.03 \text{ W/m}^\circ\text{C}$	conductividad térmica del aire.
$\nu = 0.00002079 \text{ m}^2/\text{s}$	viscosidad del aire
$Pr = 0.697$	numero de Prandtl del aire
$T_c = 27^\circ\text{C}$	→ temperatura de la cubierta transparente impuesta.

1. Cálculo de la temperatura del cielo T_s de la expresión 6.0

$$T_s = 0.0522(273.15 + 20)^{1.5}$$

$$T_s = 262.002 \text{ K} \text{ ///}$$

2. Cálculo de la transferencia de calor entre cubierta y viento de la expresión 4.8

$$h_w = 5.7 + 3.8 * 3.5$$

$$h_w = 19 \text{ W/m}^2\text{C} \text{ ///}$$

3. Cálculo de la transferencia radiante entre cubierta y atmosfera mediante la expresión 6.1

$$hcra = 5.67 \times 10^{-8}((27 + 273.15)^2 + 262.002^2)((27 + 273.15) + 262.002) * 0.85$$

$$hcra = 4.3006 \text{ W/m}^2\text{C} ///$$

4. Cálculo de la transferencia radiante entre placa absorbadora y cubierta mediante la expresión 6.2.

$$hrpc = \frac{5.67 \times 10^{-8}((78 + 273.15) + (27 + 273.15))((78 + 273.15)^2 + (27 + 273.15)^2)}{\frac{1}{0.9} + \frac{1}{0.85} - 1}$$

$$hrpc = 6.12035 \text{ W/m}^2\text{C} ///$$

5. Cálculo del número de Rayleigh del aire mediante la expresión 6.3.

$$Ra = \frac{2 * 9.8 * (78 - 27) * 0.040^3 * 0.697}{((78 + 273.15) + (27 + 273.15))(0.00002079)^2}$$

$$Ra = 158\ 397.7261 ///$$

6. Cálculo del Número de nussel, mediante la expresión 6.4

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{158\ 397.7261 * \cos 10} \right] \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8 * 10)^{1.6}}{158\ 397.7261 \cos 10} \right] + \left[\left(\frac{158\ 397.7261 * \cos 10}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]$$

$$Nu = 4.41281 ///$$

7. Cálculo de la transferencia por convección del aire retenido dentro del espaciamiento entre placa absorbadora y cubierta transparente mediante la expresión 6.5.

$$hpc = \frac{4.41281 * 0.03}{0.040}$$

$$hpc = 3.3096 \text{ W/ m}^2\text{°C} ///$$

8. Cálculo de la resistencia equivalente de la analogía eléctrica R1 mediante la expresión 6.6

$$R1 = \frac{1}{19 + 4.3006}$$

$$R1 = 0.042917 ///$$

9. Cálculo de la resistencia equivalente de la analogía eléctrica R2 mediante la expresión 6.7

$$R2 = \frac{1}{6.12035 + 3.3096}$$

$$R2 = 0.106045 ///$$

10. Cálculo del coeficiente total de perdidas [Ut], mediante la expresión 6.8.

$$Ut = \frac{1}{0.042917 + 0.106045}$$

$$Ut = 6.71312 \text{ W/ m}^2\text{°C} ///$$

11. Cálculo del calor transferido entre la placa absorbadora y cubierta mediante la expresión 7.0.

$$qL = (3.3096 + 6.12035)(78 - 27)$$

$$qL = 480.9274 \text{ W/ m}^2$$

12. Cálculo de la temperatura de la cubierta transparente corregido mediante la expresión 7.1.

$$T_{c2} = 78 - \frac{6.71312 * (78 - 20)}{3.3096 + 6.12035}$$

$$T_{c2} = 36.710 \text{ } ^\circ\text{C}///$$

Realizando la siguiente iteración con $T_c = 36.710 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$hcra = 4.538$	$\text{W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$	$(0.8 \text{ Btu/h.ft}^2\text{ } ^\circ\text{F})$
$hrpc = 6.384$	$\text{W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$	$(1.1255 \text{ Btu/h.ft}^2\text{ } ^\circ\text{F})$
$hpc = 3.143$	$\text{W/ m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$	$(0.5541 \text{ Btu/h.ft}^2\text{ } ^\circ\text{F})$
$Ut = 6.782$	$\text{W/ m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$	$(1.1956 \text{ Btu/h.ft}^2\text{ } ^\circ\text{F})$
$qL = 393.386$	W/ m^2	$(124.84 \text{ Btu/h.ft}^2)$
$T_{c3} = 36.712$	$^\circ\text{C}$	(98.0816°F)

Calculo de la cantidad necesaria de gas (uso domestico) para satisfacer la demanda energética de la piscina.

Datos:

Qd = 154 KWH Demanda energética diario de la piscina

Pc= 9328 Kcal/kg. Poder calórico del gas (uso domestico)

n = 60% Eficiencia de transferencia de calor (calefón).

Determinación del número de cilindros necesarios para satisfacer diariamente la demanda.

$$Qd = 154 \text{ KWH} = 132504.78 \text{ Kcal}$$

Cantidad de gas requerida al 60%

$$Mg = \frac{132\ 504.78}{9328} = 14.2 \text{ Kg gas} \rightarrow 60\%$$

$$14.2 \text{ Kg gas} \rightarrow 60\%$$

$$X \rightarrow 100\%$$

$$X = 23.67 \text{ Kg gas}$$

Número de cilindros diarios:

$$Ncg = \frac{23.67}{15\text{Kg} - 5\%}$$

$$Ncgd = 1.67 \text{ cilindros} \approx 1.7 \text{ cilindros}$$

Para elevar la temperatura de 15°C - 30°C, mediante incrementos diarios de 2.2°C, se requerirá un tiempo de 6.8 ≈ 7 días (1 semana).

Por lo tanto la cantidad de cilindros para elevar de 15°C - 30°C en una semana es:

$$N_{cgd} = 7 * 1.7 = 11.9 \approx 12 \text{ cilindros.}$$

Una vez alcanzado la temperatura de la piscina para su uso, se requiere calentamiento gradual para mantener la temperatura de uso. Se climatiza la piscina cada 4 días con la misma demanda energético diario.

Cantidad de cilindros necesarios para mantener la climatización en los días restantes de 2 meses antes de su renovación o vaciado de la piscina.

$$N_{cgr} = 1.7 * \frac{2 * 30 - 7}{4} = 22.52 \approx 23 \text{ cilindros}$$

Por lo tanto la cantidad de cilindros requeridos para climatizar la piscina en cada renovación (cada 2 meses) es:

$$N_{cgt} = 12 + 23 = 35 \text{ cilindros}$$

Anualmente:

$$N_{cgT} = 35 * 6 = 210 \text{ cilindros}$$

siguen sólo es para comparación numérica y no debe interpretarse como un prurito de exactitud.

Cálculos de ingeniería Los cálculos de ingeniería para tuberías, caen en general dentro de una de las clases siguientes:

1. Determinese la pérdida de presión Δp , cuando Q , L , y D son conocidas.
2. Determinese la razón de flujo Q , cuando L , D y Δp son conocidas.
3. Determinese el diámetro de la tubería D , cuando se conocen Q , L , y Δp .

Los cálculos para la pérdida de presión pueden realizarse dentro de la exactitud requerida en ingeniería, utilizando una versión ampliada de la figura 24. Para mayor precisión, se suele combinar la tabla 9 y la ecuación de Colebrook, como se verá en el ejemplo que sigue. La razón de flujo puede determinarse mediante la solución directa de la ecuación de Colebrook. Para calcular el diámetro de la tubería es necesario utilizar un método de prueba y error.

EJEMPLO. Caso 1: 2 000 galones/min de agua a 68 °F (20 °C) fluyen dentro de una tubería de hierro fundido de 500 pies de largo y con un diámetro interno de 10 pulgadas. En el punto 1, la presión es de 10 lbf/pulg² y la elevación es de 150 pies; en el punto 2 la elevación es de 100 pies. Encuéntrese p_2 .

A partir de la ecuación de continuidad $V = Q/A = [2\,000 \times (231/1\,728)/60]/[(\pi/4)(10/12)^2] = 8.170$ pie/seg. El número de Reynolds $R = \rho V D / \mu = (1.937)(8.170)(10/12)(20.92 \times 10^{-4}) = 6.304 \times 10^5$. $R > 4\,000$ ∴ el flujo es turbulento. $\epsilon/D = (850 \times 10^{-6})/(10/12) = 1.020 \times 10^{-3}$.

Determinese f ; según la figura 24, por interpolación $f = 0.02$. Sustituyendo este valor en el lado derecho de la ecuación de Colebrook,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon D}{3.7} + \frac{2.51}{R \sqrt{f}} \right)$$

$$2 \log_{10} \left[\frac{1.020 \times 10^{-3}}{3.7} + \frac{2.51}{16\,305 \times 10^5 \times 0.02} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 0.55 \quad f = 0.02021$$

El coeficiente de resistencia $K = \frac{f L}{D} = \frac{0.02021 \times 500}{10} = 1.0105$

$$K = 1.214$$

$$h_{f2} = K V^2 / 2g = 1.214 \times (8.170)^2 / (2 \times 32.17) = 12.58 \text{ ft}$$

$$h_{f2} = 12.58 \text{ ft}$$

La ecuación del movimiento: $p_1/\gamma + z_1 + h_{f2} = p_2/\gamma + z_2 + h_{f2}$. Notando que $z_1 = z_2 = 100$ y resolviendo para p_2 , $p_2 = p_1 + \gamma(z_1 - z_2 - h_{f2}) = 144 \times 10 + (1.937 \times 32.17)(150 - 100 - 12.58) p_2 = 3\,772 \text{ lbf/pie}^2 = 3\,772/144 = 26.20 \text{ lbf/pulg}^2$ ($1.806 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

EJEMPLO. Caso 2: fluye gasolina (p.e. 0.68) a 68 °F (20 °C) a través de tubería de acero soldado cédula 40, de 6 pulgadas de diámetro (con diámetro interno de 0.5054 pies), con una pérdida de cabeza de 10 pies en 500 pies. Determinese el flujo. Este problema puede resolverse directamente derivando las ecuaciones que no contengan la razón de flujo Q .

A partir de $h_f = \frac{f L}{D} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g}$

A partir de $R = \rho V D / \mu = R(\rho D)$

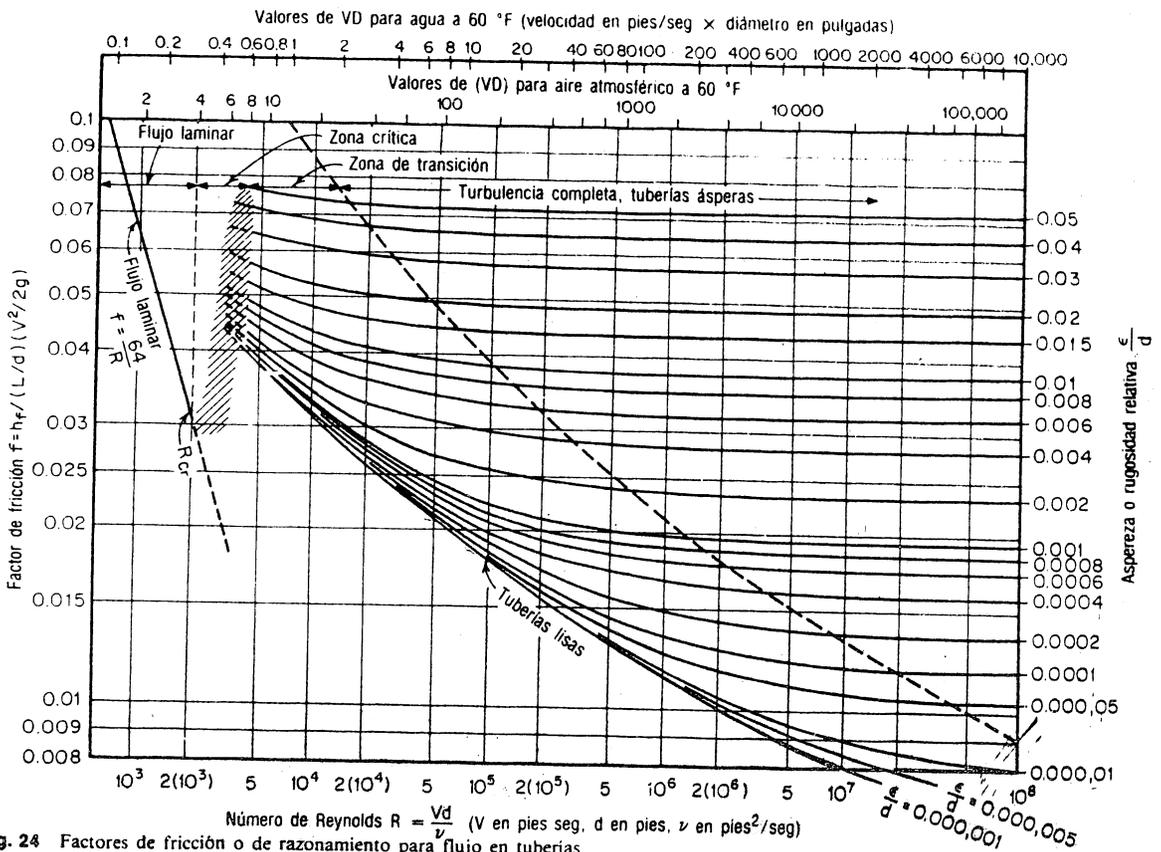


Fig. 24 Factores de fricción o de razonamiento para flujo en tuberías.

abajo en la tubería. Por esta razón, la pérdida a través de conexiones adyacentes no será simplemente el doble de una conexión sencilla; lo propio acontece con ramificaciones y cambios de dirección.

En tuberías largas, el efecto de codos, válvulas y conexiones es, en general, poco digno de tomarse en consideración, pero en sistemas en donde hay poca tubería recta, es el factor que controla el flujo del sistema. Si se diseña por abajo de los requerimientos, el sistema fallará y no podrá entregar la capacidad necesaria. El diseñar por encima de los requerimientos dará como resultado una operación poco eficiente, ya que se necesitará "estrangular" una o más válvulas. Con propósitos de estimación, pueden utilizarse las tablas 10 y 11, como se aprecia en los ejemplos. Deben usarse los datos del fabricante, cuando se disponga de ellos, sobre todo para válvulas, debido a la gran variedad de diseños, incluso en el mismo tipo.

Sistemas en serie En un solo sistema de tuberías de varios tamaños, se acostumbra agrupar todo lo que sea del mismo tamaño y aplicar la ecuación de continuidad, tal como se ve en el ejemplo siguiente:

Tabla 10. Valores representativos del coeficiente de resistencia K

<p>Entrada de bordes afilados K=0.5</p>	<p>Tubería proyectando hacia adentro K=1.0</p>	<p>Entrada redondeada K=0.05</p>																
Contracción súbita																		
	<table border="1"> <tr> <td>D/d</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>2.50</td> <td>3.0</td> <td>3.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0.28</td> <td>0.36</td> <td>0.40</td> <td>0.42</td> <td>0.44</td> <td>0.45</td> </tr> </table>		D/d	1.5	2.0	2.50	3.0	3.5	4.0	K	0.28	0.36	0.40	0.42	0.44	0.45		
D/d	1.5	2.0	2.50	3.0	3.5	4.0												
K	0.28	0.36	0.40	0.42	0.44	0.45												
Reducción gradual																		
<p>K=0.05</p>	<p>Ensanchamiento súbito $K=2[(1-d/D)^2]$</p>																	
Ensanchamiento gradual																		
<p>$K=K'[1-(d/D)^2]^2$</p>	<table border="1"> <tr> <td>(D-d)/2L</td> <td>0.05</td> <td>0.10</td> <td>0.20</td> <td>0.30</td> <td>0.40</td> <td>0.50</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>K'</td> <td>0.14</td> <td>0.20</td> <td>0.47</td> <td>0.76</td> <td>0.95</td> <td>1.05</td> <td>1.10</td> </tr> </table>		(D-d)/2L	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80	K'	0.14	0.20	0.47	0.76	0.95	1.05	1.10
(D-d)/2L	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80											
K'	0.14	0.20	0.47	0.76	0.95	1.05	1.10											

Pérdida a la salida (borde afilado, proyección, redondeada), K = 1.0

Recopilados de los datos publicados en *Pipe Friction Manual*, 3a. ed., Hydraulic Institute, 1961.

EJEMPLO. De un tanque abierto sale agua a 68 °F (20 °C), en donde la superficie de elevación es de 180 pies y entra un tubo de 2 pulgadas de acero, cédula 40, mediante una entrada con borde afilado. Después de 50 pies de tubo recto de 2 pulgadas, el cual tiene una válvula de globo de 2 pulgadas, la línea se ensancha bruscamente hasta 8 pulgadas en cédula 40 y misma tubería de acero, durante otros 100 pies de longitud en donde hay dos codos estándares a 90° y una válvula con un ángulo de 8 pulgadas. Finalmente, la línea descarga sus 8 pulgadas por abajo de la superficie en otro tanque abierto, que tiene una elevación de superficie de 100 pies. Determinese la razón de flujo volumétrico.

$$D_1 = 2.067/12 = 0.1723 \quad \text{y} \quad D_2 = 7.981/12 = 0.6651$$

$$\epsilon/D_1 = 150 \times 10^{-6}/0.1723 = 8.706 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon/D_2 = 150 \times 10^{-6}/0.6651 = 2.255 \times 10^{-4}$$

Para flujo turbulento

$$\frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2 \log_{10} \left(\frac{8.706 \times 10^{-4}}{3.7} \right) \quad f_1 = 0.01899$$

Tabla 11. Longitud equivalente representativa en diámetros de tubería L/D, de diversas válvulas y conexiones

Válvulas de globo, completamente abiertas	45L
Válvulas de ángulo, completamente abiertas	200
Válvulas de compuerta, completamente abiertas	13
abiertas 1/4	35
abiertas 1/2	160
abiertas 3/4	900
Válvulas de columpio reprimido, completamente abiertas	13L
Válvulas de bola reprimida, en línea, completamente abiertas	15L
Válvulas de mariposa, de 6 pulgadas y mayores	
completamente abiertas	20
Codos estándares de 90°	30
Codos estándares de 45°	16
Codos de radio largo, de 90°	20
Codo de calle, de 90°	50
Codo de calle, de 45°	25
Te estándar:	
Flujo a través de la línea principal	20
Flujo a través de un ramal	60

Recopilados de los datos publicados en "Flow of Fluids", Crane Company Technical Paper 410, ASME, 1971.

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2.255 \times 10^{-4}}{3.7} \right) \quad f_2 = 0.01407$$

- Conexiones de 2 pulgadas **K**
 Pérdida a la entrada, entrada de borde afilado = 0.5
 50 pies de tubería recta = $f_1 (50/0.1723)$ = 290.2 f_1
 Válvula de globo = $f_1 (L/D)$ = 450.0 f_1
 Ensanchamiento repentino $K = [1 - (D_1/D_2)^2]^2$
 = $[1 - (2.067/7.981)^2]^2$ = 0.87
 $\Sigma K_1 = 1.37 + 740.2 f_1$
- Conexiones de 8 pulgadas
 100 pies de tubería recta $f_2 (100/0.6651)$ = 150.4 f_2
 2 codos estándares de 90° $2 \times 30 f_2$ = 60 f_2
 1 válvula de ángulo 200 f_2 = 200 f_2
 Pérdida a la salida = 1
 $\Sigma K_2 = 1 + 410.4 f_2$

3. Aplicando la ecuación del movimiento

$$h_{f_2} = z_1 - z_2 = (\Sigma K_1) \frac{V_1^2}{2g} + (\Sigma K_2) \frac{V_2^2}{2g}$$

A partir de la continuidad $\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$ para $\rho_1 = \rho_2$

$$V_2 = V_1 (A_1/A_2) = V_1 (D_1/D_2)^2$$

$$h_{f_2} = z_1 - z_2 = [\Sigma K_1 + \Sigma K_2 (D_1/D_2)^4] V_1^2 / 2g$$

$$V_1 = \{ [2g(z_1 - z_2)] / [\Sigma K_1 + \Sigma K_2 (D_1/D_2)^4] \}^{1/2}$$

$$V_1 = \left[\frac{2 \times 32.17 \times (180 - 100)}{(1.37 + 740.2 f_1) + (1 + 410.4 f_2)(2.067/7.981)^4} \right]^{1/2}$$

$$V_1 = \frac{71.74}{(1.374 + 740.2 f_1 + 1.846 f_2)^{1/2}}$$

4. Para el primer intento supóngase que f_1 y f_2 para turbulencia completa

$$V_1 = \frac{71.74}{(1.374 + 740.2 \times 0.01899 + 1.846 \times 0.01407)^{1/2}}$$

$$V_1 = 18.25 \text{ pie/seg}$$

$$V_2 = 18.25 (2.067/7.981)^2 = 1.224 \text{ pie/seg}$$

$$R_1 = \rho_1 V_1 D_1 / \mu = (1.937)(18.25)(0.1723)/(20.92 \times 10^{-6})$$

$$R_1 = 291,100 > 4,000 \therefore \text{el flujo es turbulento}$$

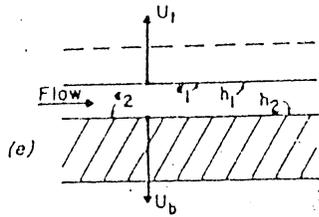
$$R_2 = \rho_2 V_2 D_2 / \mu_2 = (1.937)(1.224)(0.6651)/(20.92 \times 10^{-6})$$

$$R_2 = 75,420 > 4,000 \therefore \text{el flujo es turbulento}$$

5. Para el segundo intento, utilícese el primer intento V_1 y V_2 . Según la figura 24 y la ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2 \log_{10} \left(\frac{8.706 \times 10^{-4}}{3.7} + \frac{2.51}{291,100 \sqrt{0.020}} \right)$$

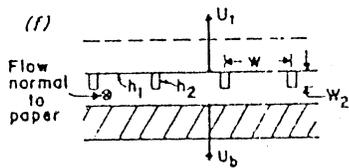
$$f_1 = 0.02008$$



$$U_L = U_1 + U_b$$

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_1}{h_1 + \frac{1}{\frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_r}}}}$$

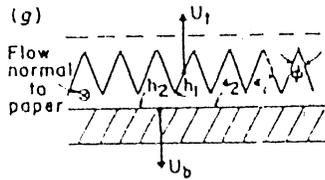
$h_r = \text{same as (d)}$



$$F'_0 = F' \text{ of (e)}$$

$$F' = F'_0 \left[1 + \frac{1 - F'_0}{\frac{F'_0}{F_p} + \frac{W h_1}{2 W_2 h_2 F_F}} \right]$$

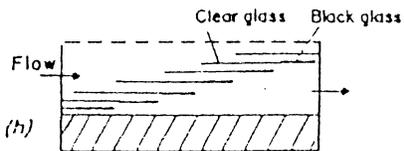
$F_p = \text{fin efficiency of plate}$
 $F_F = \text{fin efficiency of fin}$



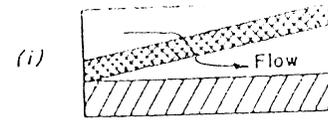
$$U_L = U_1 + U_b$$

U_1 is based on projected area

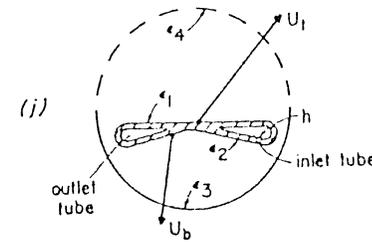
$F' = \text{same as (a) with } h_1 \text{ replaced by } h_1 / \sin \theta_2$



See Selcuk (1971)



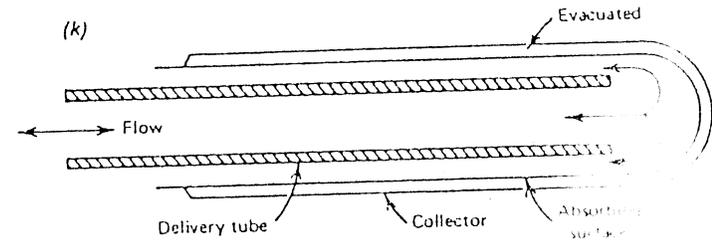
See Hamid & Backman (1971)



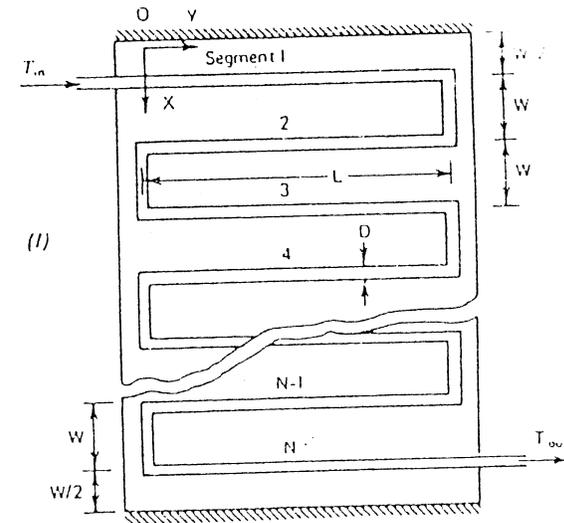
$$U_L = U_1 + U_b$$

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_1}{h}}$$

Valid only with negligible heat transfer between inlet and outlet fluid tubes.



see Eberlein (1976)



see text

For the second hour period, the initial temperature is 3 C and the temperature at 10.00 a.m. becomes

$$T_p^* = T_a + \frac{S}{U_L} - \left[\frac{S}{U_L} - (T_i - T_a) \right] \exp\left(-\frac{AU_L \tau}{(mC)_c}\right)$$

$$= -2 + \frac{0.79 \times 10^6 / 3600}{8}$$

$$- \left[\frac{0.79 \times 10^6 / 3600}{8} - (3 + 2) \right] \exp\left(-\frac{8 \times 3600}{8000}\right)$$

$$= 25 \text{ C}$$

By 10:00 a.m., the collector has been heated to within 15 C of its operating temperature of 40 C. The reduction in useful gain is the energy required to heat the collector this last 15 C or 120 kJ/m². Thus, the useful energy gain from 10 to 11 should be reduced from 1.65 to 1.53 MJ/m². Note that this collector responds quickly to the various changes as the exponential term in the preceding calculation was small. The collector "time constant" is $(mC)_c / A_c U_L$, which is approximately 15 min. The time constant with liquid flowing is on the order of 1 to 2 min., as shown in Equation 7.2.)

6.12 OTHER COLLECTOR GEOMETRIES

In the preceding sections, we have considered only one basic collector design: a sheet and tube solar water heater. There are many different designs of flat-plate collectors, but fortunately it is not necessary to develop a completely new analysis for each situation. Hottel and Whillier (1958), Whillier (1977), and Bliss (1959) have shown that the generalized relationships developed for the tube and sheet case apply to most collector designs. It is necessary to derive the appropriate form of the collector efficiency factor, F' , and Equations 6.7.5 and 6.7.6 and can be used to predict the thermal performance. Under some circumstances, the loss coefficient U_L will have to be modified slightly.

Figure 6.12.1 shows a number of different liquid and air collector designs. Also on this figure are equations for the collector efficiency factors that have been derived for these geometries. For (h) and (i), the L6f overlapped glass plates and the matrix air heater, the analyses to date have not put the results in a generalized form. For these two situations, it is necessary to resort to numerical techniques for analysis. Selcuk (1971) has analyzed the overlapped glass plate system, and Hamid and Beckman (1971), and Chiou et al. (1965) have studied the matrix-type air heaters.

A somewhat unconventional design is (j), the Speyer (1965) collector, which uses an evacuated glass tube for the cover. Because of the circular geometry, it is possible to evacuate the system and consequently reduce the convection heat loss. With a selective absorbing surface and low emittance

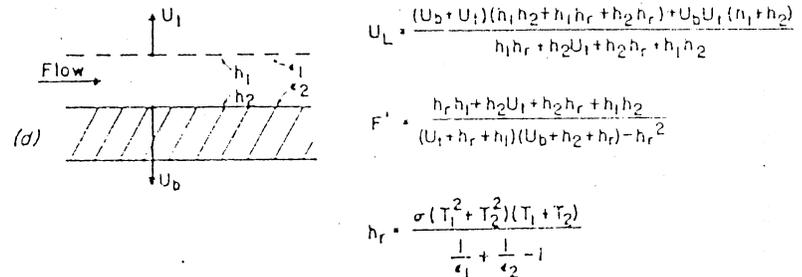
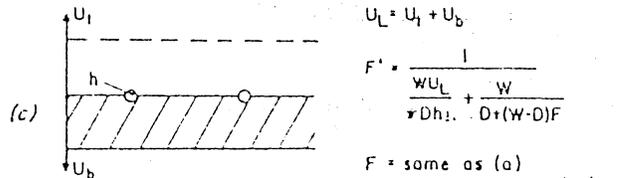
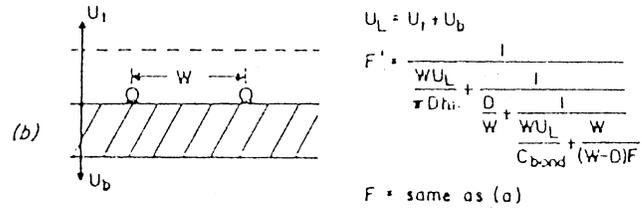
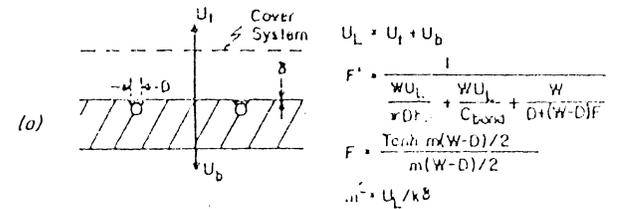


Figure 6.12.1(a-l) Collector efficiency factors.

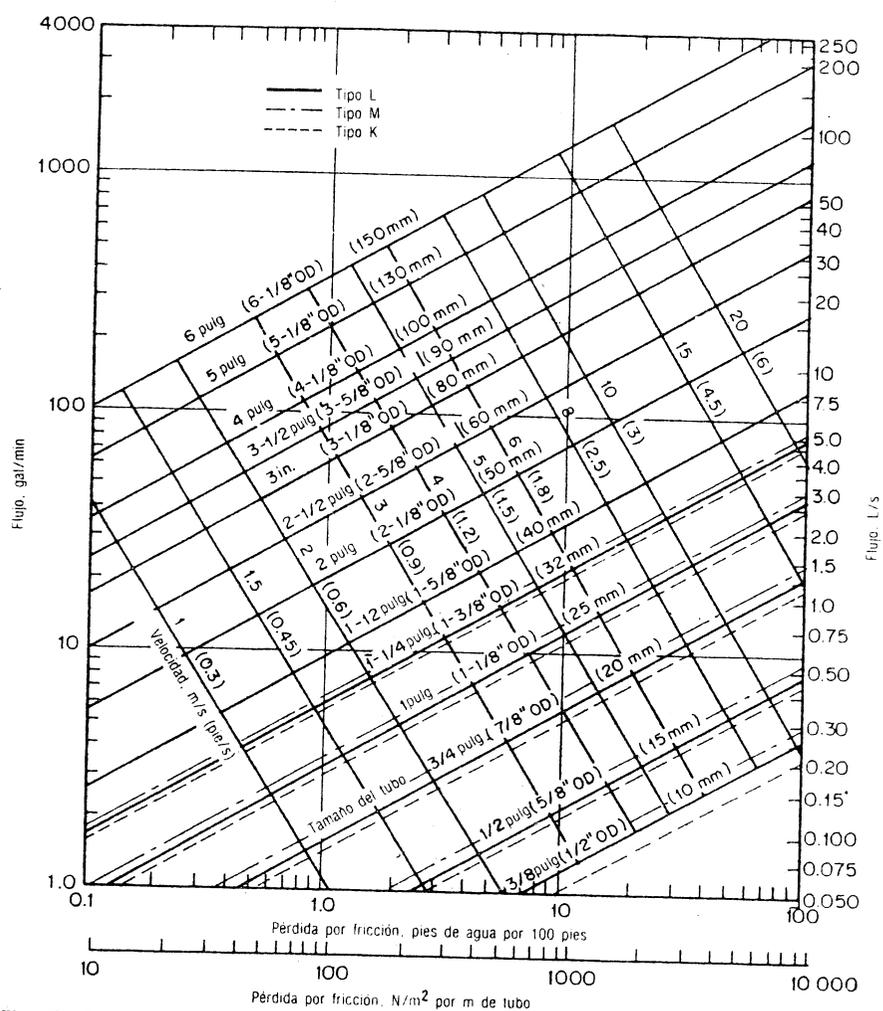


Fig. 22 Pérdidas por fricción para sistemas de tubería cerrados y abiertos (tubería de cobre).

Tabla 41. Velocidad máxima del agua para minimizar la erosión

Operación normal, h	Velocidad del agua	
	pie/s	m/s
1 500	12	0.060
2 000	11.5	0.058
3 000	11	0.055
4 000	10	0.050
6 000	9	0.045
8 000	8	0.040

FUENTE: Carrier Design Manual, 1970

Carta de Confort ASHRAE

La envolvente de confort más reciente, obtenida de una universidad del estado de Kansas en un proyecto de estudio ASHRAE, se muestra en la figura 27 en la envolvente con forma de diamante; la envolvente de confort en el ASHRAE Comfort Standard 55-56 se muestra en el área con rayado diagonal (sombreada). Éstas se aplican a alturas entre el nivel del mar y los 2 134 m (7 000 pies), a una temperatura radiante media cercana a la temperatura de bulbo seco, y con un movimiento de aire de menos de 0.23 m/s (45 pies/min).

Índice de temperatura-humedad

El término índice de temperatura-humedad (THI) se usa para describir los efectos combinados de la temperatura y la humedad sobre el confort experimentado por la gente. Puesto que las reacciones individuales pueden variar en forma considerable de una persona a otra, esta cantidad se debe considerar como una guía más bien que como una cantidad absoluta. Sin embargo, relativamente poca gente sentirá incomodidad cuando el THI sea de 70 o menor. Cuando alcanza 75, cerca de 50% de la gente estará incómoda. Cuando el THI alcanza 79, poca gente no se sentirá incómoda. Un índice de 80 en un área de trabajo puede causar una disminución en la eficiencia de los trabajadores. Para computar el THI, puede usarse cualquiera de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 \text{THI} &= 0.4(t_d + t_w) + 15 \\
 &= 0.55t_d + 0.2t_{dp} + 17.5 \\
 &= t_d - (0.55 - 0.55 \text{ RH})(t_d - 58)
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

en donde

t_d = temperatura de bulbo seco, °F
 t_w = temperatura de bulbo húmedo, °F

Tabla 21B. Valores de reflectividad y emisividad de varias superficies y emisividades efectivas de espacios de aire

Superficie	Reflectividad, %	Emisividad promedio ϵ	Emisividad efectiva E del espacio de aire	
			Con una superficie que tiene emisividad ϵ y otra 0.90	Con ambas superficies de emisividad ϵ
Lámina de aluminio, brillante	92-97	0.05	0.05	0.03
Hoja de aluminio	80-95	0.12	0.12	0.06
Papel cubierto de aluminio, pulido	75-84	0.20	0.20	0.11
Acero, galvanizado, brillante	70-80	0.25	0.24	0.15
Pintura de aluminio	30-70	0.50	0.47	0.35
Materiales de construcción: madera, papel, vidrio, mampostera, pinturas no metálicas	5-15	0.90	0.82	0.82

FUENTE: reproducida con autorización de ASHRAE *Handbook of Fundamentals*, 1972.
 Para áticos ventilados o espacio arriba del cielo raso en condiciones de verano (flujos térmicos hacia abajo).
 Las conductancias son para las superficies de la cavidad ubicada entre de los alrededores de un cuerpo negro situado a la misma temperatura que el aire en el centro. Los valores están basados en una diferencia de temperatura superficie aire, de 5 °C (90 °F) para temperaturas de superficie de 21 °C (70 °F).

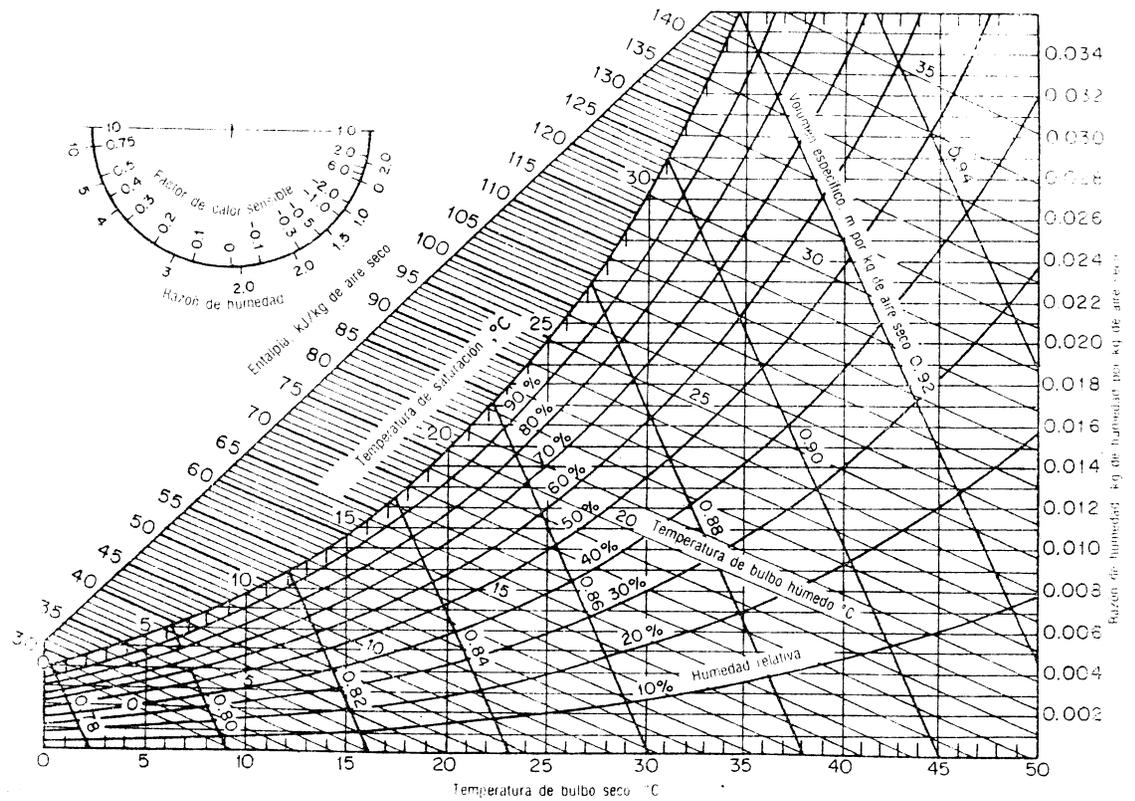


Fig. 13 Carta psicrométrica en unidades del SI. (Adaptada, con autorización, del material registrado por Business News Publishing Company, 1975.)

Programa de automatización del sistema de climatización de la piscina mediante un PLC.

Software: Concept trial.

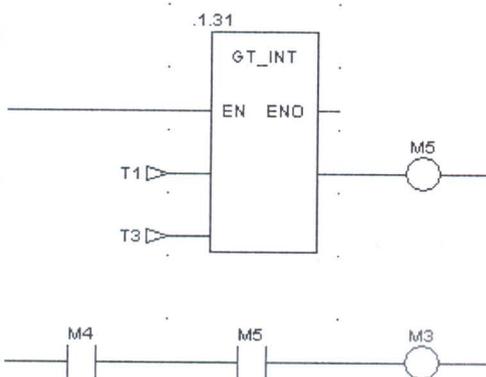
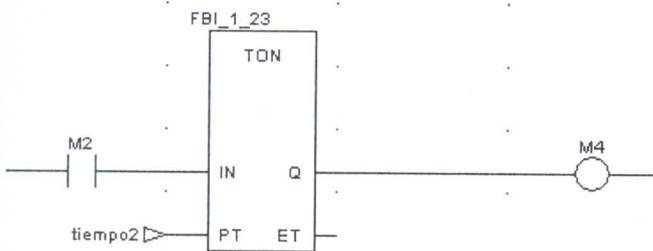
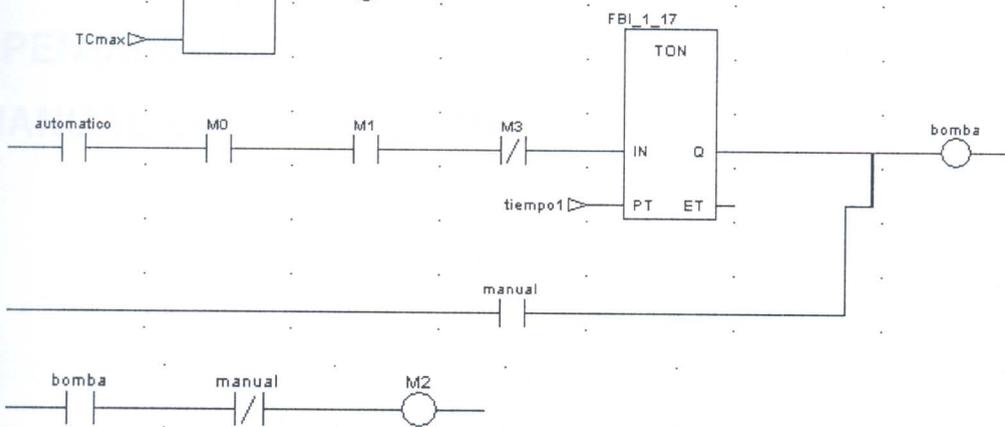
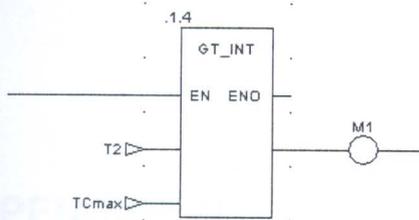
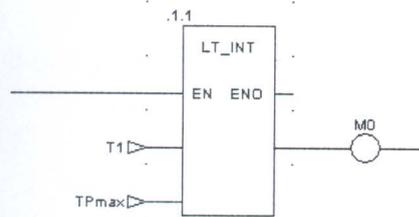
Declaración de variables:

Variable Editor

Type
 Variables Constants

	Exp	Variable Name	Data Type	Address	InitValue	Used	Comment
1		automatico	BOOL	100002		1	
2		bomba	BOOL	000001		2	
3		M0	BOOL	000005		2	
4		M1	BOOL	000006		2	
5		M2	BOOL	000007		2	
6		M3	BOOL	000008		2	
7		M4	BOOL	000009		2	
8		M5	BOOL	000010		2	
9		manual	BOOL	100001		2	
10		T1	INT	300001		2	
11		T2	INT	300002		1	
12		T3	INT	300003		1	
13		TCmax	INT		34	1	
14		tiempo1	TIME		t#55	1	
15		tiempo2	TIME		t#55	1	
16		TPmax	INT		30	1	
17							
18							

Programa en lenguaje de escalera.



FOTOGRAFÍAS



Foto1. Celda fotovoltaica para medir la radiación solar



Foto2. Construcción de la estructura metálica cubierta



Foto3. Preparación del vaso de la piscina



Foto4. Construcción de la terraza de la infraestructura.



Foto5. Construcción de paredes de encerramiento.



Foto6. Construcción de la sala de maquinas en el subsuelo (Sr. Dávalos).



Foto7. Instalación tuberías del circuito de climatización y recirculación



Foto8. Colocación del desnatador o skimmer de la piscina.



Foto9. Colocación de la rejilla del fondo de la piscina.



Foto10. Elaboración de los colectores solares



Foto11. Colocación de los colectores sobre estructura base y su instalación hidráulica



Foto12. Instalación de la bomba, filtro e instalaciones respectivas en la sala de maquinas.



Foto13. Acabado final de las paredes, y piscina.



Foto14. Colocación de los translucidos cubiertas.



Foto15. Medición de la temperatura de salidas entregadas por los colectores solares (Sr Curicama).



Foto16. Llenado de la piscina.



Foto17. Monitoreo del sistema de climatización.



Foto18. Aislamiento mediante la manta térmica sobre la piscina.



Foto19. Aspirada de la piscina. (Sr. Dávalos)



Foto 20. Proyecto terminado en operación. (Sr. Curicama).

APÉNDICE B

MANUAL DE OPERACIÓN

GUÍA DE USUARIO PARA OPERACIÓN DE FILTRO Y BOMBA MODELO: STA-RITE DE 21" DE MOTOR DE 1½ HP MODELO JWPA5F7L.

Indicaciones primarias.

- Lea detenidamente y siga las instrucciones de instalación y operación.
- No conecte el sistema con un servicio de alta presión.
- Utilice el equipo solamente para la instalación de una piscina o spa.
- El aire retenido en el sistema puede causar una explosión. **ASEGURESE** que el aire se evacue del sistema antes de operar o realizar pruebas. ***NUNCA realice pruebas de este filtro con aire comprimido.***

Antes de realizar pruebas, asegúrese de las siguientes revisiones:

- Asegúrese de los ajustes de pernos, tapas, y otros accesorios del sistema.
- **ASEGURESE** que no exista aire en el sistema antes de realizar pruebas.
- Ajuste la tapa de cierre o trampa de succión Sta-Rite con un torque de hasta 30 ft.lb (4.1 kg-cm) para realizar pruebas.
- La presión de agua para pruebas debe ser inferior a 25 psi (libras/pulg²) (172 kPa).
- La temperatura del agua para pruebas debe ser inferior a 95°F (35°C).
- Limite la prueba hasta 24 horas. Después de ello, revise el sistema para asegurar si está listo para operar. Remueva la tapa de cierre o de atrape y reajuste a mano.

Nota: Estos parámetros se aplican a equipos de marca Sta-Rite únicamente. En caso de aplicar accesorios o equipos de distinta marca, consulte al proveedor.

A continuación se especifica el dimensionamiento e información técnica general:

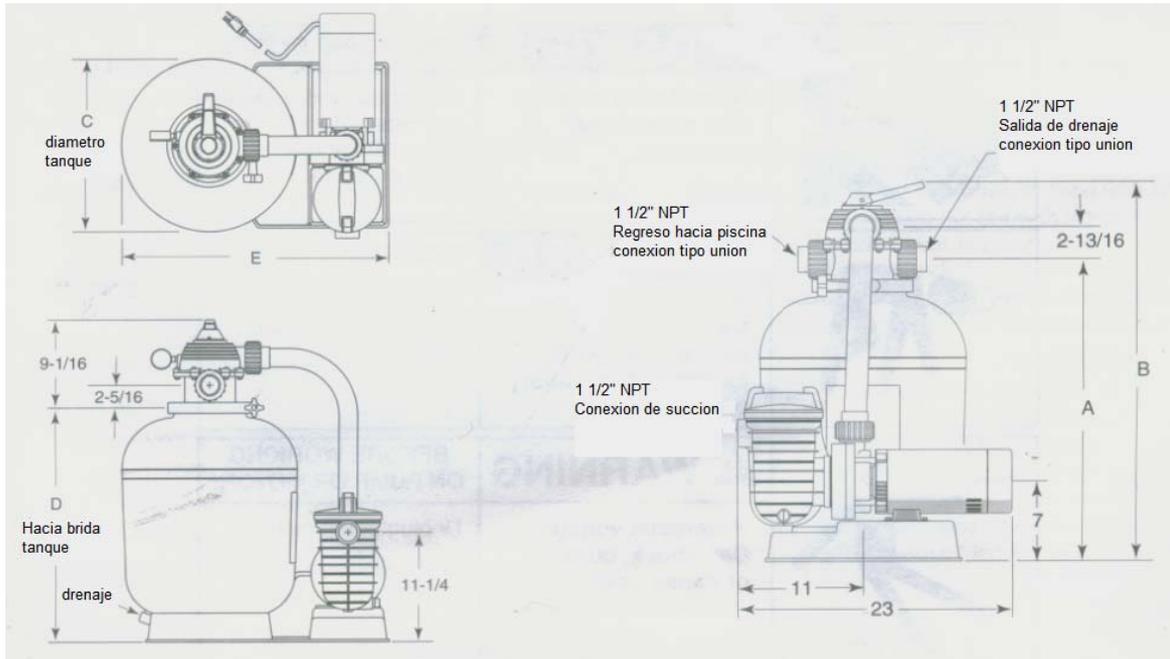


Figura 1A (dimensionamiento)

	Sección									
	A		B		C		D		E	
Dimensiones externas	pulgadas	mm								
Filtro modelo 21"	28	729	34 7/16	875	20 3/4	527	26 3/8	670	28 9/16	725

Tabla 1 dimensionamiento de la bomba y filtro.

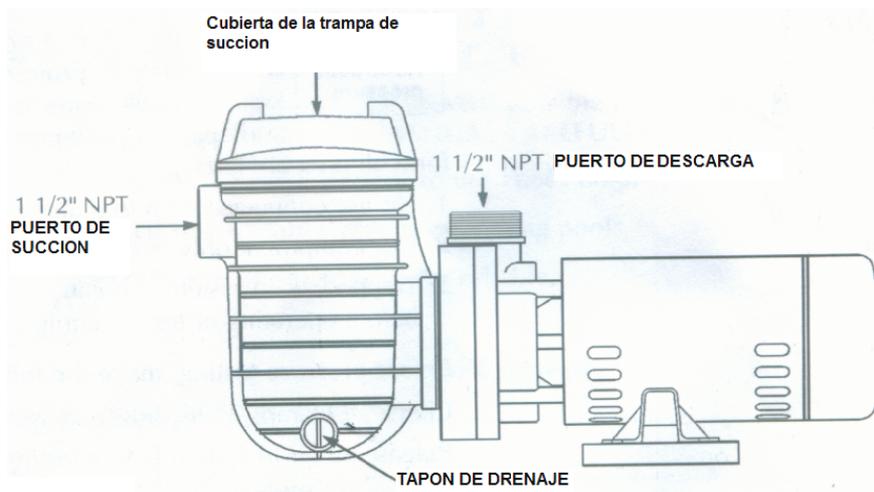


Figura 1B Partes del motor de la bomba.

Tabla 2 información general.

Filtro sta-rite modelo 21 "	Sistema Americano	Sistema Métrico
<i>Área efectiva del filtro</i>	2.18 ft ²	0.203 m ²
<i>Rango de flujo máximo</i>	43.6 GPM	165 L/min
<i>presión de operación máxima</i>	35 psi	241 KPa
<i>Temperatura de operación máxima</i>	95°F	35°C
<i>Volumen de renovación dado en los siguientes horas:</i>		
<i>6 horas</i>	15 700 Gal.	59 424 litros
<i>8 horas</i>	20 930 Gal.	79 220 litros
<i>10 horas</i>	26 160 Gal.	99 016 litros
<i>12 horas</i>	31 390 Gal.	118 811 litros
<i>Volumen de recipiente</i>	2 ft ³	56 923 cm ³
<i>peso</i>	200 lbs	90.7 Kg.
* Nota! : un pie cubico de arena pesa aproximadamente 100 lbs. NO UTILICE una arena de grano más fino de lo recomendado.		

Grado de arena recomendado

Utilice solamente arena silica #20 de tamaño que oscila en los rangos .4 - .55 mm con un coeficiente de uniformidad menor a 1.75. Otro arena de diferente especificación reducirá el desempeño del filtro y causar perjuicio en la bomba.

INFORMACION GENERAL

Se debe limpiar una piscina nueva antes del llenado y operar el filtro. El exceso de suciedad y partículas grandes pueden causar serios daños en el filtro y bomba.

- **Nunca realice pruebas del filtro con aire comprimido.**
 - **No opere el filtro con una temperatura del agua superior de 95°F (35°C).**
 - **Nunca opere el filtro con una presión superior a lo especificado del tanque del filtro.**
 - **El sistema eléctrico de instalación de la bomba debe ser aislado y protegido.**
-
- Mantenga el nivel pH del agua de la piscina a un nivel recomendado (7.2 a 7.6) para evitar irritaciones de la piel y ojos.
 - Para reducir el riesgo de un corto circuito, o electrocución instale la bomba al menos 10 ft (3.3 m) desde la pared interna de la piscina. No utilizar un cable de extensión.

INSTALACION

Utilizando cuatro tornillos de cabeza semiesférica de medida 5/16", arandelas planas y de presión, realice el montaje de la tapa de trampa de succión de la bomba asegurando los respectivos empaques, el ajuste de los tornillos con un grado de torque de 80 in.lb (pulgada libra).

El montaje del filtro debe poseer los siguientes requerimientos:

- Proveer protección ante agentes climáticos.
- Proveer espacio y alumbrado adecuado para el fácil acceso para mantenimiento preventivo (ver tabla 1).
- Debe estar en un nivel razonable y proveer un drenaje adecuado.

- Estar lo más cerca posible para reducir pérdidas hidráulicas.
- Debe ser sólida, nivel rígido, y libre de vibración.
- Debe ser instalada de tal forma que la trampa de succión se encuentre por debajo del nivel del agua para que siempre esté alimentada la trampa de succión.
- Debe poseer una ventilación adecuada para prevenir un sobre calentamiento del motor.

Instalaciones de tubería.

Utilice cinta teflón en todas las conexiones macho de conductos plásticos y accesorios excepto en uniones. **NO UTILICE compuestos para tubería en los tubos plásticos; causarán fisuras.** En las uniones no utilice sellantes realice en ensamble en seco y ajustado a mano.

No dañe las superficies de unión y anillos.

Soporte la tubería independientemente para prevenir esfuerzos en el filtro y válvula.

Utilice tuberías de 1 ½ a 2” para reducir las pérdidas de presión. Si se utiliza manguera, utilice una de pared interna suave.

Utilice la menor cantidad de accesorios hidráulicos para optimizar eficiencia.

Mantenga el circuito ajustado correctamente y libre de fugas. Caso contrario, las fugas pueden causar aire atrapado en el filtro o pérdidas de energía en la bomba.

Válvulas

Para el servicio del sistema de filtro y limpieza de la trampa de succión, instale válvulas de globo o de compuerta:

- A. Entre la trampa de succión y desnatador (skimmer)
- B. Entre la válvula selectora y línea de regreso hacia la piscina.

Una válvula anti retorno o check instalado entre el filtro y bomba evitara el paso de agua caliente hacia el filtro y deformación de componentes internos.

Agua de desperdicio

Asegúrese las provisiones de agua de desperdicio del local de aplicación, estado, o códigos nacionales. De al menos 100 galones (379 litros) de agua de piscina será descargado durante el lavado reverso (backwashing). No descargue el agua en sitios donde que se producirán inundaciones o daños.

INICIO DEL FILTRO

Insertando la arena

Para el ensamblaje, revise las figuras 2 – 5

1. Para mantener la arena fuera del ensamblaje del colector, coloque el escudo de plástico sobre el tubo colector antes de regar la arena dentro del tanque del filtro.
2. Para apoyar los laterales y evitar acumulación excesiva hacia un lado lateral, llene el tanque del filtro con agua hasta la mitad antes de agregar la arena.
3. Riegue la arena en el tanque del filtro (ver las recomendaciones del tipo y cantidad de arena para usar descrito anteriormente).

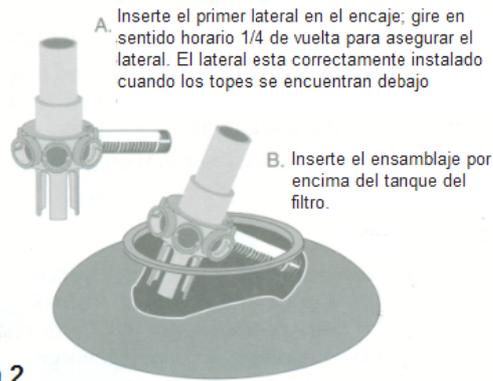


Figura 2

C. Mantenga el ensamblaje arriba y cerca del tanque y agregue los laterales faltantes



Figura 3

NOTA: Asegure que el área de colocación del empaque esté libre de arena antes de colocar la válvula y abrazadera.

4. Antes de instalar la válvula, revise nuevamente la cantidad correcta de arena puesto en el tanque del filtro.
5. Remueve o retire el escudo de plástico y manténgalo para un uso a futuro.

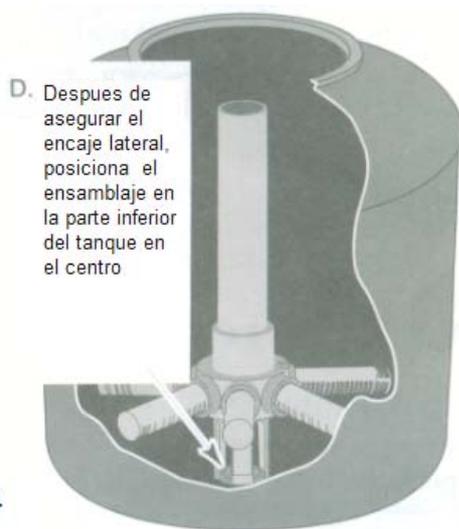


Figura 4



Figura 5

INSTALACIÓN DE LA VÁLVULA

Para el ensamblaje, revise las figuras 6 – 8

1. Instale el anillo “O” en la brida de la válvula; asegure que el anillo “O” se encuentre seco, limpio, sin daños.
2. Asegure que el tanque y las bridas de las válvulas se encuentran limpios y libres de arena, coloque la válvula sobre el tanque. El tubo vertical del ensamblaje del colector se inserta con la base de la válvula.
3. Instale la abrazadera; asegure que la perilla se encuentre posicionado de una manera de fácil acceso para el mantenimiento del filtro. En la sección de la válvula fichado o denominado “PUMP” debe apuntarse hacia la bomba.
4. Ajuste la perilla de la abrazadera hasta que la abrazadera termina (bajo del perno) esté a $\frac{1}{4}$ ” (6mm) de distancia. Golpea alrededor de la abrazadera con un martillo de goma para ayudar asentar la abrazadera.

ADVERTENCIA! En el filtro, se producen altas presiones. La abrazadera no lo soportará si su colocación sea incorrecta! NO ACTIVE LA BOMBA hasta que los terminales de la abrazadera estén a $\frac{1}{4}$ ” (6mm) de distancia o menos.

5. Si los terminales de la abrazadera no puede ser jalado hasta $\frac{1}{4}$ ” espere de 15 – 30 minutos y nuevamente ajuste. Golpea alrededor de la abrazadera con un martillo de goma para ayudar asentar la abrazadera.
6. Conecte el tubo de la descarga de la bomba hasta el puerto de la válvula fichado o representado como “PUMP”; ensamble la unión de acuerdo a lo siguiente:
 - El anillo “O” y superficies de empate deben estar limpios.
 - Ajuste los empates con la mano (sin llaves de tubo).
 - NO utilice compuestos o cinta teflón en estas uniones.
7. Complete todas las conexiones de plomería (revise los recomendaciones descritas anteriormente).

8. El tubo de la válvula denominado del puerto "RETURN" hacia el regreso de la piscina.
9. El tubo de la válvula denominado del puerto "WASTE" hacia el desperdicio o drenaje.
10. Los conductos de succión de la piscina hacia la trampa de la succión de la bomba.
11. El sistema está listo para iniciar.

NOTA: Si existe la presencia de fugas desde debajo del área de la válvula/abrazadera, APAGUE LA BOMBA, desfogue toda la presión, remueve la abrazadera y válvula y limpie la superficie de empate.

Sigue las direcciones descritas en la instalación de la válvula para nuevamente instalar la válvula. Ver figuras 6 y 7.

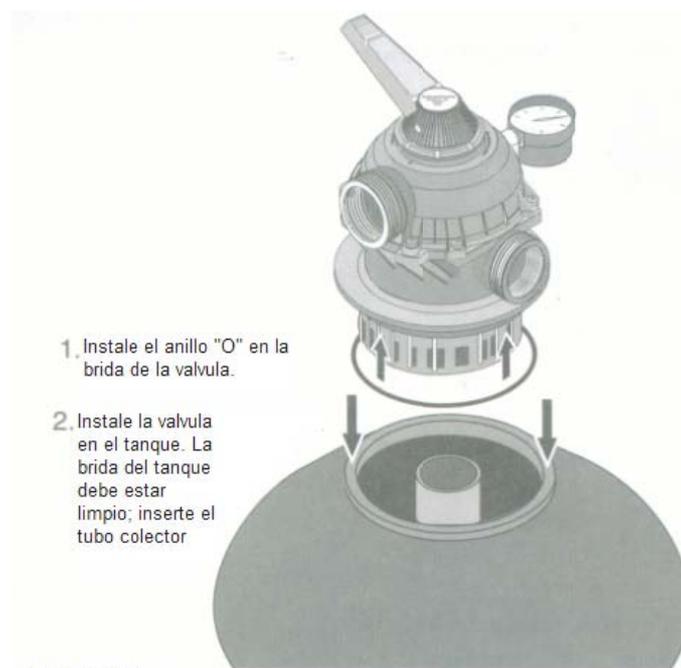


Figura 6



Figura 7

Instale el anillo tipo "O" en la brida de la válvula.

Instale la válvula en el tanque. El tanque debe estar limpio, Inserte el tubo colector debajo de la válvula.

CONEXIÓN ELECTRICA

Evite el riesgo de un shock o electrocución. Enchufe la bomba mediante una conexión a tierra. Se recomienda el uso de interruptores de conexión auxiliar a tierra (GFCI) o un relé térmico como dispositivo de seguridad con una protección de circuito de 115V. Un voltaje incorrecto puede causar incendio o un daño al motor de la bomba. Protege el cordón o cable de conexión del agua y daños físicos.

Los interruptores de conexión auxiliar a tierra (GFCI) como dispositivo de seguridad indica un problema eléctrico. Si el GFCI falla y no reinicia, consulte a un electricista calificado para repararlo.

Antes de realizar reparaciones o mantenimiento de la bomba, desconéctelo.

Cableado

Utilice interruptores de conexión auxiliar a tierra (GFCI) o relé térmico como dispositivo de seguridad en el circuito. Estos dispositivos detectaran un corto circuito y desconectara de la fuente antes de causar peligro a usuarios de la piscina.

No modifique el cable, enchufe. Si se requiere realizar una conexión con otros elementos de enchufe consulte un electricista calificado.

No utilice una extensión para este sistema; ello causara un peligro de incendio o caída de voltaje. Los cables de extensión pueden ser fácilmente cortados y ser muy peligroso puesto en sitios externos tales como patios, veredas, o pasillos.

Voltaje

El voltaje del motor no debe ser más del 10% excedido o inferior de lo indicado en la placa del motor. Caso contrario de no operar en el rango especificado, causara sobrecalentamiento, sobrecarga, reducción de la vida útil de la bomba. Si el voltaje se encuentra menos del 90% o más del 110% del rango especificado cuando el motor funciona en carga lleno o completa, consulte al suministro energético de la zona.

Para el motor de la bomba de 1 ½ HP modelo: JWPA5F7L; puesto a una fuente de 115V, 60Hz de una sola velocidad, se recomienda los siguientes datos para conexión de fusible:

Carga total (amperios [A]):	16.0
Rango del circuito breaker [A]:	20

NOTA: Cuando el sistema esté operando, revise el manómetro puesto en la válvula del filtro para asegurar el correcto funcionamiento. La presión correcta oscila entre 15-25 psi, caso contrario, suspende el funcionamiento y revise fallos existentes.

INICIO DE OPERACIÓN (Ver figura 9)

PELIGRO! Durante la operación del sistema, se producen succiones de alto peligrosidad que puede atrapar o arrancar el cabello o partes del cuerpo y causar un ahogamiento. No bloquee la succión de la bomba. Los niños que utilicen la piscina deben siempre tener la supervisión de un adulto.

ADVERTENCIA! Para prevenir daños y heridas, apague la bomba antes de realizar cambios de la posición de la válvula.

NOTA: No añada químicos directamente en el desnatador o skimmer de la piscina. Tales químicos no diluidos pueden dañar la maquina y reducir garantía. Abre el sistema de válvulas y asegure que la bomba se encuentre lleno de agua. Asegure el nivel del agua sobre el nivel especificado del desnatador o skimmer de la salida de succión.

Con la bomba apagada, desplace o fije la válvula en la posición: "BACKWASH" (Lavado de retorno o reverso).

Prenda o encienda la bomba, el agua circulará en reverso a través del filtro hacia el drenaje.

Mantenga en la posición "BACKWASH" al menos de 3-5 minutos o hasta que el agua corre de forma transparente o clara (limpia).

Apague la bomba; desplace o fije la válvula en la posición: "RINSE" (Enjuague).

Encienda la bomba y déjelo correr por un minuto al menos.

Apague la bomba; desplace o fije la válvula en la posición: "FILTER" (Filtro).

El filtro se encuentra listo para servicio.

Registre o recuerde la presión de inicio medido en el manómetro como una referencia.

Cuando la piscina es llenado por primera vez, realice el backwash una vez al día hasta que el agua este muy transparente o clara. Después de ello, realice el backwash cuando el manómetro indica de 5 a 7 psi (34.5 a 48 kPa) más elevado que la presión de inicio.

POSICION DE LA VALVULA

Explicacion



FILTER (FILTRO)
Filtracion normal y aspiracion; el agua pasa por el filtro hacia la piscina.



RINSE (ENJUAGUE)
Para limpieza inicial y nivelacion del sedimento de arena despues del backwash; el agua pasa por el filtro hacia el drenaje.



RECIRCULATE (RECIRCULACION)
Circula el agua de la piscina sin pasar por el filtro.



BACKWASH (LAVADO REVERSO)
Revierte el flujo para limpieza; el agua pasa por el filtro hacia el drenaje.



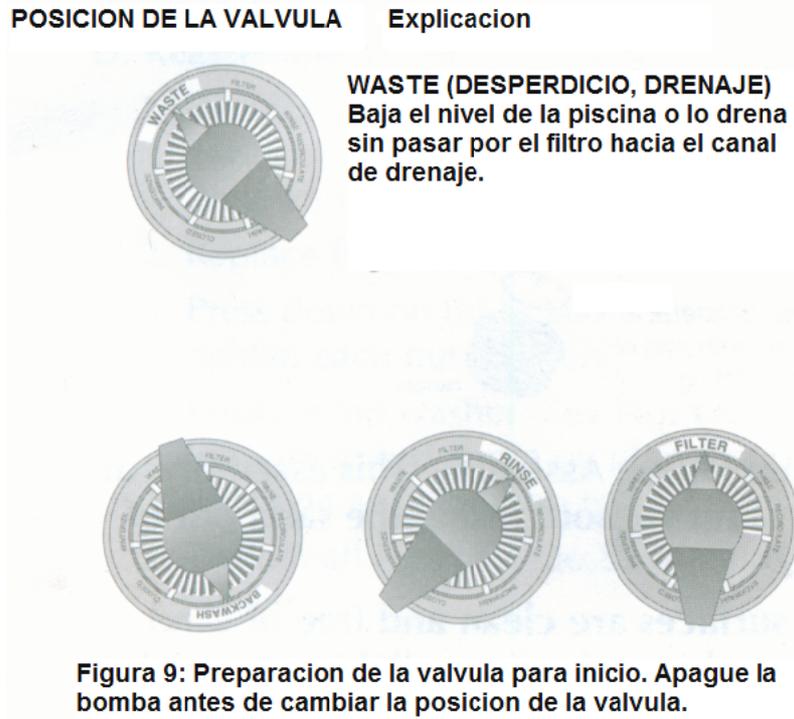
CLOSED (CERRADO)
Cierra todo el flujo al filtro y piscina.



WINTERIZE (INVERNADA)
Deja todos los puertos de las valvulas parcialmente abiertos para almacenaje durante el invierno.

Figura 8

Nota: la posición de válvula denominado “WINTERIZE” (invernada) no es de utilidad para sitios hemisféricos situadas en el sur como el Ecuador puesto que durante el invierno no se producen temperaturas bajas suficientes para congelar el agua de la piscina.



APENDICE C

MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO

General:

- Lave el contorno externo del filtro con un ligero contenido de detergente y agua. Enjuague con una manguera.

NOTA: NUNCA utilice solventes para limpiar el filtro; los solventes pueden dañar los componentes plásticos del sistema.

- Inspeccione el sedimento o nivel de arena del filtro al menos una vez al año para remover impurezas que no ha sido removido del lavado reverso.

NOTA: Cuando el sedimento de arena se vuelve dura con presencia de trizas en su superficie, remueva toda la arena antigua y reemplace con arena nueva.

Inspección semanal de los equipos de la piscina.

1. Revise la presión durante la operación. Cuando la presión excede de 5 a 7 psi en relación de la presión inicial de operación, realice el backwash o lavado reverso (revise las instrucciones del inicio del sistema).
2. Con la excepción de los climas cálidos con una cantidad alta de bañistas, opere el filtro de 6 a 12 horas al día. Monitoree cuidadosamente el balance químico y siga las recomendaciones de un instructor o profesional de piscina.

Mantenimiento del agua.

Mantenga el nivel del agua al menos 2 pulgadas sobre la parte inferior de la apertura del desnatador cuando el sistema no se encuentre en operación. Caso contrario se permitirá el ingreso de aire en el sistema causando pérdidas de succión de la bomba y atrape de aire en el filtro.

Mantenga el nivel de pH de 7.2 a 7.6 en la piscina.

Aspirada de la piscina:

Llene la manguera con agua sumergiéndolo en la piscina desde un extremo al otro.

Para aspirar, inserte la manguera en el puerto de succión del desnatador o skimmer o en una línea de succión para aspiración en la pared de la piscina. Lea detenidamente las instrucciones dadas por el constructor de la piscina. Encienda la bomba, asegure que este alimentado y bombeando.

Después de aspirar, limpie la trampa de succión de la bomba y remueva impurezas acumuladas, después revise la presión indicada del manómetro, si excede de 5 a 7 psi en relación de la presión inicial de operación, realice el backwash o lavado reverso.

Bajado de nivel o drenaje de la piscina¹.

Ver figura 10.

1. Apague la bomba y posicione la perrilla de la válvula en "WASTE".
2. Utilice la manguera y cabezal de la aspiradora (opcional).
3. Enciende la bomba; déjelo correr hasta el nivel deseado reducido.
4. Apague la bomba y posicione la válvula en "FILTER".
5. Enciende la bomba.

¹ El circuito hidráulico total de la piscina permite drenar o bajar el nivel el agua contenida en la piscina mediante una línea independiente exclusivo. (ver plano del sistema hidráulico).



Figura 10: Preparación de la valvula para bajar de nivel o drenar el agua de la piscina. Apague la bomba antes de cambiar la posición de la valvula.

Mantenimiento de la bomba.

Para prevenir una electrocución fatal, APAGUE el motor de la bomba o retire el suministro eléctrico antes de trabajar o realizar reparaciones o mantenimiento correctivo.

Tales reparaciones o mantenimiento al alcance para el Sr. Usuario de la piscina pueden ser.

- Reajuste de conexiones hidráulicas.
- Revisión de conexiones eléctricas.
- Revisión de la trampa de succión, limpieza del filtro de la trampa de succión (canastilla).
- Reajuste del motor de la bomba en la base o bancada.
- Limpieza del contorno de la bomba.

En lo referente a mantenimiento de la trampa de succión, el filtro o canasta se debe limpiar al menos una vez por cada 150 horas de operación de la bomba. Si ocurren filtraciones constantes de impurezas hacia el impulsor centrífugo de la bomba, consulte al proveedor en adquisición de canastillas de mayor capacidad filtrante. Una constante presencia de impurezas (piedritas, cabello, partículas de material de construcción, etc.) puede trabar o inmovilizar el eje de rotación del motor y causar severos daños de sobrecalentamiento y cortocircuito del motor.

Si las reparaciones o mantenimiento superan a los descritos anteriormente, consulte a un profesional calificado de reparación de bombas de caudal para realizar desmontaje de los elementos, overhaul, rebobinado del motor. etc.

FALLAS EN EL ARRANQUE O DURANTE LA OPERACIÓN DE LA BOMBA

Lea detenidamente sobre la seguridad e instrucciones de operación de este manual antes de realizar cualquier acción en la bomba.

A. La bomba no se enciende o no opera.

1. Revise el GFCI (interruptores de conexión auxiliar a tierra) o el relé térmico para la operación apropiada de acuerdo a las instrucciones de manufactura de estos dispositivos.
2. Revise si existe fusibles saltados o quemados, los breakers, o alguna desconexión eléctrica.
3. Revise si existe traspaso de impurezas (piedritas, cabello, partículas de material de construcción, etc.) hacia el impulsor centrífugo. En el caso de haberlo, suspenda inmediatamente el uso de la bomba y consulte a un profesional calificado para desmontar los elementos y realizar su limpieza respectiva.

RECUERDE! EN EL MOMENTO DE DESTAPAR LA TRAMPA DE SUCCIÓN Y REVISAR LA CANASTILLA FILTRO Y AREA DE SUCCION, EL SUMINISTRO ELECTRICO DEL MOTOR DEBE ESTAR RETIRADO O APAGADO Y LAS VALVULAS DE ALIMENTACION (REJILLA Y SKIMMER) Y VALVULAS DE LINEAS DE SALIDAS CON RETORNO DE AGUA DEBEN ESTAR TOTALMENTE CERRADOS.

4. Consulte al proveedor/instalador o el servicio representativo.

B. El motor funciona o corre, pero no impulsa el agua o no genera presión en el sistema.

1. Revise la apertura de todas las válvulas.
2. Revise el skimmer, la canasta y tubería por la presencia de impurezas de tamaño significativo u obstrucciones.
3. Consulte al proveedor/instalador o el servicio representativo.

C. Presencia excesiva de aire en el sistema- la bomba pierde alimentación.

1. Asegure que nivel de agua del skimmer o desnatador sea al menos de 2 pulgadas sobre el nivel inferior de entrada cuando el sistema no opera.
2. Asegure que no exista presencia de hojas de aboles en las áreas de succión de la tubería.
3. Asegure que no exista presencia de remolinos en el área de succión del skimmer. Añade agua si es necesario.
4. Consulte al proveedor/instalador o el servicio representativo.

D. El breaker del circuito de mando salta repetidamente.

1. El breaker puesto debe ser de capacidad adecuada.
2. Si el breaker es de tipo GFCI, realice pruebas de acuerdo a los manuales de instrucción del dispositivo.
3. Asegure que ningún otro circuito de alumbrado (luces) y artefactos estén en el circuito de la bomba.
4. Revise el tamaño de alambre utilizado para conectar la bomba. Una mala selección del alambre para el cableado causará un sobrecalentamiento de la bomba y un excesivo amperaje que conlleva un salto del breaker.
5. Consulte al proveedor/instalador o el servicio representativo.

FALLAS DURANTE LA OPERACIÓN DEL FILTRO.

A. Un bajo ciclo entre lavado de reverso (backwash).

NOTA: El lapso o tiempo entre el lavado reverso varía según la forma de instalación hecha y entre los diferentes áreas del país. Consulte al instalador del sistema sobre el intervalo normal de lavado reverso de su área. Las siguientes causas y solución descritas a continuación son para tiempos de ciclos más bajos que lo normal de su área.

1. El rango de flujo muy alto o el filtro de capacidad muy pequeño; consulte al proveedor para el dimensionamiento del sistema recomendado.
2. El agua se encuentra químicamente fuera de equilibrio o no balanceado; consulte al proveedor o servicio representativo.
3. Presencia excesiva de suciedad/polvo en la piscina; realice la aspiración directamente hacia el drenaje.
4. Presencia de aceites/loción depositadas en el filtro, consulte al proveedor para adquirir productos de limpieza de filtro y sigue las instrucciones de estos productos.
5. Un lavado de reverso inadecuado del filtro. Revise nuevamente las instrucciones de inicio de operación descritos anteriormente.
6. Presencia de algas en la piscina. Consulte a un profesional de piscinas sobre el mantenimiento químico apropiado.
7. El nivel de residuos de cloro muy bajo. Consulte a un profesional de piscinas sobre el mantenimiento químico apropiado.
8. Inspeccione la arena del filtro para determinar su solidificación causada por polvo, calcio, aceites de piel, o lociones de bloqueo contra el sol.

B. Flujo bajo.

1. El tubo se encuentra bloqueado en corriente abajo del filtro; remueva obstrucción.
2. El dimensionamiento del tubo muy pequeño; utilice tuberías de mayor tamaño. (consulte al proveedor para seleccionar el tamaño)
3. Obstrucción en la bomba y/o skimmer causado por cabellos, pelusas. Limpie continuamente.

C. Agua de la piscina no clara o transparente.

1. El agua se encuentra químicamente fuera de equilibrio o no balanceado; consulte al proveedor o servicio representativo.
2. El tamaño del filtro es muy pequeño; consulte al proveedor para seleccionar el tamaño.
3. La presencia de arena en la piscina significa un lateral con fisura. Drene todo el contenido de agua y arena del tanque. Remueva la valvula; siga los procedimientos descritos en inicio del filtro descrito anteriormente y siga las instrucciones del nuevo repuesto del lateral para reemplazarlo.

MANTENIMIENTO DE LOS COLECTORES SOLARES.

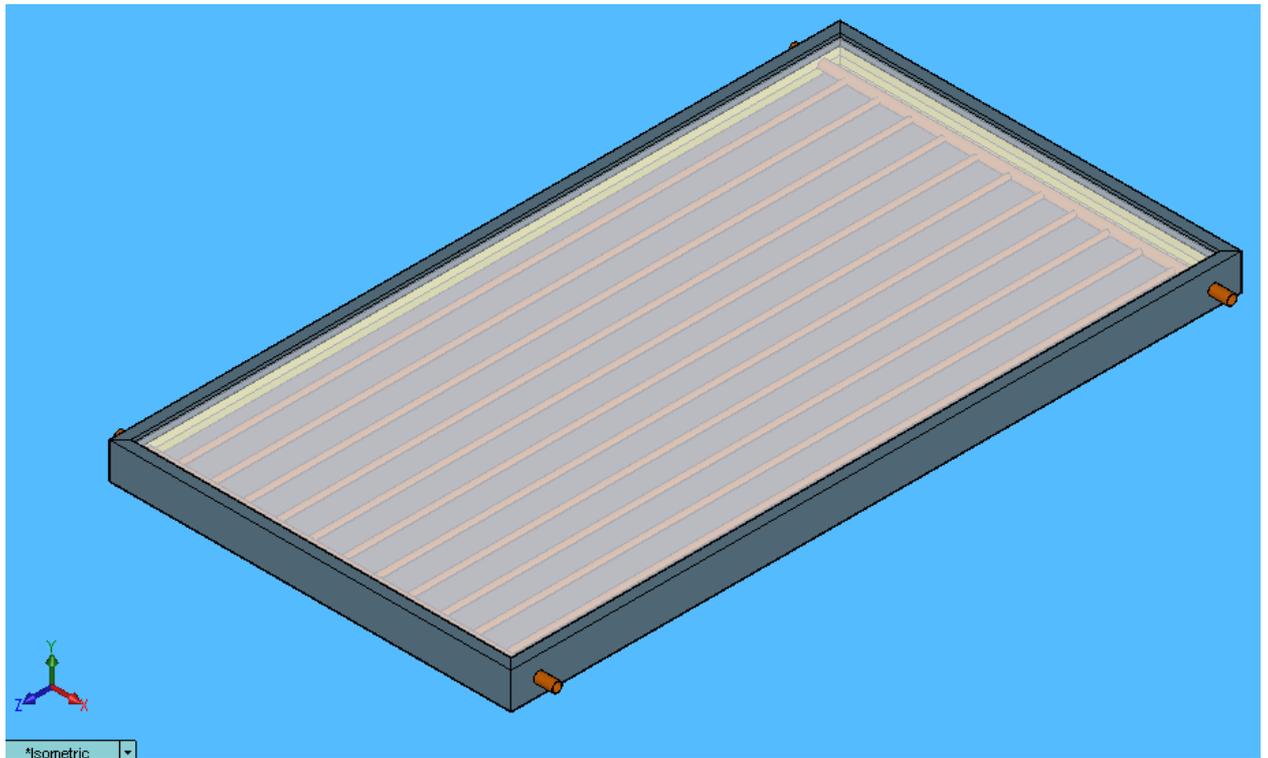


Figura 11 Esquema del colector solar plano

El mantenimiento de los colectores solares planos comprende básicamente de la limpieza constante de la cubierta transparente o vidrio ante impurezas tales como presencia de polvo, hojas, basura entre otras; con el fin de mantener el óptimo aprovechamiento de la energía solar. La limpieza de la cubierta transparente se debe realizar al menos dos veces semanalmente. Mediante una franela ligeramente húmeda o limpia-vidrios, pase suavemente en toda el área de captación hasta que el vidrio quede nítido.

Revise en los colectores solares; la cubierta transparente ante fallas de agrietamientos o fisuras, revise la existencia de humedad interna de los colectores. Si existen estos factores, consulte al proveedor o técnico especialista para su inmediata reparación.

Si no se desea utilizar la piscina durante cierta temporada, se recomienda cubrir mediante una carpa o cubierta los colectores solares.