



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE
AGUA CON ENERGÍA SOLAR Y RECIRCULACIÓN
AUTOMATIZADA PARA LA PISCINA DEL CENTRO
DE ESPARCIMIENTO DEL COLEGIO DE
INGENIEROS DE LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

Autor(es):

**Bach. Arana Torres José Carlos
Bach. Manayay Romero Alexander**

Asesor:

Ing. Oviden Núñez Héctor Antonio

**Línea de Especialidad
Generación de Energías Renovables**

**Pimentel - Perú
2018**

Diseño del Sistema de calentamiento de agua con energía solar y recirculación automatizada para la piscina del centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque.

Aprobación de la Tesis

Ing. Vives Garnique Juan Carlos
Presidente del Jurado de Tesis

Ing. Rojas Coronel Ángel Marcelo
Secretario del Jurado de Tesis

Ing. Gastiaburú Morales Silvia Yvone
Vocal del Jurado de Tesis

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis queridos padres, por haber estado siempre apoyándome, con sus consejos y su dedicación, en el transcurso de este proyecto y que ahora vemos los resultados por este gran esfuerzo, que forma parte del inicio como profesional en Ingeniería.

A mis familiares y amigos, que estuvieron también apoyándome con sus buenos deseos y buenos consejos, para la culminación de esta tesis que es el primer escalón en esta hermosa carrera ingenieril.

Arana Torres José Carlos.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mis queridos hijos y a mi esposa ya que ellos fueron el impulso para continuar con este sueño se ve reflejado en los resultados obtenidos hasta el día de hoy y por supuesto a mis padres ya que siempre estuvieron apoyándome en forma incondicional en todo momento de mi carrera profesional, a todos ellos muchas gracias por estar presente en mis deseos de ser una persona de bien en esta sociedad.

Manayay Romero Alexander.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a las personas que han sido nuestros guías durante la elaboración de esta Tesis. Quiero empezar agradeciendo de manera especial a nuestros asesores, asesor metodológico Mg. Ana María Guerrero Millones y asesor especialista Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez, por su gran dedicación profesional.

Así mismo a todos aquellos que fuimos conociendo en el transcurso de esta elaboración de tesis, por su gran apoyo incondicional y dedicación, aportaciones teóricas y experiencias, además de llamadas de atención enmarcadas en torno a la investigación. Sin su dedicación y disponibilidad, no habríamos podido lograr esta meta.

Arana Torres José Carlos.

AGRADECIMIENTO

Gracias en todo momento a esta institución como es la Universidad Señor de Sipán por brindarnos sus ambientes donde con el transcurrir del tiempo fuimos nutriéndonos de conocimientos, conocimientos que nos van a acompañar en todo momento de nuestra vida.

Gracias a nuestros asesores Mg. Ana María Guerrero Millones, Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez, por su dedicación a nuestro proyecto, y a todos los docentes que tuvimos durante nuestra carrera universitaria.

Manayay Romero Alexander.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	X
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
I INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 Situación Problemática.....	18
1.1.1 Ciudad del Cabo, África.....	18
1.1.2 China.....	19
1.1.3 Japón.....	19
1.1.4 Uruguay.....	20
1.1.5 Argentina.....	20
1.1.6 Lima.....	21
1.1.7 Arequipa.....	21
1.1.8 Nivel local.....	21
1.2 Formulación del problema.....	23
1.3 Hipótesis.....	23
1.4 Objetivos.....	23
1.4.1 Objetivo general.....	23
1.4.2 Objetivos específicos.....	23
1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	24
1.5.1 Técnica.....	24
1.5.2 Social.....	24
1.5.3 Económica.....	24
1.5.4 Ambiental.....	24
1.6 Antecedentes de estudio.....	25
1.6.1 Colombia “Diseño y Construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón”.....	25
1.6.2 Argentina “Colectores Solares para Agua Caliente”.....	26

1.6.3	Piura “Diseño de un Colector Cilindro Parabólico Compuesto con aplicación para el calentamiento de agua”	26
1.6.4	Nivel local	27
1.7	Marco Teórico.....	27
1.7.1	Estado del arte de la energía solar.....	27
1.7.2	Bases teórico científicas	28
1.7.2.1	Radiación solar.....	28
1.7.2.2	Ubicación de la Tierra con respecto al Sol	30
1.7.2.3	Colector solar	32
1.7.2.4	Paneles fotovoltaicos	41
1.7.2.5	Sistema de recirculación	46
1.7.2.6	Caudal del agua.....	46
1.7.2.7	Componentes del Sistema de Recirculación	48
1.7.2.8	Tableros eléctricos	54
1.7.2.9	Normatividad	62
1.7.2.10	Evaluación económica	63
1.8	Definición de la terminología	65
II	MATERIALES Y METODOS	67
2.1	Tipo y Diseño de Investigación	67
2.1.1	Tipo de Investigación.....	67
2.1.2	Diseño de investigación	67
2.2	Métodos de Investigación	67
2.3	Población y muestra.....	68
2.3.1	Población.....	68
2.3.2	Muestra.....	68
2.4	Variables y Operacionalización	68
2.4.1	Variable independiente.....	68
2.4.2	Variable dependiente.....	68
2.4.3	Operacionalización.....	68
2.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	70
2.5.1	Procedimientos para la recolección de datos	71
2.5.1.1	Estudio del diseño de calentamiento de agua por medio del colector solar.....	71

2.5.1.2	Estudio del diseño de alimentación de energía eléctrica por medio del panel fotovoltaico.....	72
2.5.1.3	Estudio del sistema de recirculación automatizada de la piscina.	72
2.5.1.4	Elaboración de manual de usuario para el mejor uso del sistema.	72
2.5.1.5	Elaboración del plan de mantenimiento.....	73
2.5.1.6	Factibilidad económica del proyecto.	73
2.5.1.7	Elaboración de planos del sistema.	73
2.5.2	Manual de usuario	73
2.5.3	Normatividad.....	74
2.6	Validación y Confiabilidad de Instrumentos	74
2.6.1	Aspectos Éticos	74
2.6.1.1	Profundidad en el desarrollo del tema	74
2.6.2	Principios de Rigor Científico.....	74
2.6.2.1	Validez	74
III	RESULTADOS	75
3.1	Resultados en tablas y gráficos	75
3.1.1	Demanda térmica del sistema de calentamiento	75
3.1.1.1	Demanda calorífica	76
3.1.1.2	Aumento de temperatura inicial.....	77
3.1.1.3	Pérdidas de calor	78
3.1.2	Dimensionado del sistema de colectores.....	87
3.1.2.1	Cálculo del área necesaria de colectores.....	89
3.1.2.2	Cálculo de temperatura de salida que alcanza los colectores	93
3.1.2.3	Selección y disposición de colectores.....	95
3.1.3	Cálculo de bombas para recirculación y calentamiento.....	96
3.1.3.1	Selección de bomba del sistema de calefacción	96
3.1.3.2	Pérdidas en tubería y accesorios	97
3.1.3.3	Cálculo de las pérdidas en tuberías	99
3.1.3.4	Cálculo de pérdidas en accesorios	102
3.1.3.5	Selección de bomba de recirculación:.....	106
3.1.3.6	Pérdidas en tubería y accesorios	107

3.1.3.7	Cálculo de las pérdidas en tuberías	108
3.1.3.8	Cálculo de pérdidas en accesorios	109
3.1.4	Dimensionado del sistema fotovoltaico	112
3.1.4.1	Cálculo de demanda a suministrar energía eléctrica.....	112
3.1.4.2	Cálculo de Parámetros para Paneles Solares	116
3.1.4.3	Cálculo del número de paneles para el sistema fotovoltaicos	125
3.1.5	Cálculo de accesorios del sistema	128
IV	DISCUSIÓN.....	131
4.1	Propuesta de Investigación	131
4.1.1	Equipos, Materiales e Instrumentos	133
4.1.2	Recursos humanos.....	134
4.1.3	Fórmulas y cálculos.....	134
4.1.4	Planos	134
4.1.5	Diseño	135
4.1.6	Pruebas de funcionamiento	135
4.1.7	Mantenimiento	135
4.1.8	Costos.....	135
4.2	Factibilidad económica de la propuesta.....	136
4.3	Plan de mantenimiento.....	145
4.4	Conclusiones y Recomendaciones.....	153
4.4.1	Conclusiones	153
4.4.2	Recomendaciones.....	154
V	REFERENCIAS	155

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Toma de la piscina en el centro de esparcimiento	22
Ilustración 2: Siracusa de Arquímedes.....	28
Ilustración 3: Balance energético de la radiación solar.....	29
Ilustración 4: Radiación solar durante los solsticios	31
Ilustración 5: Clasificación de los colectores solares.....	32
Ilustración 6: Corte de sección de colector solar	33
Ilustración 7: Colector solar plano para producción de agua caliente sanitaria	34
Ilustración 8: Colector solar de tubos al vacío	35
Ilustración 9: Colector concentrador cilíndrico parabólico.....	36
Ilustración 10: Colector solar concentrador parabólico	37
Ilustración 11: Órbita de la tierra respecto del sol	39
Ilustración 12: Radiación solar total que alcanza la superficie de la tierra	40
Ilustración 13: Orientación y ángulo de inclinación para colector solar.....	41
Ilustración 14: Elementos de panel fotovoltaico.....	42
Ilustración 15: Principales tipos de paneles FV y sus eficiencias	44
Ilustración 16: Sistema de recirculación	46
Ilustración 17: Bomba de piscina.....	49
Ilustración 18: Bomba centrífuga superficial.....	50
Ilustración 19: Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.	51
Ilustración 20: Filtro de piscina	53
Ilustración 21: Tablero eléctrico	54
Ilustración 22: Contactor.....	57
Ilustración 23: Partes internas del contactor	57
Ilustración 24: Guardamotor	58
Ilustración 25: Interruptor horario digital	59
Ilustración 26: Lámparas de señalización	60
Ilustración 27: Cable eléctrico	61
Ilustración 28: Diagrama del diseño de investigación	67
Ilustración 29: Diagrama de procesos	71
Ilustración 30: Vista Lateral de piscina con dimensiones.....	75
Ilustración 31: Eficiencia del colector solar.....	90
Ilustración 32: Características de los modelos de colector SOLAPOOL.....	95
Ilustración 33: Representación de área colectora influyente.....	96
Ilustración 34: Diagrama de Moody	101
Ilustración 35: Selección de bomba según altura y caudal	104
Ilustración 36: Bomba centrífuga PENTAX CP – 45	105

Ilustración 37: Pérdidas en el filtro	110
Ilustración 38: Selección de bomba de recirculación	111
Ilustración 39: Bomba Comercial PENTAIR serie EQ.....	111
Ilustración 40: Angulo de inclinación optimo según el mes	124
Ilustración 41: Panel fotovoltaico ISOFOTON ISF – 255	126
Ilustración 42: Ubicación del centro de esparcimiento del colegio de ingenieros	131
Ilustración 43: Toma de la caseta del sistema de la recirculación	132
Ilustración 44: Imagen del sistema de recirculación	132
Ilustración 45: Cronograma de mantenimiento preventivo.....	152

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Rendimiento de colector plano	38
Ecuación 2: Ecuación de Continuidad	47
Ecuación 3: Ecuación de Bernoulli.....	47
Ecuación 4: Primera forma de ecuación de Bernoulli.....	48
Ecuación 5: Segunda forma de ecuación de Bernoulli.....	48
Ecuación 6: Valor actual neto	63
Ecuación 7: Tasa interna de retorno.....	64
Ecuación 8: Área menor de la piscina.....	75
Ecuación 9: Área mayor de la piscina.....	76
Ecuación 10: Demanda térmica en la piscina	76
Ecuación 11: Demanda para aumento de temperatura inicial.....	77
Ecuación 12: Perdidas por evaporación	79
Ecuación 13: Humedad absoluta según temperatura	80
Ecuación 14: Perdidas por radiación.....	82
Ecuación 15: Pérdidas por convección	83
Ecuación 16: Perdidas por transmisión.....	84
Ecuación 17: Área de rectángulo menor	85
Ecuación 18: Área de rectángulo mayor.....	85
Ecuación 19: Área cuadrilátero lateral de piscina.....	85
Ecuación 20: Área del piso de piscina	86
Ecuación 21: Ancho del piso de piscina	86
Ecuación 22: Superficie de contacto de la piscina.....	86
Ecuación 23: Área de colectores necesaria.....	89
Ecuación 24: Irradiación global instantánea en plano.....	91
Ecuación 25: Eficiencia del colector.....	93
Ecuación 26: Ecuación de calor cedido	93
Ecuación 27: Ecuación de calor absorbido por colector	94
Ecuación 28: Ecuación del flujo másico	94
Ecuación 29: Cálculo de caudal influente.....	97
Ecuación 30: Área del círculo.....	98
Ecuación 31: Velocidad de fluido.....	98
Ecuación 32: Calculo de altura teórica	98
Ecuación 33: Componente de presión teórica.....	98
Ecuación 34: Componente de velocidad teórica	99
Ecuación 35: Calculo de altura en circuito	99
Ecuación 36: Perdidas en tuberías	99

Ecuación 37: Número de Reynolds.....	100
Ecuación 38: Rugosidad relativa.....	100
Ecuación 39: Calculo teórico de la potencia en la bomba	105
Ecuación 40: Cálculo de altura teórica	107
Ecuación 41: Componente de presión teórica.....	107
Ecuación 42: Componente de velocidad teórica	107
Ecuación 43: Componente de diferencia de nivel.....	107
Ecuación 44: Cálculo de altura en circuito	107
Ecuación 45: Factor de corrección por pérdidas	112
Ecuación 46: Calculo del consumo energético real	114
Ecuación 47: Capacidad del sistema de baterías.....	114
Ecuación 48: Numero de baterías en serie	115
Ecuación 49: Numero de baterías en paralelo.....	115
Ecuación 50: Factor de corrección de la excentricidad de la órbita.....	117
Ecuación 51: Ángulo diario solar.....	117
Ecuación 52: Declinación solar	117
Ecuación 53: Ángulo de salida del sol	118
Ecuación 54: Radiación solar sobre superficie horizontal	118
Ecuación 55: Índice de transparencia atmosférica.....	118
Ecuación 56: Radiación difusa sobre superficie horizontal	118
Ecuación 57: Radiación directa sobre superficie horizontal	118
Ecuación 58: Factor de corrección geométrico.....	120
Ecuación 59: Radiación directa en superficie inclinada	121
Ecuación 60: Radiación difusa en superficie inclinada.....	122
Ecuación 61: Radiación global en superficie inclinada	123
Ecuación 62: Numero de módulos fotovoltaicos requeridos	126
Ecuación 63: Numero de paneles fotovoltaicos en serie.....	127
Ecuación 64: Numero de paneles fotovoltaicos en paralelo	128
Ecuación 65: Caudal en tuberías de filtro	129
Ecuación 66: Superficie d filtración de filtros	130
Ecuación 67: Cálculo de radio de filtros.....	130
Ecuación 68: Cálculo de ingresos diarios	141
Ecuación 69: Valor actual neto según flujo de caja	144
Ecuación 70: Tasa interna de retorno según flujo de caja.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variable independiente	69
Tabla 2: Operacionalización de variables dependientes	69
Tabla 3: Densidad del agua a diferentes temperaturas	78
Tabla 4: Grado de saturación del aire ambiente.....	79
Tabla 5: Propiedad del agua saturada según temperatura	81
Tabla 6: Entalpia de agua saturada	82
Tabla 7: Emisividad para recubrimientos de piscina	83
Tabla 8: Conductividad térmica para mampostería	84
Tabla 9: Irradiación promedio por mes.....	89
Tabla 10: Coeficientes a y b según zona de estudio.....	91
Tabla 11: Horas de sol teóricas.....	92
Tabla 12: Número de colectores según tipo.....	95
Tabla 13: Selección de diámetro de tubería según caudal	97
Tabla 14: Coeficiente de rugosidad absoluta en materiales	100
Tabla 15: Coeficiente de pérdida según accesorio.....	102
Tabla 16: Rango de velocidad recomendado en piscinas.....	106
Tabla 17: Cálculos para tubería de succión y retorno	106
Tabla 18: Pérdidas según diámetro de tubería	108
Tabla 19: Continuación pérdidas según diámetro de tubería	108
Tabla 20: Pérdidas totales en accesorios.....	109
Tabla 21: Demanda energética del sistema.....	112
Tabla 22: Mediciones de radiación solar y velocidad de viento	116
Tabla 23: Resultados de factores solares para la zona de estudio.....	119
Tabla 24: Factores de corrección geométrica para diferentes inclinaciones	120
Tabla 25: Radiación directa en superficie inclinada a diferentes ángulos	121
Tabla 26: Radiación difusa en superficie inclinada a diferentes ángulos	122
Tabla 27: Radiación global en superficie inclinada a diferentes ángulos	123
Tabla 28: Angulo óptimo de inclinación y horas solar pico	125
Tabla 29: Características de panel fotovoltaico ISOFOTON ISF – 255.....	126
Tabla 30: Equipos de medición.....	133
Tabla 31: Materiales empleados	133
Tabla 32: Software utilizados	134
Tabla 33: Recursos humanos	134
Tabla 34: Costo de materiales e implementos del sistema de calentamiento.....	136
Tabla 35: Costo de materiales e implementos del sistema de paneles.....	137
Tabla 36: Costo de materiales e implementos del sistema de recirculación	137

Tabla 37: Costo de materiales e implementos del sistema de automatización.....	138
Tabla 38: Costo de mano de obra para elaboración de sistema de calentamiento	138
Tabla 39: Costo de mano de obra para elaboración de sistema de paneles.....	139
Tabla 40: Costo de mano de obra para elaboración de sistema de recirculación.....	139
Tabla 41: Costo de mano de obra para elaboración de sistema de automatización	139
Tabla 42: Costo de transporte de equipos y accesorios de todos los sistemas	140
Tabla 43: Costo total de la inversión	140
Tabla 44: Ingresos diarios por uso de piscina	141
Tabla 45: Flujo de caja.....	143
Tabla 46: Relación Beneficio-Costo	144

RESUMEN

Debido a la dependencia del suministro eléctrico o de gas, por parte de los usuarios en nuestra región y en nuestro país, para el servicio de calentamiento de agua, existen los equipos convencionales de calentamiento de agua; es así que nace este estudio, partiendo del suministro convencional en estos sistemas de calentamiento de agua, por las personas que poseen estos sistemas para aumentar la temperatura del agua en sus piscinas o duchas.

Se diseñó mediante cálculos matemáticos y físicos, un sistema que se auto alimenta usando la energía solar con el cual se logra elevar la temperatura del agua hasta 26 °C mediante los colectores solares en circuito cerrado con la piscina semi olímpica; y generar energía eléctrica fotovoltaica para la alimentación del bombeo con recirculación automatizada, a su vez se logró seleccionar los componentes complementarios de acuerdo a los cálculos obtenidos.

Dando como resultado de nuestro estudio, la selección de 45 colectores solares de polipropileno para abastecer una demanda térmica de 636 322 *Wh* para calefacción; y 82 paneles solares para la demanda de 72 814.6 *Wh*, conjunto de elementos que cumplan con las normas ambientales.

Palabras claves: colector solar, energías renovables, panel solar, piscina, radiación solar, sistema de calentamiento.

ABSTRACT

Due to the dependence on electricity or gas, users in our region and in our country, for the heating of water service, there are conventional water heating equipment; so this study borns, on the basis of the conventional supply in these systems of heating of water, for people who have these systems to increase the temperature of the water in their swimming pools or showers.

It was designed using mathematical and physical calculations, a self powered system by solar energy which helps to raise the water temperature to 26 °C using the solar collectors in closed circuit with semi olympic swimming pool; and generate photovoltaic energy electric for supply automated recirculation pumps, besides according of calculations it was obtained a set of additional components.

The results of our study were the selection of 45 polypropylene's solar colectors for supply the thermic demand calculated on 636 322 Wh for water heating; and 82 solar panels for electric demand of 72 814.6 Wh, besides those devices are reglaments with the ambiental normative.

Key words: solar collector, renewable energies, solar panel, swimming pool, solar radiation, heating system.

I INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

En la variedad de las energías renovable hallamos la más abundante y constante, la energía proveniente del sol. Esta energía en forma de radiación es ideal para el calentamiento de piscina porque solo se expone directamente a los rayos solares el agua de piscina. La tecnología de paneles térmicos no genera gasto en mantenimiento ya que no posee componentes móviles o es mínimo.

En los sistemas de calentamiento de agua convencional, utilizados por las personas que soliciten de un incremento en la temperatura del agua en sus piscinas. Este sistema pretende aumentar la productividad en base al adecuado uso de las energías renovables para lo cual se ha considerado implementar un sistema automatizado con energía solar. La presente investigación fue planteada con la finalidad de incrementar la temperatura de la piscina del Centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque.

Por lo cual se ha creído por conveniente conocer la realidad de un sistema de calentamiento de agua, teniendo en cuenta la problemática, a nivel internacional, nacional y local; con la finalidad de poder analizar y comparar los diferentes procesos empleados para llegar a dar una solución a este problema que ocurre en un sistema convencional.

1.1.1 Ciudad del Cabo, África.

La iniciativa de comenzar a usar este tipo de energía, se produjo debido a que en esta ciudad empezaron algunos problemas con los reactores que suministraban de energía eléctrica, por lo que se inició con esta innovadora idea de aprovechar la generosa radiación de este continente. Es así que la tecnología de los calentadores solares de agua, disponible por lo menos desde los años 50 - 60, parece bien posicionada para convertirse en una de las fuentes energéticas alternativas que Ciudad del Cabo necesita claramente. Los calentadores que son relativamente caros en instalar, tienen un precio que oscila entre 555 y 2.085 dólares; y requieren poco mantenimiento, además duran unos 25 años.

Permitiendo a los usuarios recuperar los costos de instalación con los futuros ahorros de electricidad.

"El calentador habitualmente consta de un equipo de almacenamiento de agua caliente o géiser, y un panel montado en el techo —llamado colector—, que absorbe la energía del sol y la usa para calentar el líquido del tanque” , así afirman Gail Jennings y Sanjay Suri, (Energía-Sudafrica: Con el Sol en el grifo, 2007.)

También afirman “La regulación propuesta incluye especificaciones sobre la instalación, como el ángulo correcto de ubicación para asegurarse de que absorba suficiente luz de sol” Según (Sanjay & Gail, 2007)

1.1.2 **China**

La embajada danesa es una de las primeras en Pekín que busca métodos innovadores para mejorar la eficiencia energética de los edificios de sus instalaciones. La embajada ha estado trabajando en pos de la neutralidad respecto de sus emisiones de dióxido de carbono y, a la vez, en mejorar su sistema de reciclaje y convertirse gradualmente en autosuficiente, afirma Friis Arne Petersen, embajador de Dinamarca en China.

Como apoyo para realizar esta transición ecológica, la embajada ha instalado bombas circuladoras Grundfos de última generación en sus sistemas de calefacción, refrigeración y circulación de agua caliente (HVAC). Según, (A, s.f.)

1.1.3 **Japón**

El Gobierno de Japón se ha comprometido para la Conferencia Internacional sobre Cambio Climático-París, 2015, reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 26% en el periodo 2013 – 2030, aunque algunos grupos ecologistas lo tildan de insuficiente porque este porcentaje equivale a un 18% acordado en el Protocolo de Kioto. Por otro lado, el compromiso consiste en empezar a generar energía eléctrica mediante incorporación de las renovables, aunque las centrales atómicas también aportará pero en menor porcentaje. Según, (A., NIPPON, 2015).

1.1.4 Uruguay

Los permisos de construcción para hospitales, hoteles y clubes deportivos sólo serán autorizados cuando prevean cubrir mediante el uso de energía solar térmica, al menos el 50% del agua caliente que consuman.

Desde el 12 de agosto pasado está vigente esta normativa que obliga a incluir, a los centros de asistencia de salud, hoteles y clubes deportivos que se construyan en el futuro, equipamientos completos que permitan cubrir al menos el 50% del aporte para el calentamiento de agua utilizando energía solar térmica.

Ese requisito también se aplica a todas las construcciones nuevas del sector público cuya previsión de consumo para agua caliente involucre más del 20% del consumo energético total, y también para las piscinas climatizadas cerradas nuevas, o las existentes que se reconviertan en climatizadas.

Este nuevo requerimiento para la obtención del permiso de construcción es parte de la política de energías alternativas del gobierno y su cumplimiento está a cargo de la Unidad Reguladora de servicios de energía y agua, que debe revisar si cada proyecto cumple con estos requisitos. Según, (Delgado, 2014)

1.1.5 Argentina

Una nueva aplicación muy notoria, en cuanto a energía solar térmica, se está dando en los sistemas para climatizar piscinas. Estos sistemas, de los cuales los colectores modernos forman parte, se fabrican con tuberías de polipropileno organizadas en módulos. Y en conjunto con los paneles solares forman un circuito cerrado, que por medio de las tuberías (alimentación y retorno) se conectan la piscina y el colector solar.

El funcionamiento básico de estos sistemas empieza usando la bomba del sistema de filtrado de la piscina, que logra impulsar el agua de la piscina hacia el colector solar, donde se calienta por la acción de los rayos del sol conforme va circulando por los tubos de polipropileno del colector, para luego ir por la tubería de retorno, regresando con una temperatura mayor hacia la piscina, hasta lograr la temperatura deseada.

Otro beneficio de este sistema ha sido el incremento en la temperatura de entrada del agua en 10° C, con lo que se obtienen temperaturas de entre 25 y 32°C, además el depósito del colector solar puede ser colocado en un techo por

ser livianos aproximadamente 5 kg por metro cuadrado. Según (A., arq.clarin, 2012)

1.1.6 Lima

El uso de energías renovable está teniendo buena acogida, así se demuestra en el colegio Roosevelt, del distrito de La Molina, donde un grupo de seis de sus estudiantes han elaborado un proyecto para calentar el agua de su piscina mediante el uso de energía solar, aprovechando la alta radiación en esta zona.

La tecnología de este sistema consiste en la instalación de tubos al vacío por donde circularía el agua, que recorre desde la piscina hasta las termas solares. En este caso, son 10 termas para este colegio, y cada una tiene 18 tubos al vacío, que en su interior contienen un alambre de cobre, que con la radiación del sol se llegan a calentar. Por lo que, si se calienta el alambre de cobre, también el agua.

El agua calentada se almacena en un tanque en la parte superior de la terma solar. Este sistema es automático, ya que está programado para calentar hasta una temperatura máxima de 29°C, y finalmente el agua calentada es trasladada por las tuberías hasta la piscina, y el proceso se repite. Según, (Castro Pereyra, 2014)

1.1.7 Arequipa

Se hace mención que en esta localidad solo 100, de 8 600 empresas industriales de diferentes rubros, utilizan energías renovables en sus procesos de producción, especialmente la energía solar – terma solar, así lo afirma el subgerente regional de Industria y Pyme, Edgar Robles Falcón.

Además, con el fin de motivar el uso de otras fuentes renovables como la energía eólica, térmica y biomasa; se llevará a cabo la segunda Feria Regional sobre Eficiencia Energética, Energías Renovables y Gestión Ambiental, de esta manera se capacitará y motivará a los empresarios de estas empresas. Según, (Malpartida Tabuchi, 2013).

1.1.8 Nivel local

A nivel local en el departamento de Lambayeque, específicamente en Chiclayo no se puede confirmar la aplicación de esta tecnología, ya que algunos factores como los recursos, conocimiento técnico o desconocimiento, influyen

en el desarrollo de esta tecnología por parte de los usuarios. Además, se mantiene el uso de tecnología convencional para calentar agua, como los calentadores eléctricos o por resistencia eléctrica, que generan gastos adicionales para la canasta familiar de una familia del tipo B o C.

En la actualidad algunos hoteles cuentan con el servicio de agua caliente para sus piscinas con un sistema de combustión que utiliza gas como fuente de calor, lo que genera cierto grado de contaminación en nuestra localidad.

La presente investigación parte de la necesidad de aumentar la temperatura del agua de la piscina del Centro de Esparcimiento del Colegio de Ingenieros de nuestra región, para contribuir con el confort de los bañistas en la época de invierno ya que la temperatura del medio ambiente baja considerablemente y por tal motivo se usa con menos frecuencia la piscina de dicho lugar.



Ilustración 1: Toma de la piscina en el centro de esparcimiento

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto el estudio se basará en el desarrollo de un sistema de calentamiento de agua para la piscina a base de colectores solares y que contará con un sistema de recirculación automatizado que se autoalimentará con paneles fotovoltaicos, que permitirán lograr los objetivos trazados, contribuyendo con la no contaminación del ambiente.

1.2 Formulación del problema

¿De qué manera un sistema de calentamiento de agua con energía solar y recirculación automatizada mejora el proceso de recirculación en la Piscina del centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque?

1.3 Hipótesis

Hi: El diseño del sistema de calentamiento de agua con energía solar y recirculación automatizada optimiza el aumento de la temperatura del agua hasta una temperatura de confort de 26 °C en la piscina del centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de calentamiento de agua con energía solar y sistema de recirculación automatizado para la piscina del centro de esparcimiento del colegio de ingenieros de Lambayeque, empleando la normativa vigente.

1.4.2 Objetivos específicos

Determinar la demanda de energía térmica del sistema de calentamiento en la piscina del Centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque.

Determinar la demanda de energía eléctrica del sistema de paneles solares.

Determinar los componentes electromecánicos, electrónicos y automatizados a utilizar en el sistema.

Elaborar un plan de mantenimiento del sistema de calentamiento de agua con energía solar y sistema de recirculación automatizado para la piscina del centro de esparcimiento del colegio de ingenieros de Lambayeque.

Determinar el costo – beneficio del proyecto.

1.5 Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación es de suma importancia para la sociedad lambayecana la cual se justifican teniendo en cuenta las siguientes relevancias

1.5.1 Técnica

Este Sistema utiliza energías renovables reemplazando a los sistemas convencionales, utilizados para el aumento de temperatura del agua en la piscina, ya que cuenta con paneles solares como fuente de energía de alimentación para todo nuestro circuito; y además cuenta con un colector solar que aprovecha la radiación del sol para calentar dicha agua.

1.5.2 Social

La concepción de esta sistema es un aporte enorme al mejoramiento de la tecnología e ingeniería nacional, debido a que se convierte en un nuevo modelo a seguir en cuanto a diseño y automatización se refiere, permitiendo que dentro de la región y el país se genere una nueva ola de conocimiento e interés en temas tan innovadores de la ingeniería, así como la implementación de los mismos en empresas similares al rubro.

1.5.3 Económica

Considerando en este proyecto la mejora en la eficiencia y volver más óptimo el proceso de calentado de agua, y al contar como fuente de alimentación las energías renovables resulta más económico a comparación de las convencionales, ya que dependerá solo de energía solar dejando de lado la alimentación de suministro eléctrico o suministro de gas.

1.5.4 Ambiental

La eficiencia de este Sistema resulta del aprovechamiento de la energía solar (energía renovable). Contribuyendo con la preservación del ecosistema de nuestra región y así brindar un mejor futuro ambiental a las generaciones

venideras, además de motivar al uso de energías limpias, para uso doméstico, calentamiento de piscina o agua caliente sanitaria.

Limitaciones de la investigación

Una de las limitaciones que se tiene es el modelo de cálculo de demanda térmica. El cual, es fundamental para realizar el diseño de sistema de calentamiento de agua para piscina, si bien es cierto, no se tiene como objetivo diseñar el colector solar, pero se necesita conocer la cantidad de energía requerida para calentar el volumen de agua de nuestra piscina, considerando las pérdidas por distintos factores, el ángulo de inclinación del colector, incluso la radiación en esta zona, entre otros.

Además, es nuestro primer objetivo específico a demostrar. Por esta razón, se comienza con la guía de algunos estudios o tesis, que se han basado en diseñar colectores solares para determinado fin, obteniendo resultados muy alentadores.

1.6 Antecedentes de estudio

En la actualidad, esta tecnología es poco conocida para lo que es el calentamiento de agua, que se puede dar uso en diferentes aplicaciones ya sea a baja escala como en duchas o en escalas mayores como una piscina.

A continuación, se verá algunas investigaciones que ayudan a enriquecer el interés por esta tecnología, además de ser un aporte muy importante al ecosistema.

1.6.1 Colombia “Diseño y Construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón”

Esta investigación describe el diseño y construcción de un colector solar para calentamiento de agua de consumo doméstico, por termosifón. Este proyecto se ha realizado con un diseño matemático, una selección de materiales y un proceso de construcción, respetando las normas técnicas vigentes de Colombia.

Además, este diseño, utiliza el principio del termosifón, calentando el agua que entra por la parte inferior del colector, lo que disminuye su densidad comparado con la del agua fría, y por gravedad esta es impulsada por la tubería de retorno al colector. Se presentaron algunas dificultades en la construcción del

colector por los materiales empleados, y en la construcción del tanque por el espesor de la lámina.

Se hizo los primeros ensayos, donde los resultados cumplen los objetivos del consumo doméstico de manera promedio, esperando mejorarse. Fuente: (Burbano, Restrepo, & Sabogal, 2006)

1.6.2 Argentina “Colectores Solares para Agua Caliente”

Esta investigación empieza describiendo los tipos de colectores, como los de placa plana con cubierta y sin cubierta, que absorbe la radiación del sol para transmitir el calor al fluido de su interior.

Los colectores CPC, que poseen un sistema de concentración de radiación alcanzando un rendimiento cercano al 50%; y los colectores de tubo de vacío, que captan la radiación para transferirla a un fluido portador y gracias a las propiedades aislantes del vacío, el fluido alcanza temperaturas en un rango de 77 °C a 177 °C; y se prosigue con una comparación entre las eficiencias de estos tipos de colectores y un análisis con respecto a los costos de inversión de esta tecnología, teniendo como una de las conclusiones que existen

Usuarios que están apostando por los tubos de vacío por su alto rendimiento, ya que son relativamente caros; que se está abriendo mercado en esta tecnología y por ende se espera que los precios disminuyan; y que el aprovechamiento de la energía solar es una buena alternativa con el medio ambiente. Fuente: (Placco, Saravia, & Cadena, s.f.)

1.6.3 Piura “Diseño de un Colector Cilindro Parabólico Compuesto con aplicación para el calentamiento de agua”

Este trabajo busca la comprobación teórica de los beneficios del empleo de un colector cilíndrico parabólico compuesto de tipo estacionario, y que junto a la favorable radiación de la ciudad de Piura se espera resulte favorable.

Se inicia con la definición de términos a emplear, seguido de una clasificación de colectores con sus características y aplicaciones, también se menciona sobre el estudio de la óptica en colectores tipo Cilindro Parabólico Compuesto (CPC).

Continuando con el diseño del prototipo del CPC, tomando en cuenta la geometría conveniente para aprovechar la radiación de esta ciudad, además se realizó el estudio térmico para colectores de este tipo. Prosiguiendo, se muestran los resultados obtenidos teóricamente del diseño del colector parabólico compuesto de tipo estacionario, así como consideraciones para mejorar su eficiencia, también se plantea un plan de mantenimiento para este sistema.

Para terminar el trabajo se realizó una cotización para el desarrollo de este diseño con un valor total de 797.20 soles; concluyendo que se puede aprovechar la radiación de la zona con este diseño de CPC, además de tener ventajas sobre los paneles planos, es viables económicamente y es una aplicación práctica de la energía solar. Fuente: (Echevarría López, 2011)

1.6.4 Nivel local

En nuestra región, no se tiene indicios de algún sistema de calentamiento de agua usando energías renovables o similar instalado en alguna parte de la región de Lambayeque; pero lo que sí hay o existen son los calentadores a gas que sirven para aumentar la temperatura del agua de las piscinas, lo cual sería innovador en este sistema.

1.7 Marco Teórico

Se menciona algunas tecnologías empleadas para aumentar la temperatura del agua de una piscina y la difusión de la energía solar, con la finalidad de satisfacer las necesidades de usuarios que buscan aprovechar esta tendencia para el uso en piscinas públicas, o similares.

1.7.1 Estado del arte de la energía solar

Empieza hace 2500 años con la cultura griega, cuando empezaron a aprovechar el sol durante los inviernos. Un relato antiguo habla cómo en el año 200 A.C. Arquímedes, direcciona los rayos del sol hacia naves invasoras romanas, logrando quemarlas, esto fue posible empleando espejos cóncavos y apuntando varios reflectores a un solo foco. Otro filósofo, Euclides, menciona

en sus trabajos de óptica que es posible generar elevadas temperaturas con el uso de espejos curvos.



Ilustración 2: Siracusa de Arquímedes

Fuente: recuerdosdepondora.com/historia/inventos/historia-de-la-energia-solar

Durante el siglo XIX, se descubre el efecto de la fotovoltaica para generar electricidad, por el físico Edmond Becquerel, dando inicio al estudio de células fotovoltaicas, las primeras solo alcanzaban el 2% de eficiencia, pasando a mejorar significativamente al emplear leneio como lo propuso Willoughby Smith en 1873.

La difusión de la energía solar a partir del segundo milenio fue en crecida en países de gran dependencia energética como el Japón, en donde se instalaron 250000 paneles solares a viviendas residenciales, para el 2003 se invertía 20 000 millones de dólares al año, en energías renovables como solar y eólica, mostrando el compromiso de las empresas con el ambiente, para el 2009, se tenía una potencia instalada de 20 000 Mega Watts alrededor del mundo.

1.7.2 Bases teórico científicas

1.7.2.1 Radiación solar

La radiación emitida por el astro, en todas las direcciones, es resultado de las reacciones nucleares en la superficie del sol, y en conjunto se llaman espectro electromagnético, este varía según las características específicas de los materiales en los que incide, pudiendo verse diferentes

tipos de luces identificables en el espectro, la luz visible a simple vista es la más común, que puede ser percibida por los humanos.

Las unidades de la radiación al ser energía es el Watt-hora (Wh) y la potencia se expresa en Watts (W). Para el caso del aprovechamiento de esta energía sobre el área que incide, las unidades son energía sobre área o densidad de energía, cuando los rayos llegan perpendicular al área de colección. Cuando se cumple este caso se llama Irradiación, y se expresa en Watts por hora sobre metro cuadrado $W \times h/m^2$.

El efecto invernadero se da por acción de la exosfera, una capa de la atmosfera en la tierra, este efecto hace que los rayos solares revoten y regresen a la tierra, aumentando la temperatura y alterando las condiciones en las estaciones, a este fenómeno se le llama calentamiento global. De toda la radiación que llega a la tierra solo el 47% incide en la superficie terrestre, un 31% de manera directa y un 16% como difusa o indirecta.

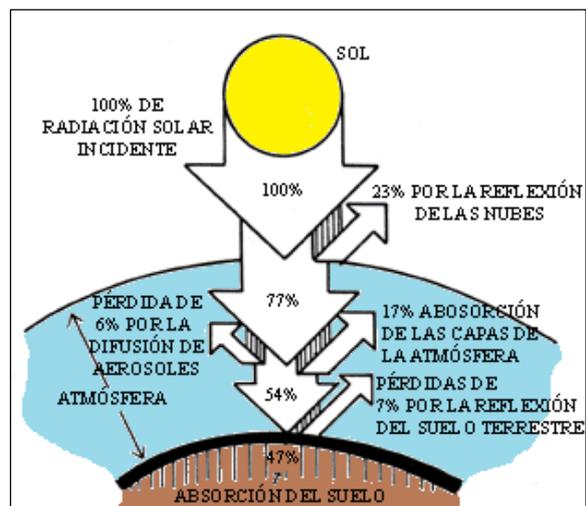


Ilustración 3: Balance energético de la radiación solar

Fuente: saecsaenergiasolar.com/renovables/energia_solar

El resto de radiación que no se aprovecha, va un 23% de regreso al espacio y el resto se pierde al atravesar las diferentes capas de la atmósfera terrestre.

1.7.2.2 *Ubicación de la Tierra con respecto al Sol*

El 21 de Diciembre es el Solsticio de Invierno, en esta fecha los rayos del sol, están presentes un menor tiempo en el Hemisferio Norte, por la inclinación del eje de la tierra, este es el día de menor duración y marca el inicio del Invierno, al medio día la altura del sol es la más baja, haciendo de este el día de menor radiación. Sucede lo opuesto en el Hemisferio Sur, conocido como el Solsticio de Verano.

El 21 de Marzo ocurre el Equinoccio de Primavera, en esta fecha el día y la noche tienen igual cantidad de horas y el nivel de soleamiento es igual en Hemisferio Norte y Sur, el sol describe un movimiento a lo largo del Ecuador de la tierra, esta situación se ve de nuevo en el Equinoccio de Otoño el 23 de Septiembre, en donde el recorrido del sol se vuelve a alinear con el Ecuador. Otro escenario se presenta en el Solsticio de Invierno, que se da el 22 de Junio, en este caso ocurren fenómenos similares al Solsticio de Verano, pero en el hemisferio contrario, es decir el día dura más en el Hemisferio Sur, el día de menor duración análogamente al hemisferio opuesto.

Cuando los rayos solares inciden de manera perpendicular al plano de la superficie absorbente, es cuando se da el mayor aprovechamiento de la radiación, de esta manera la cantidad de energía que puede aprovecharse en nuestro planeta está sujeto a las variaciones que este tiene según sus estaciones, pues con estas varía la inclinación de los rayos solares.



Ilustración 4: Radiación solar durante los solsticios

Fuente: campomorfico.com/astrologia.htm

La cantidad de radiación que puede aprovecharse en una superficie, para un determinado lugar, está afectada por varios aspectos como latitud y longitud del sitio específico, el día del año, la altura del sol en el horizonte, el nivel de contaminación por dióxido de carbono y la concentración de vapor de agua en las nubes. En este sentido se puede observar que la cantidad de energía que puede aprovecharse en la tierra es variante según las condiciones antes mencionadas, esto se debe tener muy en cuenta al momento de diseñar sistemas de aprovechamiento solar.

En el límite exterior de la atmósfera, o donde acaba esta, la radiación medida por unidad de área es igual a la emitida por el sol, sin interferencia, a este valor se le conoce como constante solar.

El valor de esta constante es de $1\,367\text{ W/m}^2$, esto a cada segundo, si asumimos la energía recibida durante medio día, se puede obtener un total de $1.7 \times 10^{17}\text{ W}$ cada hora, esto es más de la energía eléctrica consumida a nivel mundial durante un año, sin duda una gran fuente de energía.

1.7.2.3 Colector solar

Un colector o calentador solar o es cualquier dispositivo diseñado para acumular la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica para el aprovechamiento del usuario, por lo general en agua caliente sanitaria (ACS), consumo humano y piscinas.

Clasificación de Colectores Solares.

Existen dos grandes grupos en los que pueden separarse a los colectores solares según el rango de temperaturas que alcanzan, los cuales son:

De baja temperatura, se emplean principalmente en sistemas domésticos, de baja concentración, para el calentamiento de agua en termas o calentamiento de piscinas con grandes áreas de colector.

De alta temperatura, son fabricados de espejos planos o cóncavos y se emplean para el área de generación eléctrica, mediante la concentración de grandes áreas en un foco.

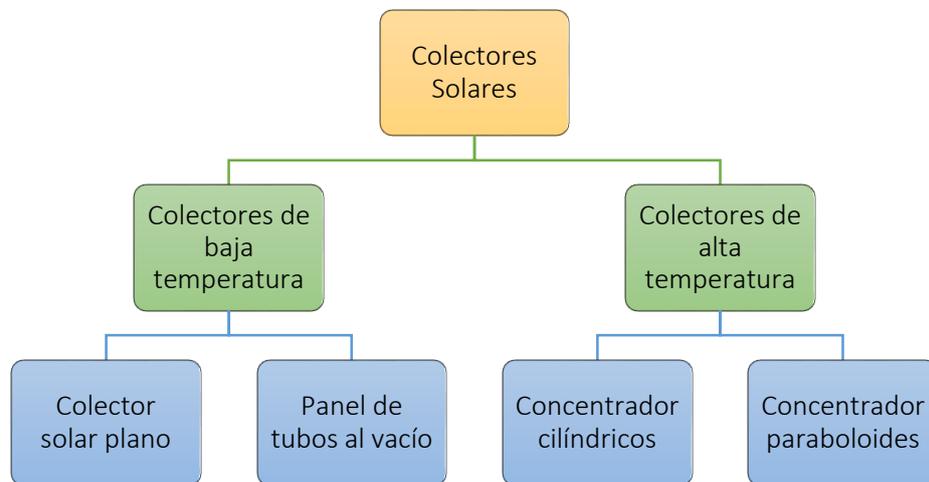


Ilustración 5: Clasificación de los colectores solares

Fuente: Elaboración propia

1.7.2.3.1 Colector solar plano.

Consiste en una caja plana metálica abierta con tapa de vidrio, que en su interior posee un serpentín, por lo general de material de cobre por ser relativamente barato y ser muy buen

conductor térmico; por el cual circula el fluido, que se calienta al pasar a través de este serpentín, además este adopta la forma de una “S” y recorre todo el colector. A su vez este es calentado por estar expuesto a la radiación del sol.

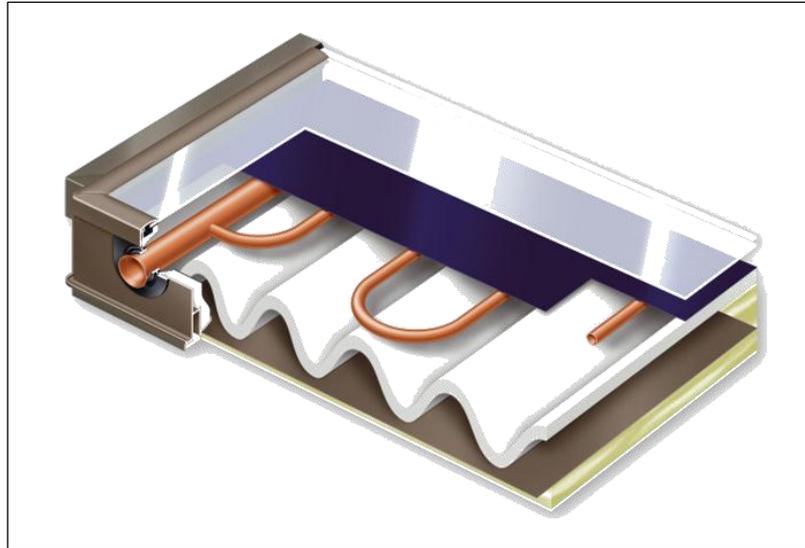


Ilustración 6: Corte de sección de colector solar

Fuente: apsmaroc.wordpress.com/2011/02/10/energia-y-su-transformacion/

La eficiencia de estos colectores se encuentra entre 40 al 65%, siendo los más desarrollados en la actualidad y de mayor difusión a nivel mundial. Empleando materiales de calidad y con un mantenimiento adecuado, el tiempo de vida para estos colectores es de 20 a 25 años sin problemas.

Por lo general el diseño de un colector solar plano contempla, como se demuestra en la figura 7, las siguientes partes:

La caja del colector o armazón

La cubierta transparente o también llamado cristal protector.

Tuberías por donde pasa el fluido o serpentín.

La placa absorbedora.

El aislamiento térmico del colector.

La caja del colector o armazón.

La junta de estanqueidad.

Los colectores planos funcionan a bajas temperaturas, entre 60 y 80 ° C, y son empleados para calentamiento de agua principalmente, y aire en casas.

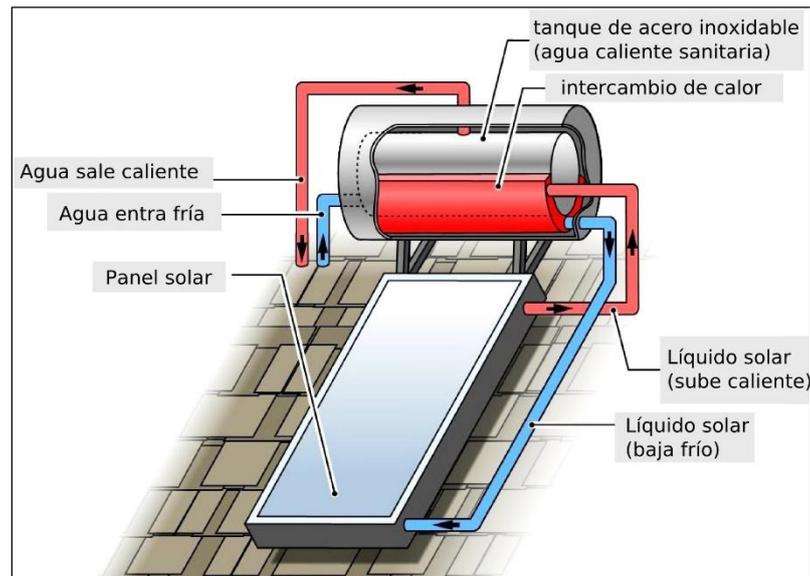


Ilustración 7: Colector solar plano para producción de agua caliente sanitaria

Fuente: elblogdeecocasa.blogspot.pe/

1.7.2.3.2 Colectores de tubos al vacío

Esta clasificación se emplea para obtener energía solar térmica, principalmente para agua caliente sanitaria y procesos térmicos industriales. La base del funcionamiento consiste en la colocación de placas absorbentes de energía y tubos al vacío, por los que circula un fluido de trabajo, permitiendo un mayor aislamiento térmico y alcanzando mayores temperaturas en la placa (sobre 100°C). De esta manera se reducen las pérdidas, aumentando así su eficiencia.

La eficiencia de este sistema al momento de la conversión depende de dos factores, estos son la diferencia de temperatura que alcanza el colector con el medio ambiente; y el nivel de

radiación. Por decir con 400 W/m^2 , y una diferencia de temperatura entre el medio ambiente y el colector de 20°C , se logra una eficiencia de 75% y si aumentamos la diferencia de temperatura a 40°C , ésta decae a 65%.

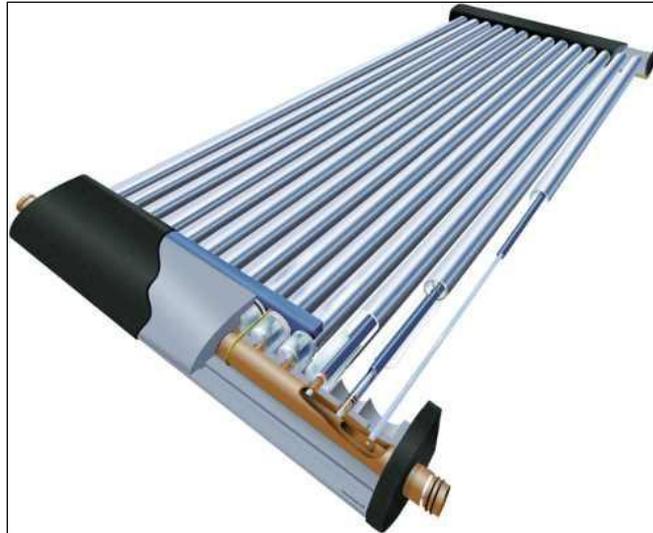


Ilustración 8: Colector solar de tubos al vacío

Fuente: micaldera.eninternet.es

Se conocen 3 tipos de colectores de tubos, tubos de flujo directo, en estos el fluido de trabajo atraviesa la placa absorbente recolectando el calor; tubos de calor, en estos el calor se transfiere en un contenedor donde recibe vapor, luego se condensa y lo regresa al tubo; y los tubos tipo Sídney que son de doble pared, en estos la absorción de calor se hace en la capa exterior del tubo.

1.7.2.3.3 Colector con concentradores cilíndricos

Esta tecnología es muy útil para obtener electricidad y energía térmica ya que alcanza un rango de potencia térmica entre 50 y 300 MW. Consiste en un cilindro horizontal de espejos que focalizan los rayos solares hacia la tubería que pasa por su centro, la cual lleva en su interior el fluido

portador, comúnmente aceite sintético. Que ayudados de sales fundidas permiten la acumulación de energía.



Ilustración 9: Colector concentrador cilíndrico parabólico.

Fuente: energiaunam.wordpress.com/2010/03/04/energia-solar-termica-parabolicarojas-garica-michael-jossue/

Se distribuyen comercialmente, constituyen la tecnología mejor desarrollada en el área de colectores parabólicos, empleándose en sistemas de generación de alta potencia. Aun así, se siguen estudiando para aumentar su rendimiento y mejorar la eficiencia de transformación, actualmente ésta eficiencia está en un 60% en solar térmica y 15% en eléctrica, con temperaturas de 400 °C. Para un correcto funcionamiento solo se necesita cielo despejados y altos índices de radiación.

1.7.2.3.4 Colectores con concentradores paraboloides

Los discos colectores se encargan de enfocar los rayos solares hacia un punto en común llamado foco, ubicado al centro del plato colector. El Sistema de captación, que consta del disco y el recetor, se va posicionando conforme avanza el sol, logrando una mayor eficiencia de este sistemas de baja capacidad de generación (decenas de *kW*). El calor es aprovechado por un motor termodinámico, tipo Stirling de alta eficiencia con Hidrógeno o Helio, para producir electricidad a

partir de él; Este diseño no necesita de algún fluido de transferencia, ni de agua como refrigerante

Los discos brindan el mejor desempeño en cuanto a conversión de solar a eléctrica dentro del sistema de colector solar parabólico. Entre sus características las que más resaltan son su tamaño compacto, ausencia de agua de enfriamiento, volviéndolas una competencia contra los módulos fotovoltaicos. No requiere piezas especiales o piezas únicas para su construcción, pero como cualquier diseño se analiza otros aspectos como alineación de espejos y sistemas de control para el seguimiento del sol.



Ilustración 10: Colector solar concentrador parabólico

Fuente: solarweb.net

Los costos relacionados a la generación son elevados, para el caso de una planta de gran envergadura se requieren 10.000 USD/kW , como inversión inicial y genera un costo de mantenimiento de $48,2 \text{ USD/kW}$ anualmente, con estos valores se logra generar energía a un costo de $28,3$ centavos USD/kWh .

Al introducir tubos receptores de manera independiente, destinados a cada unidad mejora la eficiencia en aproximadamente un 10%. Aún se

encuentra en etapa de investigación y mejora, llevando solamente 20 años desde su desarrollo, aun así, las plantas no representan pérdidas de rendimiento después de todo este tiempo.

Principios de funcionamiento de un colector solar plano.

El funcionamiento de los colectores se basa en el efecto invernadero, producido por la retención y rebote de los rayos solares al interior del colector. Primero debemos saber que cuando la luz pasa a través de una o varias capas de vidrio u otro material transparente se transmiten cierta radiación en longitudes de onda corta.

Suponiendo que tenemos un sistema con una cubierta transparente y que está perfectamente aislado del exterior con un material pintado de negro en su interior (este color absorbe mejor y mayor radiación) para que absorba al máximo la radiación, luego de calentar y elevar la temperatura, ese material emitirá su propia radiación de manera similar a los elementos calientes y sus rayos infrarrojos.

La radiación emitida depende en gran magnitud del material con el que se construye y la temperatura máxima que alcanza. Ahora esta radiación es de longitud de onda larga y no atravesará la capa de vidrio, quedando atrapada en el interior y en consecuencia, esto provocará un aumento de la temperatura en el interior del colector comparado con la del exterior, muy similar sentimos al entrar a un invernadero.

Se ha estudiado a los colectores, de manera que se puede calcular el rendimiento de estos. Por lo general, la eficiencia del colector (Ecuación 1) se mide como la razón entre la energía útil y la energía que incide sobre el colector (energía disponible).

$$\mu = \frac{\textit{energía captada}}{\textit{energía disponible}} \times 100\%$$

Ecuación 1: Rendimiento de colector plano

Fuente: Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos

1.7.2.3.5 Orientación de un Colector Solar Plano.

La tierra orbita alrededor del sol, mediante un movimiento conocido como de traslación, que tiene una duración de 365 días. La trayectoria que sigue es de forma elíptica, ubicando al Sol en los centros de radio de la trayectoria. Al presentar esta peculiaridad la Tierra se acerca más al sol durante una época y se aleja más del sol durante el resto del tiempo.

Cuando se alcanza la menor distancia entre el Sol y la tierra se le conoce como Perihelio y la distancia es de $1.45 \times 10^8 \text{ km}$, y la posición más alejada se llama Afelio cuando se encuentra a $1.52 \times 10^8 \text{ km}$, esto se puede apreciar en la siguiente figura.

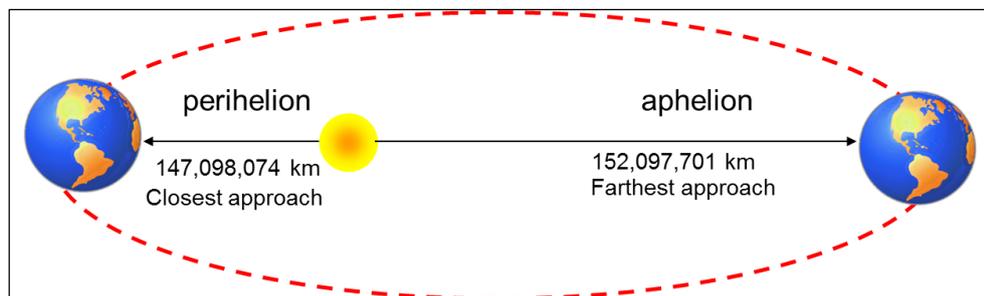


Ilustración 11: Órbita de la tierra respecto del sol

Fuente: greatbustardsflight.blogspot.pe/2015/09/clases-de-navegacion-el-sistema-solar.html

El planeta Tierra también gira en torno a su eje, el movimiento circular conocido como de rotación, este mismo eje no se mantiene estable a lo largo del año, sino que describe una forma elíptica, variando en un ángulo de 23.45° positivo y negativo, este movimiento con respecto a un plano inclinado es lo que da origen a las estaciones, que inciden directamente en la cantidad de radiación que incide sobre la tierra.

La luz viaja del sol a la tierra, al atravesar la atmósfera, una parte de esta se dispersa y el resto cae de manera directa sobre

superficies perpendiculares, se le conoce como radiación directa, una última fracción es absorbida por las nubes y el entorno, se le conoce como radiación difusa, en la figura 12 se muestra los diversos tipos de radiación.

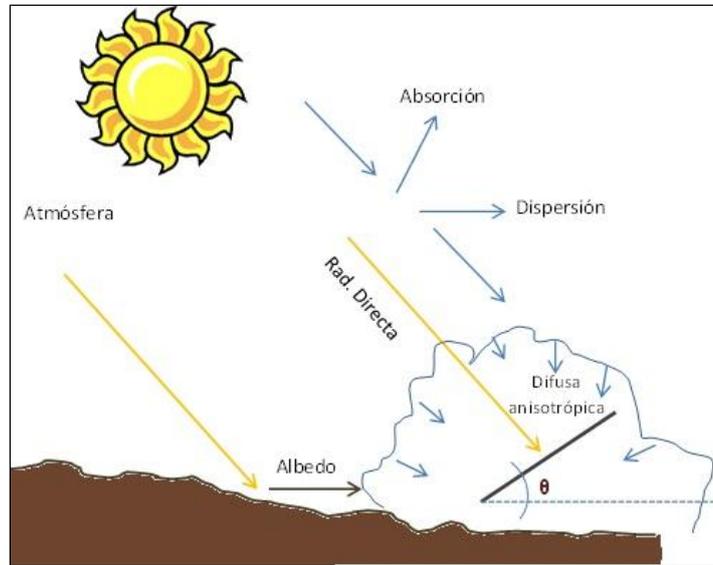


Ilustración 12: Radiación solar total que alcanza la superficie de la tierra

Fuente: blogdequk.com/2011/07/el-comportamiento-de-la-radiacion-solar.html

Los colectores solares pueden generar calor aun en ausencia de radiación directa sobre el plato, siendo útil aun para zonas de poca radiación o altos días de cielos nublados, sin embargo, la eficiencia se ve seriamente comprometida, al no contar con las condiciones óptimas de funcionamiento que son: plena presencia de luz y una orientación perpendicular entre los rayos solares y el plato colector, para aprovechar al máximo la energía solar.

1.7.2.3.6 Ángulo de inclinación de un Colector Solar Plano

Generalmente los colectores al instalarse en techos o estructuras fijas, no pueden seguir el desplazamiento del sol durante su trayectoria, esto significa que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía a lo largo del día. Esto

también ocurre al cambiar las estaciones de esta manera, el ángulo formado en invierno, no será el mismo formado en verano para las mismas horas.

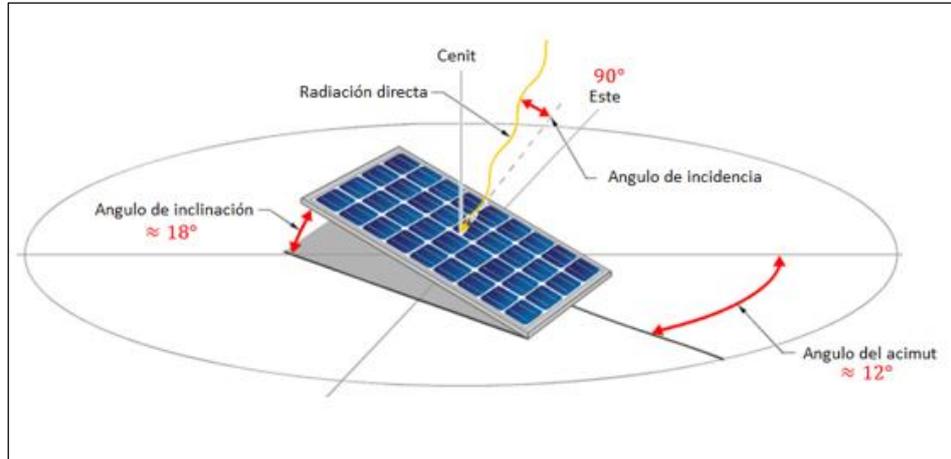


Ilustración 13: Orientación y ángulo de inclinación para colector solar

Fuente: solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/ubicacion-paneles

Lo ideal es inclinar los paneles de manera horizontal en el verano para el máximo aprovechamiento de los rayos solares. Sin embargo, los mismos colectores no estarán, entonces, en posición óptima para el sol del invierno. Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los colectores solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, el valor del mismo estar entre los valores de ángulo óptimo para cada estación.

1.7.2.4 Paneles fotovoltaicos

Los paneles o módulos solares fotovoltaicos denominados por las siglas FV, se conforman de varias celdas de menor tamaño, conectadas en serie y paralelo, para lograr las condiciones requeridas de generación, estas están soportadas en una estructura que asegura su protección y mejora su funcionamiento.

Se puede observar, los paneles cuentan con elementos de protección, ya que estos funcionan a la intemperie y deben soportar las condiciones

más adversas, para asegurar la integridad de los paneles, estos cuentan con los siguientes componentes:

Encapsulante: es el encargado de proteger las celdas fotovoltaicas al interior del panel, el material con el que se fabrica debe ser bueno transmitiendo la radiación y soportar el desgaste frente a los rayos solares.

Cubierta exterior: está fabricada en vidrio templado, brinda protección al panel contra las lluvias o filtraciones y permite el paso de la radiación, esta parte es una de las que soporta mayor calentamiento durante el proceso de absorción.

Cubierta posterior: está compuesta por varias capas oscuras reflectantes, para retornar la luz que atraviesa las células hacia estas, para un mejor aprovechamiento de la radiación.

Marco metálico: es la parte estructural de los paneles, es construido generalmente de aluminio, debido a su resistencia y bajo peso, en esta parte se adosan los componentes de sujeción para las superficies en donde se va a emplear.

Caja de terminales: es donde se tienen los conectores o borneras para las conexiones entre módulos a la red de utilización.

Diodo de protección: estos impiden el retorno de electricidad al módulo, evitando que se comporte como carga y disminuye la eficiencia del conjunto.

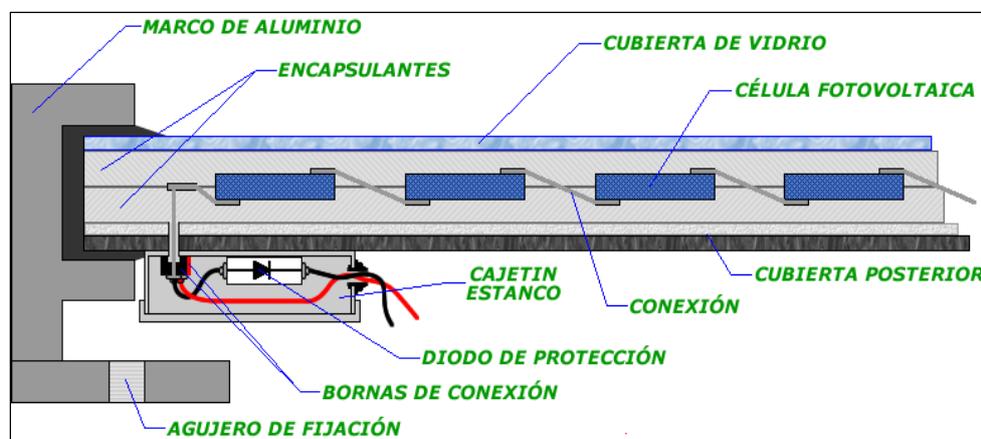


Ilustración 14: Elementos de panel fotovoltaico

Fuente: ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html

Los parámetros de funcionamiento están relacionados con la cantidad de celdas que emplea el módulo y la disposición de esta, según el tipo de conexiones se pueden lograr distintos voltajes e intensidades, las de uso más frecuente se encuentran en 12 o 24 *Vdc*. Según las condiciones de fabricación, estos pueden llegar a tener una vida útil de 25 años extendiéndose hasta 30 si las condiciones ambientales no son tan adversas en el lugar de instalación.

El valor de la potencia indicada en el módulo hace referencia a la cantidad de energía que este puede producir funcionando en condiciones normales, ósea que un módulo de 100 Wp genera 100 *Wh* si durante el periodo de una hora este recibe una radiación igual a 1000W/m², que es la radiación para la cual fue diseñado, así mismo la potencia que el panel produce es menor en condiciones desfavorables.

Según su método de producción es que dan las formas de los módulos, en un inicio estos presentaban formas circulares, actualmente se desarrollan con formas cuadradas, ya que permiten mejorar el área de aprovechamiento en sistemas interconectados, reduciendo gastos en espacio en comparación con sus antecedentes de forma circular. El tipo de material empleado para su fabricación influye en la eficiencia de estos, aunque los materiales más eficientes también representan un mayor costo de adquisición, según el tipo de instalación estos gastos se justifican, en la siguiente tabla se presentan los tipos de celdas, con su eficiencia.

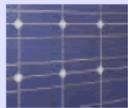
CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Ilustración 15: Principales tipos de paneles FV y sus eficiencias

Fuente: eliseosebastian.com/como-hacen-las-celdas-fotovoltaicas

1.7.2.4.1 Orientación de los Módulos FV

En general estos son colocados sobre estructuras metálicas o tejados inclinados. Algo importante al momento de la instalación es asegurarse de que ningún objeto o edificio proyecte sombra sobre el módulo a lo largo del día especialmente en las horas de mayor radiación. La orientación está definida por los siguientes ángulos:

Azimutal (δ): formado entre la horizontal y el plano de la superficie colectora.

Elevación (β): formado entre la horizontal y el plano de la superficie colectora.

Para una mejor captación en los colectores montados en estructuras fijas o sin opción a modificar el ángulo, este debe orientarse hacia el polo opuesto del hemisferio donde está inclinado, esto quiere decir que si se instala en el Hemisferio Sur, este deberá apuntar su superficie hacia el Norte con un ángulo de Azimutal cero ($\delta = 0^\circ$), para el Hemisferio Norte se hará lo opuesto.

De este modo se balancea el aprovechamiento de radiación entre la mañana y la tarde, tomando en cuenta que se tiene condiciones parecidas en ambos horarios. Aunque cambiando el ángulo de Azimut hasta en 30° se consigue cambio solo del 2% en eficiencia, con la orientación recomendada de Azimut a 0° , se obtiene el máximo aprovechamiento en promedio anual para ángulos fijos a una inclinación igual a la latitud del lugar, con variaciones del ángulo de elevación en $\pm 15^\circ$, se consigue una variación de 2.5% en la eficiencia del panel.

Se recomienda que la instalación no sea menor a un ángulo de 10° , para que no quede en forma totalmente horizontal así aprovechar el agua de lluvia para la limpieza del panel. Esto genera pérdidas o reduce la eficiencia, pero en poca medida, en comparación con el ahorro en mantenimiento se recomienda mantener esta inclinación, las condiciones generalmente usadas para la orientación de paneles fotovoltaicos son las siguientes $\delta = 0^\circ$, $\beta = \text{latitud} > 10^\circ$.

1.7.2.4.2 La celda solar

Los materiales eléctricamente se clasifican en 3 grupos, conductores, semi conductores y aislantes, en base a la conductividad eléctrica, o sea la resistencia que ofrecen al transporte de electrones a lo largo del material.

La transformación de energía solar en forma de luz a energía eléctrica, se logra con el empleo de celdas fotovoltaicas, por un proceso que lleva el mismo nombre. Para entender este fenómeno se debe tener en cuenta la construcción de las mismas, y los fenómenos físicos que ocurren al interior de las celdas, que permiten generación de diferenciales de voltaje y corriente eléctrica en consecuencia,

todo esto a partir de la radiación que se recolecta en su superficie.

El funcionamiento de las celdas solares se asimila al de los diodos, pues están compuestas casi en su totalidad por materiales semi conductores, con la diferencia de que estos pueden ser empleados en configuración que permite el recojo de electrones y posterior utilización. Generalmente lo componen tres capas de sílice, dos de semiconductores tipo N y una de semiconductor tipo P, que interactúan entre sí.

1.7.2.5 Sistema de recirculación

En todas las piscinas ya sea de uso particular o público, se debe instalar sistemas necesarios para mantener el agua en condiciones óptimas para el usuario, uno de estos sistemas es el de recirculación, que provee de un tratamiento fisicoquímico al agua, para regresarla en condiciones óptimas mejorando la experiencia del usuario, se procura filtrar y retirar los contaminantes o agentes externos a la piscina.

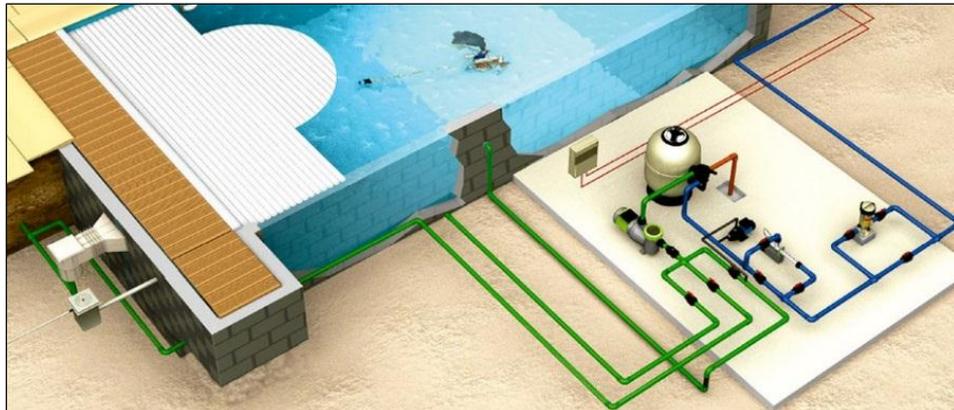


Ilustración 16: Sistema de recirculación

Fuente: toledopiscinas.es /Construcción-piscinas/tratamiento-agua

1.7.2.5.1 Caudal del agua

Se define como el paso de un volumen de agua en determinado tiempo, en sistemas de recirculación se establece como la cantidad de agua que atraviesa las tuberías durante unidad de tiempo, para el diseño de los

sistemas es necesario conocer los factores que afectan al caudal, como materiales o diámetros de los tubos conductores.

Cálculo del caudal

El cálculo del caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad, que se muestra a continuación:

$$Q = v \times A$$

Ecuación 2: Ecuación de Continuidad

Fuente: Apuntes de mecánica de fluidos

Donde

Q : Caudal (m^3/s)

v : Velocidad del fluido (m/s)

A : Área de la sección transversal de la tubería (m^2)

El Principio de funcionamiento de este es el teorema de Bernoulli, para un líquido que fluye en conductos sin rozamiento, se expresa como:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho \times g} = constante$$

Ecuación 3: Ecuación de Bernoulli

Fuente: Apuntes de mecánica de fluidos

Donde:

z : Posición del líquido, respecto a un sistema de coordenadas.

v : Aceleración de la gravedad.

ρ : Densidad del líquido.

P : Presión del líquido confinado dentro de la tubería.

Se debe tener presente que la ecuación funciona para presiones absolutas (incluye la presión atmosférica), así como con la presión relativa (sin considerar la presión atmosférica), pero el criterio que se tome se debe seguir en ambos lados de la ecuación. En la mayoría de

casos de estudio, la variación de altura es así nula, por ese motivo se suele emplear solo las relaciones relativas para simplificar el cálculo.

Dimensionalmente los tres términos de la ecuación se expresan en unidades de longitud, por esto las pérdidas se expresan en metros, esto también representa que en una misma tubería, la suma de las alturas, geométrica (z), de velocidad ($v^2/2g$), y de presión ($P/\rho g$), se mantienen constante, por el principio de continuidad de la energía.

Teniendo en cuenta el rozamiento que se da por la rugosidad de las paredes interiores en la tubería, producto del flujo de agua, se puede reescribir la ecuación entre la entrada y la salida de la siguiente manera:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho \times g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho \times g} + \text{perdidas} \quad (1,2)$$

Ecuación 4: Primera forma de ecuación de Bernoulli

Fuente: Apuntes de mecánica de fluidos

O lo que es igual

$$(z_1 - z_2) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho \times g} = \text{perdidas} \quad (1,2)$$

Ecuación 5: Segunda forma de ecuación de Bernoulli

Fuente: Apuntes de mecánica de fluidos

Donde el término H_R representa las pérdidas de energía expresadas en metros, sufridas por el fluido de trabajo, esto por efectos de rozamiento, rugosidad de las tuberías, pérdida de car en accesorios, entre otros, esta ecuación se emplea para situaciones en tubos cerrados y canales abiertos, con algunas modificaciones se emplea para ríos.

Componentes del Sistema de Recirculación

1.7.2.5.2 La bomba

Es uno de los principales elementos en el sistema de recirculación y filtración en las piscinas, en su mayoría estas son autocebantes, esto significa que la potencia con la que funciona la bomba se autoajusta al flujo de trabajo, estas bombas se ajustan a potencias menores que la nominal de funcionamiento. Por esto existen gran variedad de bombas según las necesidades de caudal, altura y potencia que el usuario requiera, en base a estos parámetros vienen los costos y consumo energético.



Ilustración 17: Bomba de piscina

Fuente: arqhys.com/bombas-de-depuracion-para-piscinas.html

Del otro lado encontramos una turbina impulsora que es movida por el motor eléctrico, la cubierta, también llamada como cámara de vacío, crea una presión negativa que succiona el aguay luego, por la forma de los álabes esta es impulsada hacia fuera de la bomba.

En toda piscina se requiere de un sistema de recirculación, para que el agua se mantenga limpia, fresca, sin hongos o algas, evitando la aparición de bacterias, los componentes más relevantes en este sistema son los filtros de agua y la bomba que ejerce la fuerza para mover todo el volumen de la piscina.

Tipos de bombas:

Equipo de bombeo compatible con Sistema Fotovoltaico

Dentro de la amplia diversidad de bombas se han desarrollado las que utilizan una fuente de potencia constante como los rayos del sol.

Por otro lado, la potencia generada por los paneles FV va directamente en proporción con la disponibilidad de radiación solar. Esto significa que al variar la potencia producida por los paneles, también variará la potencia para la bomba.

1.7.2.5.2.1 Bombas centrífugas

Estas bombas aprovechan la fuerza centrífuga que genera su impulsor a gran velocidad, para llevar el agua a lo largo de su eje y expulsarlo de manera radial, por lo que la velocidad de salida del agua se incrementa con el giro. Existen las del tipo sumergible y las de superficie, ambas logran alturas superiores a 60 m, dependiendo de las características del impulsor. Están diseñadas para determinado rango de cargas dinámicas totales.

Las bombas de tipo superficial son de fácil acceso a la hora de inspeccionar o darles servicio, ya que se instalan a nivel del suelo y el límite de profundidad al trabajar no debe sobrepasar los 8 m.



Ilustración 18: Bomba centrífuga superficial

Fuente: solar.nmsu.edu/wp_guide/bombeo.html

En la gran diversidad de bombas centrífugas sumergibles, existen algunas de motor acoplado directamente a los impulsores resaltando la característica de sumergirse completamente, en otras el motor trabaja en la superficie y los impulsores se encuentran sumergidos pero conectados por una flecha. Al poseer varios impulsores también se le conoce como bombas de paso múltiple.

1.7.2.5.2.2 Bombas Volumétricas

Estas bombas también llamadas de desplazamiento positivo están adecuadas para trabajo de bajos caudales y/o grandes profundidades. El modelo de cilindro y pistón es muy común, logrando desplazar el agua por medio de una cámara sellada. Otra variante es pistón con diafragma y en cada ciclo desplaza el agua hacia arriba. Tiene un eficiente desempeño pues el caudal es proporcional al volumen de agua desplazado, además de que a mayor captación de radiación mayor será la velocidad del motor para bombear el agua.

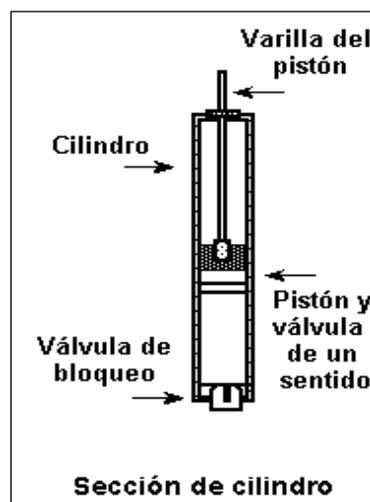


Ilustración 19: Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.

Fuente: solar.nmsu.edu/wp_guide/bombeo.html

1.7.2.5.2.3 Bombas de Diafragma

Este tipo de bombas desplazan agua utilizando diafragmas o membranas de material flexible, por lo general están fabricados de caucho reforzado con materiales sintéticos. Otra característica es la resistencia al trabajo continuo, considerando la calidad del agua puede durar de dos a tres años de funcionamiento antes necesitar un cambio. Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

Una ventaja de estas bombas es su moderado precio, el cual se incrementa y debe considerar al momento de costear los juegos de reemplazos, que consisten en diafragma, escobillas, empaques y sellos; ya que los accesorios se deben cambiar cada dos a tres años. Por otro lado la bomba tiene una vida útil de cinco años.

1.7.2.5.3 Filtros

Este componente es el principal para la limpieza y purificación del agua, el cual devuelve al agua su cristalinidad y su estado más apto para reutilizarla por el usuario. Los más utilizados son los filtros de arena por necesitar un mínimo de mantenimiento.

El funcionamiento de este dispositivo es filtrar el agua a través del depósito de arena, donde las impurezas quedan atrapadas y el agua es devuelta para su uso correspondiente por el usuario.

Este dispositivo también realiza la acción de contra-lavado mediante la manipulación de llaves, se logra invertir el sentido de circulación del agua en el filtro con el objetivo de eliminar la acumulación de materias retenidas en el lecho. Esta acción se realiza cuando el manómetro alcanza una presión determinada.

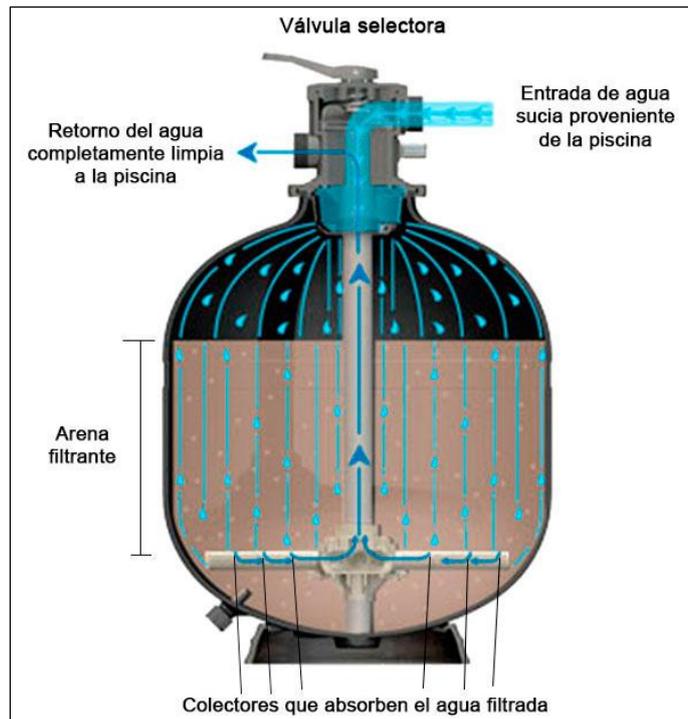


Ilustración 20: Filtro de piscina

Fuente: outlet-piscinas.com/blog/funciones-filtro-arena-piscinas

Funcionamiento del Sistema de Filtro:

- La bomba utiliza un motor que hace girar la turbina, recoge el agua de la piscina a través de skimmer y sumidero.
- El agua recorre la carcasa de la bomba y es llevada a la cámara de vacío.
- Luego pasa al filtro, específicamente al tanque que contiene arena de sílex, el cual efectúa el proceso de filtración del agua.
- La gran cantidad de impurezas acumuladas en el agua son retenidas en el lecho filtrante.
- Un difusor que se encuentra en el tanque del filtro, elimina las burbujas de aire.
- Se devuelve el agua limpia a la piscina, se completa un ciclo cuando pasa toda la cantidad de agua de la piscina a través del filtro. La duración de este ciclo depende de varios factores:
 - Volumen de la piscina (cantidad de agua).
 - Potencia de la bomba (capacidad en m³ capaz de aspirar por hora).
 - Capacidad del filtro utilizado.

1.7.2.6 *Tableros eléctricos*

Son esenciales en las instalaciones eléctricas, tanto por que contienen los dispositivos de seguridad y los elementos de maniobra y control de la instalación. Son gabinetes metálicos o de PVC, cuentan con rieles para el montaje de los diversos equipos según se requiera, maniobra, control, señalización, medición, derivación, entre otras, para el adecuado funcionamiento de la instalación.

Para la fabricación de tableros se debe seguir una normativa que asegure, el cumplimiento de los parámetros mínimos de protección, entre estos se encuentra el grado de protección IP, que es una manera de calificar el impacto que pueden soportar y la protección contra filtraciones.



Ilustración 21: Tablero eléctrico

Fuente: cda-ingenieros.com/tableros-electricos.html

Tipos de tablero eléctricos:

Según la función que cumplen los tableros eléctricos se distribuyen en las siguientes clasificaciones:

- Tablero distribución: es a donde llega la línea principal y de acá se derivan o secciona a los circuitos por subsistemas, en este también se puede realizar el corte y reconexión de energía eléctrica de manera manual.
- Tableros secundarios: son energizados por el tablero principal, estos son para protección, control y maniobra de subsistemas o para equipos que requieren tableros individuales.
- Tableros de paso: se emplean cuando los tramos son demasiado largos, de presentarse una falla, complicaría el mantenimiento y reparación de la instalación, por este caso, se emplean cajas de paso donde se acote la distancia.
- Gabinete individual: en estos se aloja el sistema de potencia domiciliaria, es la etapa de medición energética, de esta se distribuye hacia el interior.
- Tableros de comando: se emplea para contener los sistemas de seguridad eléctrica y maniobra.

1.7.2.6.1 Contactor

Tiene la capacidad de controlar la conexión desconexión de un equipo o sistema, con la opción de ser manipulado manual o automáticamente, solo cuenta con dos posiciones, abierta o cerrada, según las necesidades del usuario se pueden adquirir en posición de reposo variable, y cambio de estado bajo una corriente eléctrica de control, a este sistema de funcionamiento se le conoce como todo o nada.

Clasificación

Los contactores se pueden clasificar según el tipo de energía que usan para accionar el circuito, entre los más difundidos se encuentran los siguientes:

Contactores electromagnéticos: el principio de funcionamiento de estos es el magnetismo inducido a través de una bobina.

Contactores electromecánicos: funcionan en base a muelles mecánicos que retornan el dispositivo a su posición de reposo.

Contactores neumáticos: funcionan empleando la presión de los gases.

Contactores hidráulicos: emplean la hidráulica para el accionamiento de los componentes.

Constitución de un contactor electromagnético

- *Contactos principales:* estos son los conectores del subsistema de potencia, según el mando, estos abren o cierran.
- *Contactos auxiliares:* estos conectores son los que se emplean para conectar el subsistema de control, acá es donde llegan las señales de control y abren o cierran el sistema de potencia.
- *Bobina:* es el elemento que produce una fuerza electromagnética al ser recorrida por un voltaje, generalmente entre 12, 24 o 220 voltios en corriente continua o alterna, según las necesidades del usuario.
- *Armadura:* es la parte móvil, que se encarga de trasladar y conectar los bornes según la posición del contactor.
- *Núcleo de hierro:* es la encargada de cerrar el flujo energético al producir un campo electromagnético que atrae el interruptor, se comporta como un electroimán por la corriente inducida en la bobina.
- *Muelle:* es el resorte encargado de regresar las partes a su posición de reposo, sea abierto o cerrado.



Ilustración 22: Contactor

Fuente: mejoreslinks.masdelaweb.com/funcionamiento-del-contactor

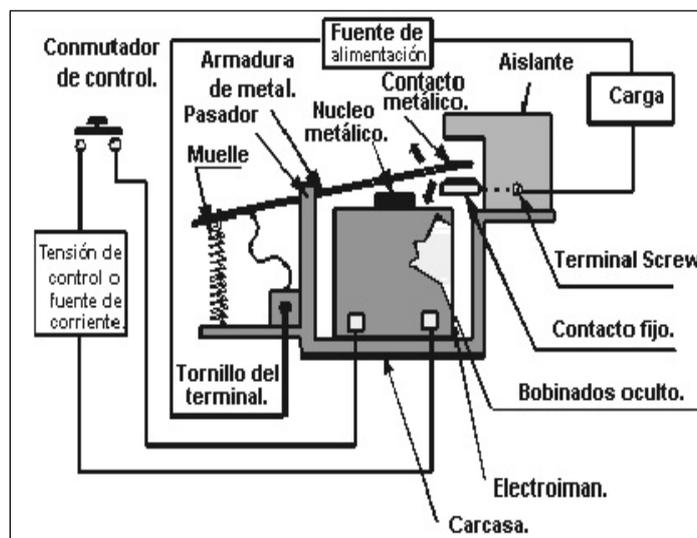


Ilustración 23: Partes internas del contactor

Fuente: fempa.es/rebt/gruas_torre/pto2.htm

1.7.2.6.2 Guardamotor

Este equipo trabaja bajo el mismo principio de funcionamiento que los interruptores termo-magnético, y realizan funciones adicionales como: protección de sobrecargas, protección cortocircuitos, maniobra de cierre y apertura, y señalización. También ayudado de un contactor permite maniobrar los motores sin necesitar fusibles.

Los guardamotores tienen respaldo para protección térmica que consiste en un disparador térmico bimetálico de sobrecarga por fase, la corriente al exceder una temperatura límite del puente, ingresa y produce el disparo del puente bimetálico en un tiempo determinado por la curva característica.

Para la protección magnética de cortocircuito un electroimán recibe la corriente del motor para un determinado valor, el cual dispara en milésimas de segundo un percutor en el equipo.

Estos equipos tienen más utilidad para la protección magnética contra cortocircuitos, reemplazando a los interruptores magnéticos



Ilustración 24: Guardamotor

Fuente: agsa.com/p79-guardamotores.html

1.7.2.6.3 Interruptor horario digital

Este dispositivo se emplea para la automatización programada de las conexiones en los circuitos, mediante el uso de conmutadores temporales, se pueden programar para encender a horas específicas o en intervalos de tiempo establecidos. Generalmente se emplea para arranque de motores y se instalan en tableros de control, pero también

existen presentaciones menos complejas para iluminación en aficiones, publicidad, calefacción y uso doméstico.

Características de interruptor horario digital

- Se pueden programar con alta precisión en el rango de los segundos y algunas modelos hasta en fracciones de estos, resisten intensidades de hasta 25 Amperios y una tensión máxima de 250 voltios, fáciles de programar y en algunos modelos incluye una pantalla LCD para mejorar la interfaz con el usuario. Se puede fijar en carriles normalizados DIN para tableros de control.



Ilustración 25: Interruptor horario digital

Fuente: directindustry.es/prod/orbis-tecnologia-electrica/product-20935-760529.html

Lámparas de señalización

Las lámparas se emplean para transmitir señales, según el color, estas representan una acción distinta a tomarse, los principales colores que se emplean y sus significados son los siguientes:

Lámpara Roja: indican paro de máquinas, el corte de energía eléctrica en los equipos, por caso de peligro o malfuncionamiento, esto es de manera manual o automatizada.

Lámpara Amarilla: indica mal funcionamiento o paro del proceso fallido, en algunos casos indica paro energizado, esto significa que la maquina no está en funcionamiento, pero si existe tensión en los bornes.

Lámpara Verde: indican que el equipo se encuentra funcionando bajo condiciones normales.



Ilustración 26: Lámparas de señalización

Fuente: [.tme.eu/html/ES/lamparas-de-senalizacion-serie-pln30/ramka_1549_ES_pelny.html](http://tme.eu/html/ES/lamparas-de-senalizacion-serie-pln30/ramka_1549_ES_pelny.html)

1.7.2.6.4 Cableado eléctrico

Las instalaciones fotovoltaicas al estar permanentemente a la intemperie, deben ser diseñadas para poder trabajar con normalidad bajo las condiciones adversas como las temperaturas extremas en frío o calor, desgaste por exposición al sol, salitre, humedad, filtraciones por lluvias, entre otros. Estas situaciones condicionan los materiales con los que se fabrican los paneles fotovoltaicos.

Por la ausencia de normativa referente al cableado, se empleaba para las conexiones al interior de la instalación, cable de cobre tipo RV – K, de alta difusión para instalaciones

domiciliares con un bajo índice de protección contra efectos ambientales, ya que generalmente se emplean en canaletas, pero en las instalaciones fotovoltaicas estos presentaban daños en cortos periodos de tiempo, aumentando los gastos por mantenimiento y cambio de estos.

En vista a esta situación se empezaron a desarrollar cables eléctricos con características específicas para instalaciones fotovoltaicas, bajo la denominación PV ZZ – F, capaces de soportar las condiciones ambientales adversas.



Ilustración 27: Cable eléctrico

Fuente: topcable.com/es/noticias/cable-PV-ZZ-F-idoneo-para-una-instalacion-solar

Los cables fotovoltaicos PV ZZ – F, son de una fase, cubiertos con un aislamiento sobre, resisten voltajes de hasta 1800 Voltios sin pérdidas significativas, y por su composición son resistentes al ambiente, para esto, se emplean materiales de alta calidad para el aislamiento doble y la cubierta exterior, con gran resistencia mecánica y flexibilidad, libre de halógenos y llama no humeante.

1.7.2.7 *Normatividad*

Dentro de las leyes, código y normas, existen prescripciones a las cuales debe ceñirse un Proyectista a fin de obtener un proyecto que, además de estar bien elaborado desde el punto de vista técnico, cumpla con las Normas legales vigentes del Perú.

DECRETO LEGISLATIVO N° 1002

DECRETO LEGISLATIVO DE PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

El presente Decreto Legislativo promueve el uso de recursos energéticos renovables (RER) con la finalidad de preservar el ambiente, así como mejorar la calidad de vida de la población a través de la inversión en generación.

Este Decreto Legislativo aplica para toda actividad de generación de electricidad con RER que se encuentre operando comercialmente, desde que entró en vigencia el presente Decreto. De esta manera obtiene los derechos eléctricos correspondientes, como lo establece el Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, su Reglamento y normas complementarias.

LEY N°28546

LEY DE LA PROMOCION Y UTILIZACION DE RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN ZONAS RURALES AISLADAS Y DE FRONTERA DEL PAIS

Hace mención en el Artículo 1° de la presente Ley 28546, publicada el 16 de Junio de 2005, que ya se gestiona el uso de energías renovables no convencionales para fines de electrificación, contribuyendo al desarrollo de las zonas rurales aisladas y de frontera del país, así como proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de la zona.

LEY N° 28611

LEY GENERAL DEL AMBIENTE

Por medio del artículo 9° de la presente Ley N° 28611, se resalta el objetivo de la Política Nacional del Ambiente, el cual es mejorar la calidad de vida de personas, asegurando el desarrollo de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; lograr un desarrollo sostenible del país, a través de la prevención, protección, recuperación de ambientes y respectivos componentes, así como también el correcto aprovechamiento de los recursos naturales, de manera responsable y con respeto de los derechos fundamentales de la persona

1.7.2.8 Evaluación económica

Valor Actual Neto (VAN)

Conocido como valor presente neto (del inglés net present value), cuyo acrónimo es VAN (en inglés, NPV), es un método que calcula el valor presente de un determinado número de flujos de caja, originados por una inversión.

La metodología explica que se debe actualizar (traer al presente) por medio de una tasa de descuento (tasa interna) todos los flujos de caja (ingresos, inversiones, gastos) hacia el momento actual (año cero) y determinar la resultante en el año cero de estos flujos de efectivo futuros que genera un determinado proyecto y comparar esta resultante con la inversión inicial del proyecto. La tasa de actualización (k) o de descuento (d) es el resultado del producto entre el costo medio ponderado de capital (CMPC) y la tasa de inflación del periodo. Si este valor es mayor que el desembolso o inversión inicial, entonces se recomienda que se acepte el proyecto.

La fórmula para calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Ecuación 6: Valor actual neto

Fuente: wikipedia.org/wiki/Valor_actual_net

Donde

- V_t : Flujos de caja en cada periodo t .
- I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión.
- n : Número de períodos considerado.
- k : Tasa de interés.

Para proyectos sin riesgo específico se tomará como referencia el tipo de renta fija, por lo que es suficiente con el VAN para estimar si es seguro o no la inversión de determinado proyecto. En otros casos, se utilizará el coste de oportunidad.

Si el VAN resulta igual a 0, k se denomina TIR (tasa interna de retorno). La cual es la rentabilidad que proporciona el proyecto.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Conocida como tasa interna de rentabilidad (TIR) de un proyecto a invertir. Este método es el promedio geométrico de los rendimientos futuros (flujos de caja) esperados de dicha inversión, es lo que se espera recuperar u obtener de ganancia después invertir, pero también se utiliza como indicador de la rentabilidad de un proyecto. En términos conceptualizados, es la tasa de descuento que convierte el valor actual neto (VAN) en nulo o cero, y la fórmula para calcular la tasa interna de retorno es:

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} = I_0$$

Ecuación 7: Tasa interna de retorno

Fuente: [wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno)

Se considera uno de los criterios para la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Lo que se busca es comparar la TIR con una tasa mínima conocida como coste de oportunidad de la inversión. Si la tasa de rendimiento del proyecto (la TIR) supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

Criterio de aceptación o rechazo.

Se rechazará el proyecto. La rentabilidad que está requiriendo este préstamo es mayor que nuestro costo de oportunidad.

Si $TIR > r$

Se aceptará el proyecto.

Si $TIR \leq r$

Comparación de proyectos excluyentes.

Se dice que dos proyectos son excluyentes si se logra llevar a cabo uno de estos. Se escoge la opción de rentabilidad más alta entre ambas, en el caso de coincidir con el mismo riesgo, la misma duración y la misma inversión inicial. Si no, se aplicará el criterio de TIR de los flujos incrementales.

1.8 Definición de la terminología

Área del colector: Área proyectada del colector completo, excluyendo cualquier medio de montaje y de tuberías conectadas para transporte de fluido.

Ángulo de inclinación del colector: Ángulo menor entre el plano de abertura de un colector solar y el plano horizontal.

Bombas de circulación: Dispositivo que produce el movimiento forzado de un fluido.

Celda o célula solar: Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica, mediante la ley del efecto fotovoltaico.

Colector solar: colector solar térmico: Dispositivo que absorbe la energía solar incidente, la convierte en energía térmica y la transfiere al fluido que está en contacto con él. También llamado Calentador Solar.

Colector de placa plana: Colector solar no concentrador, en el que la superficie de absorción es esencialmente plana.

Control: Dispositivo de regulación del sistema solar térmico o componente en funcionamiento normal; puede ser manual o automático.

Energía solar disponible: Es la cantidad de radiación solar estimada a partir de mediciones hechas en un lugar determinado, como un proceso diario (sobre cada mes) mensual.

Fluido: Agua o cualquier otro medio utilizado para el transporte de energía en un sistema de calentamiento de agua con la energía solar.

Irradiación: Magnitud que permite cuantificar la potencia incidente por unidad de superficie de radiación solar en la superficie terrestre.

Radiación solar (energía solar): Energía emitida por el sol, prácticamente toda la que es incidente en la superficie terrestre en longitudes de onda menores que $3 \mu m$; a menudo llamada radiación de onda corta.

Sistema: Se refiere al Sistema de Calentamiento de Agua con Energía Solar.

Sistema convencional de calentamiento de agua: Equipo que se utiliza para calentar agua, utilizando combustibles fósiles o electricidad.

Sistema de calentamiento de agua aprovechando la energía solar: Conjunto formado por el colector(es) solar(es), el termo tanque o sistema de acumulación de agua caliente, tuberías, accesorios, así como todos y cada uno de los componentes que permiten el aprovechamiento de la radiación electromagnética emitida por el sol para el calentamiento de agua.

Sistema termosifón: Sistema que utiliza sólo los cambios de densidad del fluido de transferencia de calor, para lograr la circulación entre el colector y el dispositivo acumulador o el colector y el intercambiador de calor.

Temperatura, aire ambiente: Temperatura del aire alrededor de un dispositivo de almacenamiento de energía térmica o colectores solares.

Temperatura de entrada del fluido: Temperatura a la entrada del colector.

Temperatura de salida del fluido: Temperatura a la salida del colector.

II MATERIALES Y METODOS

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es tecnológico y con parte de energías renovables, ya que se utilizó para crear, modificar y dar solución al problema de confort, especialmente en invierno, mediante el uso de un panel fotovoltaico y un colector solar para aumentar la temperatura del agua de la piscina en el centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque.

2.1.2 Diseño de investigación

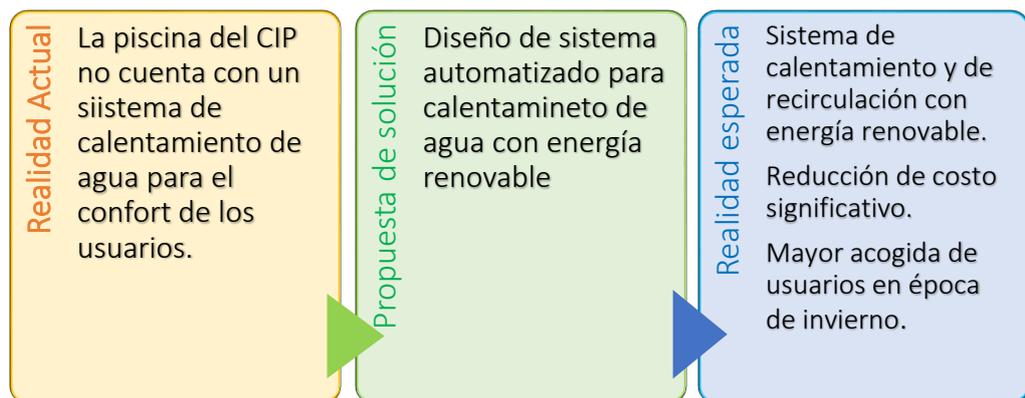


Ilustración 28: Diagrama del diseño de investigación

Fuente: Elaboración propia

2.2 Métodos de Investigación

En lo referente a la parte metodológica, se sigue dos métodos como sigue:

Analítico. - Este método fue fundamental para el desarrollo de la investigación porque permitió mediante una visita de campo a las instalaciones del centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros reconocer los distintos sistemas a considerar, el sistema de captación térmica, el sistema de alimentación eléctrica y el sistema de recirculación de la piscina; se identificó todos los posibles parámetros a evaluar, la demanda de energía térmica en el colector solar, la demanda de energía eléctrica a

suministrar y el caudal de agua adecuado para lograr su calentamiento; los cuales encaminaron la investigación, para posteriormente profundizar con la búsqueda de información de dichos parámetros.

Deductivo. - Teniendo en claro los sistemas a diseñar, se logró mediante varias sesiones con el asesor especialista identificar los parámetros, antes señalados, para el diseño de esta investigación; donde se usó el panel fotográfico tomado en la visita a campo y la experiencia del asesor especialista; definiendo así los objetivos, la hipótesis y las variables de la investigación.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

El volumen total de agua de la piscina $430 m^3$

2.3.2 Muestra

Igual que la población

2.4 Variables y Operacionalización

2.4.1 Variable independiente

Radiación solar

2.4.2 Variable dependiente

Temperatura que entrega el colector solar.

Caudal del agua que recorre las tuberías.

Presión manométrica en las tuberías.

2.4.3 Operacionalización

Variable independiente

Tabla 1:

Operacionalización de variable independiente

Dimensión	Indicador	Índice	Técnicas de Recolección de información	Instrumentos de recolección de información	Instrumento de medición
Energía Solar	Luz solar	W/m^2	Entrevistas y recopilación de información	Atlas solar	Pirómetro

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente

Tabla 2:

Operacionalización de variables dependientes

Dimensión	Indicador	Índice	Técnicas de Recolección de información	Instrumentos de recolección de información	Instrumento de medición
Temperatura	Temperatura máx. en colector	20 – 70 °C	Entrevistas y recopilación de información Catálogos	Sensor de temperatura	Termómetro
Caudal	Caudal en las tuberías de PVC	1 – 10 $\frac{m^3}{h}$	Entrevistas y recopilación de información catálogos	Caudal que entrega la bomba	Caudalímetro
Presión	Presión en las tuberías de PVC	60 – 90 Psi	Entrevistas y recopilación de información	Filtro de presión de agua	Manómetro

Fuente: Elaboración propia

2.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas de recolección de datos

Entrevista

Se realizó la entrevista al Técnico Electricista William Bonilla, quién con mucho gusto nos atendió, en su tiempo de refrigerio, debido a la carga laboral en que se encontraba; y que coincidió en varios aspectos con la teoría que se recopiló, como lo fue el uso de energías renovables para reemplazar el suministro de energía eléctrica y, calefacción de agua mediante los paneles y colectores solares; así como la eficiencia y normativa de estos.

Recolección de información

Mediante esta técnica se obtuvo los datos y especificaciones a considerar de diversos trabajos e investigaciones del mismo campo, para diseñar el sistema de calentamiento de agua, el sistema de alimentación eléctrica, así como para la parte de recirculación y automatización.

Catálogos

Estos documentos fueron provistos de fabricante, para la selección de algunos componentes de los sistemas de calentamiento de agua y suministro de energía eléctrica; pero en donde tuvo mayor participación fue para la selección de los componentes del sistema de recirculación y automatización, ya que su selección se sustentó en base a los dos primeros sistemas.

Instrumentos de recolección de datos

Guías de observación

La guía que empleamos sirvió para determinar el nivel de radiación del área de estudio y datos climáticos utilizados para el diseño del sistema de calentamiento, y posteriormente fueron verificados con datos de radiación de la zona de Lambayeque mediante las coordenadas decimales que fueron ingresadas al sitio web de la NASA para obtener los datos históricos respectivos.

2.5.1 Procedimientos para la recolección de datos

Diagrama de flujo de procesos

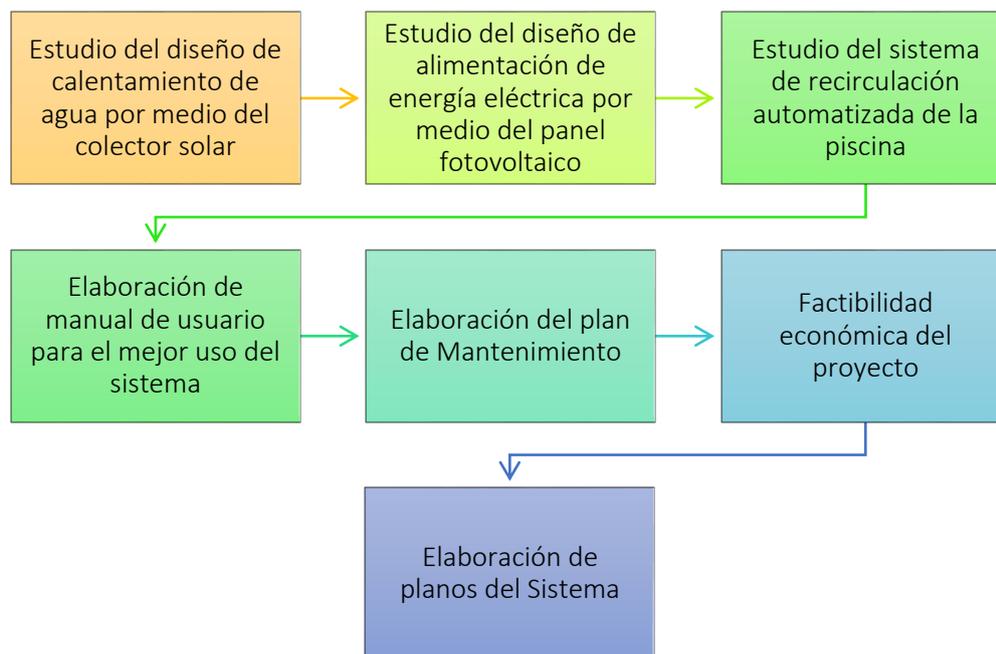


Ilustración 29: Diagrama de procesos

Fuente: Elaboración propia

Descripción de procedimientos

2.5.1.1 Estudio del diseño de calentamiento de agua por medio del colector solar.

Se empezó este estudio identificando en esta zona el mes de menor radiación solar ya que en temporada de invierno disminuye el nivel de radiación comparado con otras zonas de nuestro país, con la finalidad de seleccionar el tipo de colector, el cual fue del tipo de placa plana, ya que alcanza temperaturas de 65 °C en promedio, más que suficiente para calentar agua. En este estudio se usó como fuente el sitio web de la NASA para los valores de radiación solar, además se calculó la demanda térmica que el colector debe suplir para la calefacción del agua.

2.5.1.2 *Estudio del diseño de alimentación de energía eléctrica por medio del panel fotovoltaico.*

La finalidad de este proceso fue obtener energía eléctrica por medio de una fuente limpia o renovable como lo es la energía solar, a través de un panel fotovoltaico que debe suministrar energía a la electrobomba y al tablero de distribución; de esta manera contribuiremos a disminuir el costo de suministro eléctrico, para esto fue necesario calcular el número de panel requeridos.

2.5.1.3 *Estudio del sistema de recirculación automatizada de la piscina.*

Este estudio se enfoca en los componentes que mantendría el agua de la piscina en constante movimiento desde la piscina hasta el colector solar, además con el volumen del agua de la piscina y demás cálculo se seleccionó una bomba de 4 HP para la recirculación y otra de 0.5 HP para la impulsión del agua hacia los colectores; así como el tipo y dimensiones de los demás componentes del sistema. Conjuntamente en este proceso se determinó el tipo de tablero que controlaría el encendido y apagado del sistema, debiendo cumplir con las normas que exige el Código Nacional de Electricidad (CNE), y los dispositivos que lleve en su interior, como son los interruptores termo magnéticos, guarda motor, contactores, interruptor horario, etc.

2.5.1.4 *Elaboración de manual de usuario para el mejor uso del sistema.*

Con el diseño del sistema automatizado se ha elaborado un manual de usuario que va permitir un mejor manejo del sistema de control en los tableros de automatización, desde el encendido hasta la culminación de su funcionamiento. Este manual fue elaborado pensando en la seguridad del operario, y así evitar el posible o repentino mal funcionamiento del sistema.

2.5.1.5 *Elaboración del plan de mantenimiento.*

El plan de mantenimiento se elaboró con la finalidad de prevenir cualquier tipo de falla y mantener el sistema operativo y libre de inconvenientes.

En este plan se realizó un detalle de cada componente con la finalidad de realizar el mantenimiento preventivo correspondiente. También se elaboró un cronograma indicando las fechas a realizar las actividades de mantenimiento.

2.5.1.6 *Factibilidad económica del proyecto.*

Se realizó el presupuesto económico con el fin de conocer la inversión total del proyecto, por lo que se hallaron los costos fijos y variables de todos los componentes que intervinieron en la elaboración del diseño. El análisis financiero se realizó mediante dos evaluadores económicos, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), determinando el monto de S/. 229 485.00 económico de proyecto, así como su aceptación.

2.5.1.7 *Elaboración de planos del sistema.*

La elaboración de planos se realizó según las normas vigentes y con la simbología respectiva, para una mejor visualización de los componentes del sistema diseñado.

2.5.1.8 *Manual de usuario*

Este sistema diseñado cuenta con un manual para la persona encargada del mismo, en el cual se detalló los pasos para el manejo y correcto monitoreo del tablero de control, con la finalidad de realizar un buen manejo y control de todo el sistema. La persona responsable del manejo de este sistema deberá respetar y mantener el correcto funcionamiento de este sistema, de acuerdo a los pasos descritos en el manual elaborado.

2.5.1.9 *Normatividad*

Este proyecto empleó las normas mencionadas en el marco teórico, que respaldan el cuidado del ambiente, inversión para generación eléctrica con energías limpias, y en utilización de energías limpias.

2.6 Validación y Confiabilidad de Instrumentos

2.6.1 Aspectos Éticos

Profundidad en el desarrollo del tema

Para garantizar esta condición a través del proyecto de investigación, se realizó entrevistas a técnicos especialistas, e ingenieros de ramas afines como son ingenieros electromecánicos, quienes permitieron conocer mejor el tema a enfocar.

El análisis de esos datos permitió relacionar los resultados con el tema de investigación estudiado.

2.7 Principios de Rigor Científico

2.7.1 Validez

La validez de este proyecto de investigación concierne a la interpretación correcta y cuidado exhaustivo del proceso metodológico de los resultados que se obtendrán en el estudio del tema científico estudiado, en este caso el estudio de la energía renovable, el diseño del sistema de paneles y bombas fotovoltaicos, diseñar la parte de automatización y que se convertirá en un soporte fundamental para la validez de este proyecto.

III RESULTADOS

3.1 Resultados en tablas y gráficos

3.1.1 Demanda térmica del sistema de calentamiento

Cálculos del área de la piscina semi olímpica, para ello se considera las siguientes dimensiones longitudinales de este tipo de piscina:

Largo : 25 m

Ancho : 12.5 m

Profundidad1 : 1.1 m

Profundidad2 : 1.65 m

Desnivel (h) : 1.65 - 1.1 = 0.55 m

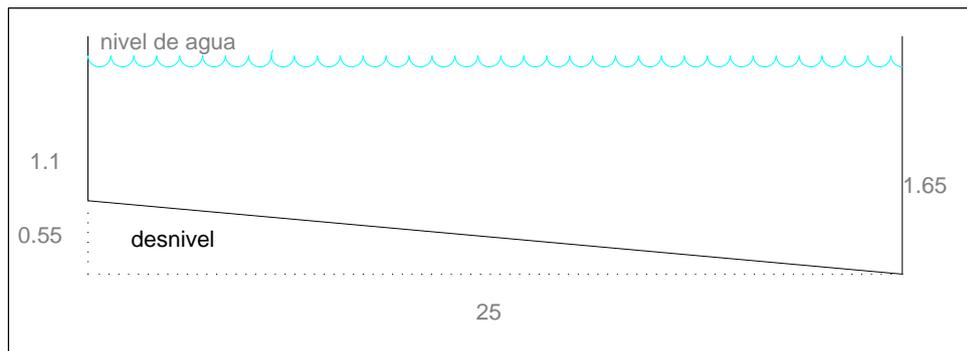


Ilustración 30: Vista Lateral de piscina con dimensiones

Fuente: Elaboración propia

Lo que se busca es encontrar el volumen real de la piscina con desnivel, para esto se va sustraer el volumen de una cuña a un volumen de un prisma rectangular.

Se empieza por hallando el área más pequeña A_p , y respectivo su volumen:

$$A_p = \frac{\text{largo} \times h}{2}$$

Ecuación 8: Área menor de la piscina

Fuente: Elaboración propia

$$A_p = \frac{25 \times 0.55}{2} = 6.875 \text{ m}^2$$

$$V_p = A_p \times \text{ancho} = 6.875 (12.5) = 85.94 \text{ m}^3$$

Se halla el área grande A_g , y su respectivo volumen:

$$A_g = \text{largo} \times \text{profundidad}_2$$

Ecuación 9: Área mayor de la piscina

Fuente: Elaboración propia

$$A_g = 25 (1.65) = 41.25 \text{ m}^2$$

$$V_g = A_g \times \text{ancho} = 41.25 \times (12.5) = 515.625 \text{ m}^3$$

Se resta los volúmenes obtenidos para obtener el volumen real:

$$V_g - V_p = 515.625 - 85.94 = 429.685 \text{ m}^3 = 430 \text{ m}^3$$

3.1.1.1 Demanda calorífica

La demanda de calor en la piscina está dada por el calor necesario para elevar el volumen de agua de la temperatura inicial, hasta la temperatura de confort T_c , que se determinó en 26 °C, según el D.S N° 007 -2003 Art. 35 “Piscinas climatizadas” del reglamento sanitario de piscinas, y la compensación calorífica de las pérdidas que tendrá la piscina por diferentes factores, teniéndose entonces:

$$D_q = E_{au} + (E_p \times t_F)$$

Ecuación 10: Demanda térmica en la piscina

Fuente: Manual para climatización solar - PEISA

Donde:

D_q : Demanda calorífica [kWh]

E_{au} : Calor de aumento de temperatura [kWh]

E_p : Pérdidas de calor [kW]

t_F : Tiempo de funcionamiento [horas]

3.1.1.2 Aumento de temperatura inicial

El calor necesario para aumentar la temperatura del agua está dado por la siguiente fórmula, y es muy necesaria para realizar los cálculos de la capacidad del colector solar

$$E_{au} = \rho_{H2O} \times C_{P_{H2O}} \times V_{PI} \times \frac{T_c - T_i}{t_{au}}$$

Ecuación 11: Demanda para aumento de temperatura inicial

Fuente: Manual para climatización solar - PEISA

Donde:

ρ_{H2O} : Densidad del agua [Kg/m^3]

$C_{P_{H2O}}$: Calor específico del agua [$kJ/Kg\ ^\circ C$]

V_P : Volumen de la piscina [m^3]

T_c : Temperatura de confort del agua [$^\circ C$]

T_i : Temperatura inicial del agua [$^\circ C$]

t_{au} : Tiempo de aumento de temperatura [seg]

La temperatura del agua T_a se estimó en $19.79\ ^\circ C$, tomando datos referentes de la base de datos estadísticos SENAMHI, referentes a la temperatura del agua medida para condiciones de playa,

El dato de la densidad del agua a esta temperatura se calculó en $998.208\ kg/m^3$ mediante la interpolación con los valores superior e inferior de la siguiente tabla de cualquier libro del curso de termodinámica:

Tabla 3:

Densidad del agua a diferentes temperaturas

Presión externa: 1 atm

Temperatura °C	Densidad kg / m ³
15	999,19
16	999,03
17	998,86
18	998,68
19	998,49
20	998,29
21	998,08
22	997,86
23	997,62
24	997,38
25	997,13
26	996,86

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

El calor específico del agua es de $4.2 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$, el volumen de la piscina se calculó en 429.69 m^3 , para efectos de considerar el volumen de agua dentro de las tuberías que aún no se calculan, se asumió en aumento un 5% del volumen total generando un volumen final de 451.17 m^3 , y un tiempo, de aumento de temperatura de 8 horas para el primer aumento de temperatura, al reemplazar los valores se obtuvo:

$$E_{up} = 998.338 \times 4.2 \times [429.69 \times (1 + 5\%)] \times \frac{26 - 19.79}{8 \times 3600}$$

$$E_{up} = 410.003 \text{ kWh}$$

3.1.1.3 Pérdidas de calor

Pérdidas por evaporación

Cuando el agua se evapora de la piscina, se absorbe calor por lo que se produce un enfriamiento del resto del agua de la piscina que no se

evapora, es decir, se produce un descenso de la temperatura del agua. Para calcular las pérdidas por evaporación se utilizó la fórmula:

$$Q_{EVA} = [(16 \times S) + (133 \times n)] \times [w_{AG} - (G_a \times w_{AI})] \times h_{fg}$$

Ecuación 12: Perdidas por evaporación

Fuente: Manual para climatización solar - PEISA

Donde

S : Superficie de lámina de agua [m^2]

n : Numero de bañistas por área [per/m^2]

w_{AG} : Humedad absoluta del aire a temperatura del agua
[Kg_{agua}/Kg_{aire}]

w_{AI} : Humedad absoluta del aire a temperatura del aire
[Kg_{agua}/Kg_{aire}]

G_a : Grado de saturación [%]

h_{fg} : Entalpia de vaporización del agua [Wh/kg]

La superficie de lámina que se forma en la piscina está dada por la geometría de la misma, obteniéndose un área superficial de $312.5 m^2$, se estimó un numero de 80 bañistas en los horarios de mayor concurrencia, de esta manera se calculó un promedio de 0.265 bañistas por metro cuadrado, el grado de saturación del aire se obtuvo de los datos históricos de la NASA, consiguiendo un valor de 51.88 %.

Tabla 4:

Grado de saturación del aire ambiente

Mes	Promedio
Ene.	60.6
Feb.	63.9
Mar.	63
Abr.	58.2

May.	50.9
Jun.	45.6
Jul.	40.9
Ago.	39.6
Sep.	42.8
Oct.	47.2
Nov.	52.3
Dic.	57.5
Promedio Anual:	51.88
Latitud:-6.836	Longitud: -79.936

Fuente: Base de datos NASA

El cálculo de la humedad absoluta a diferentes temperaturas se realizó empleando la siguiente formula:

$$w_x = 0.625 \times \frac{P_{sat}}{P - P_{sat}}$$

Ecuación 13: Humedad absoluta según temperatura

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

Donde:

w_x : Humedad absoluta a la temperatura x [kg_{agua}/kg_{aire}]

P : Presión del sistema [kPa]

P_{sat} : Presión de saturación [kPa]

La presión del sistema abierto se considera igual al valor 101.14 kPa obtenido de datos históricos del sitio web del SENAMHI, las presiones de saturación a diferentes temperaturas se obtuvieron al interpolar los valores de la siguiente tabla de cualquier libro del curso de termodinámica:

Tabla 5:

Propiedad del agua saturada según temperatura

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K	
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

Obteniéndose para las temperaturas de 20.39 °C y 26 °C, valores de 2.1856 kPa y 3.3844 kPa, respectivamente. Al reemplazar estos valores en la ecuación de humedad absoluta se obtiene, para la temperatura del ambiente:

$$w_{AI} = 0.625 \times \frac{2.1856}{101.33 - 2.1856}$$

$$w_{AI} = 0.0138 [Kg_{agua}/Kg_{aire}]$$

Y para la temperatura del agua:

$$w_{AG} = 0.625 \times \frac{3.3844}{101.33 - 3.3844}$$

$$w_{AG} = 0.02164 [Kg_{agua}/Kg_{aire}]$$

La entalpía de vaporización del agua a la temperatura ideal se puede calcular de la misma tabla interpolando los valores, se obtuvo 2439.8 kJ/kg, expresado en Wh/kg es igual a 677.7.

Tabla 6:

Entalpia de agua saturada

T (°C)	hfg
25	2442
26	2439.8
30	2431

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores antes calculados se puede obtuvieron las pérdidas por evaporación:

$$Q_{EVA} = [(16 \times 312.15) + (133 \times 0.265)] \times [0.0216 - (0.518 \times 0.0138)] \times 677.7$$

$$Q_{EVA} = 13.672 \text{ kW}$$

Pérdidas por radiación

Para calcular las pérdidas de la piscina debido a la radiación se utiliza la fórmula de Stefan Boltzmann. Estas pérdidas están en función de la diferencia entre la temperatura ambiente y la del agua.

$$Q_{RAD} = \sigma \times \varepsilon \times S \times (T_H - T_A)$$

Ecuación 14: Perdidas por radiación

Fuente: Manual para climatización solar - PEISA

Donde:

- σ : Constante de Stefan Boltzmann [$w/m^2 \text{ } ^\circ K^4$]
- ε : Emisividad del agua [$^\circ K$]
- T_c : Temperatura de confort del agua [$^\circ K$]
- T_a : Temperatura ambiente [$^\circ K$]

La constante de Stefan Boltzmann tiene un valor de 5.67×10^{-8} [$w/m^2 \text{ } ^\circ K^4$], mientras que la emisividad del agua para el rango de temperaturas de trabajo se encuentra entre 0.95 – 0.96 como muestra la siguiente tabla:

Tabla 7:

Emisividad para recubrimientos de piscina

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Teflón	300-500	0.85-0.92
Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Madera		
Haya	300	0.94
Roble	300	0.90

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

El valor de 0.95, es comúnmente aceptado, por esto se trabajará con este valor, las temperaturas del agua ideal y temperatura ambiental se deben expresar en grados Kelvin, obteniéndose 291.94 K y 299.15 K para la temperatura del ambiente y del agua respectivamente, reemplazando los valores se obtuvo:

$$Q_{RAD} = 5.67 \times 10^{-8} \times 0.95 \times 312.5 \times (299.15^4 - 293.54^4)$$

$$Q_{RAD} = 9.831 \text{ kW}$$

Pérdidas por convección

Para calcular las pérdidas por convección utilizamos la fórmula que se detalla a continuación:

$$Q_{COV} = 0.6246 \times S \times \sqrt[3]{(T_c - T_a)^4}$$

Ecuación 15: Pérdidas por convección

Fuente: Manual para climatización solar - PEISA

Anteriormente se calcularon todos los parámetros que influyen en el cálculo de pérdidas por convección, al reemplazar estos se obtuvo

$$Q_{COV} = 0.6246 \times 312.5 \times \sqrt[3]{(26 - 20.39)^4}$$

$$Q_{COV} = 1.945 \text{ kW}$$

Pérdidas por conducción

Las pérdidas por conducción se encuentran en la superficie de contacto entre el agua a temperatura confort y las paredes de la piscina; la temperatura de las paredes se toma igual a la temperatura ambiente debido a la baja profundidad, no se tiene un aumento significativo de la temperatura, la fórmula empleada para calcular las pérdidas por conducción es:

$$Q_{CON} = K \times S_{CON} \times (T_c - T_a)$$

Ecuación 16: Perdidas por transmisión

Fuente: Manual para climatización solar - PEISA

Donde

K : Coeficiente de conducción térmica [$W/m^2 K$]

S_{CON} : Área de superficie de contacto [m^2]

El coeficiente se seleccionó de la tabla, teniendo en cuenta las similitudes térmicas entre la cerámica y el ladrillo refractario, el valor es de 1.34

Tabla 8:

Conductividad térmica para mampostería

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m ² ·K
Materiales para mampostería			
<i>Unidades de mampostería:</i>			
Ladrillo común		1 922	0.72
Ladrillo para fachada		2 082	1.30
Ladrillo de arcilla refractaria		2 400	1.34
		1 920	0.90
		1 120	0.41
Bloques de concreto (3 núcleos	100 mm	—	0.77
ovales, agregado de arena y grava)	200 mm	—	1.0
	300 mm	—	1.30

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

Para el cálculo del área se tuvo en cuenta el piso de la piscina las paredes rectangulares según la profundidad y los cuadriláteros laterales, a continuación, se calcula el área de contacto del agua con la cerámica en la piscina

Área del rectángulo de menor profundidad

$$A_1 = Largo \times Pro_1$$

Ecuación 17: Área de rectángulo menor

Fuente: Elaboración propia

$$A_1 = 12.5 \times 1.10$$

$$A_1 = 13.75 \text{ m}^2$$

Área del rectángulo de mayor profundidad

$$A_2 = Largo \times Pro_2$$

Ecuación 18: Área de rectángulo mayor

Fuente: Elaboración propia

$$A_2 = 12.5 \times 1.65$$

$$A_2 = 20.625 \text{ m}^2$$

Área del cuadrilátero lateral (Perfil)

$$A_3 = Ancho \times \left(Pro_1 + \frac{Pro_2 - Pro_1}{2} \right)$$

Ecuación 19: Área cuadrilátero lateral de piscina

Fuente: Elaboración propia

$$A_3 = 25 \times \left(1.10 + \frac{1.65 - 1.10}{2} \right)$$

$$A_3 = 34.375 \text{ m}^2$$

Área del piso de piscina

$$A_4 = Largo \times Ancho_{piso}$$

Ecuación 20: Área del piso de piscina

Fuente: Elaboración propia

El ancho del piso está dado por la siguiente relación de triángulo rectángulo

$$Ancho_{piso} = \sqrt{Ancho^2 + (Pro_2 - Pro_1)^2}$$

Ecuación 21: Ancho del piso de piscina

Fuente: Elaboración propia

$$Ancho_{piso} = \sqrt{25^2 + (1.65 - 1.10)^2}$$

$$Ancho_{piso} = 25.006 \text{ m}$$

Reemplazando en el área del piso se obtuvo

$$A_4 = 12.5 \times 25.006$$

$$A_4 = 312.575 \text{ m}^2$$

La superficie de contacto está dada por la suma de las áreas independiente, de esta manera se obtiene:

$$S_{CON} = A_1 + A_2 + (2 \times A_3) + A_4$$

Ecuación 22: Superficie de contacto de la piscina

Fuente: Elaboración propia

$$S_{CON} = 13.75 + 20.625 + (2 \times 34.375) + 312.575$$

$$S_{CON} = 381.325 \text{ m}^2$$

Al reemplazar el área de contacto, el coeficiente de transmisión para el material y las temperaturas del agua y suelo se obtuvo

$$Q_{CON} = 1.34 \times 381.325 \times (26 - 20.39)$$

$$Q_{CON} = 2.866 \text{ kW}$$

Una vez calculadas todas las pérdidas de calor diarias (E_p) en el sistema, se multiplica por las horas de funcionamiento y se suman al valor del calor necesario para aumentar la temperatura del agua, este valor disminuye con el uso de los mantas térmicos para conservar el calor del agua en las noches.

$$E_p = 13.672 + 9.8313 + 1.9456 + 2.866 = 28.315$$

$$D_q = 410.003 + (28.315 \times 8)$$

$$D_q = 636.53 \text{ kWh}$$

3.1.2 Dimensionado del sistema de colectores

Cálculo de temperatura de salida que alcanza los colectores

Para esto se emplea el balance energético, que transforma la energía incidente en el área de influencia, en calor transferido al agua que circula por el mismo, mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times (T_{sal} - T_{ent})$$

Ecuación Ecuación de calor cedido

Fuente: Termodinámica - Yunus Cengel

- \dot{Q} : Calor absorbido [kW]
- \dot{m} : Flujo másico de agua [kg/s]
- C_p : Capacidad calorífica [kJ/kg °C]
- T_{ent} : Temperatura a la entrada [°C]
- T_{sal} : Temperatura a la salida [°C]

La energía absorbida por el área de influencia está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = I \times A_{inf} \times \eta$$

Ecuación Ecuación de calor absorbdo por colector

Fuente: Termodinádima - Yunus Cengel

- \dot{Q} : Calor absorbido [kW]
 I : Irradiación directa [kW/m^2]
 A_{inf} : Área de influencia [m^2]
 η : Eficiencia de colectores [%]

Estos datos se conocen de los cálculos anteriores, la Irradiación se determinó en $4.47 \text{ kW}/m^2$, para el mes crítico, la eficiencia de colectores en 82.19% y el área de influencia de los colectores instalados en 18 m^2 , al reemplazar estos datos se obtuvo:

$$\dot{Q} = 4.47 \times 18 \times 0.8219$$

$$\dot{Q} = 66.13 \text{ kW}$$

Esta energía calórica se emplea para elevar la temperatura, desde su entrada a $19.79 \text{ }^\circ\text{C}$, la capacidad calorífica del agua para estas condiciones es de $4.18 \text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{C}$, el flujo másico está dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = q \times \gamma$$

Fuente: Termodinádima - Yunus Cengel

- \dot{m} : Flujo másico [kg/s]
 q : Caudal de influencia [m^3/s]
 γ : Peso específico del agua [kg/m^3]

El caudal de influencia en los colectores es de $\dot{m} = 5 \times 10^{-4} m^3/s$ y el peso específico del agua es de $1000 \text{ kg}/m^3$, al reemplazar estos datos, se obtuvo

$$\dot{m} = 0.5 \times 10^{-3} \times 1000 \text{ L}$$

$$\dot{m} = 0.5 \text{ kg/s}$$

Teniendo esto en cuenta y despejando la temperatura de la ecuación principal, se puede reescribir

$$T_{sal} = T_{ent} + \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \times C_p}$$

$$T_{sal} = 19.79 + \frac{66.13}{0.5 \times 4.18}$$

$$T_{sal} = 51.43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.1.2.1 Cálculo del área necesaria de colectores

Para el dimensionamiento del área que se requiere en los colectores de polipropileno, se requiere saber la eficiencia de estos, y la irradiación que se puede obtener en la zona de influencia del proyecto, para esto se empleó la siguiente formula

$$A_{COL} = \frac{D_q}{\eta_{COL} \times I_{PLA}}$$

Ecuación 23: Área de colectores necesaria

Fuente: Calentamiento de piscinas - SOLAPOOL

Donde:

A_{COL} : Área de colectores requerida [m^2]

D_q : Demanda calorífica diaria [kWh]

η_{COL} : Eficiencia de los colectores [%]

I_{PLA} : Irradiación solar en superficie plana [kWh/m^2]

La irradiación solar para el mes crítico según datos de la NASA, se obtiene un valor de $4.77 kWh/m^2$, el valor más bajo del año que corresponde al mes de Junio

Tabla 9:

Irradiación promedio por mes

Mes	Irradiación Promedio
Ene.	5.7

Feb.	5.55
Mar.	5.84
Abr.	5.38
May.	4.88
Jun.	4.77
Jul.	4.78
Ago.	4.91
Set.	5.59
Oct.	5.95
Nov.	5.98
Dic.	5.86

Fuente: Base de datos NASA

El cálculo de la eficiencia, se encuentra en función de diferentes parámetros como las temperaturas e irradiación global instantánea en la zona, el proveedor de los colectores ofrece la siguiente tabla para facilitar el cálculo de la eficiencia:

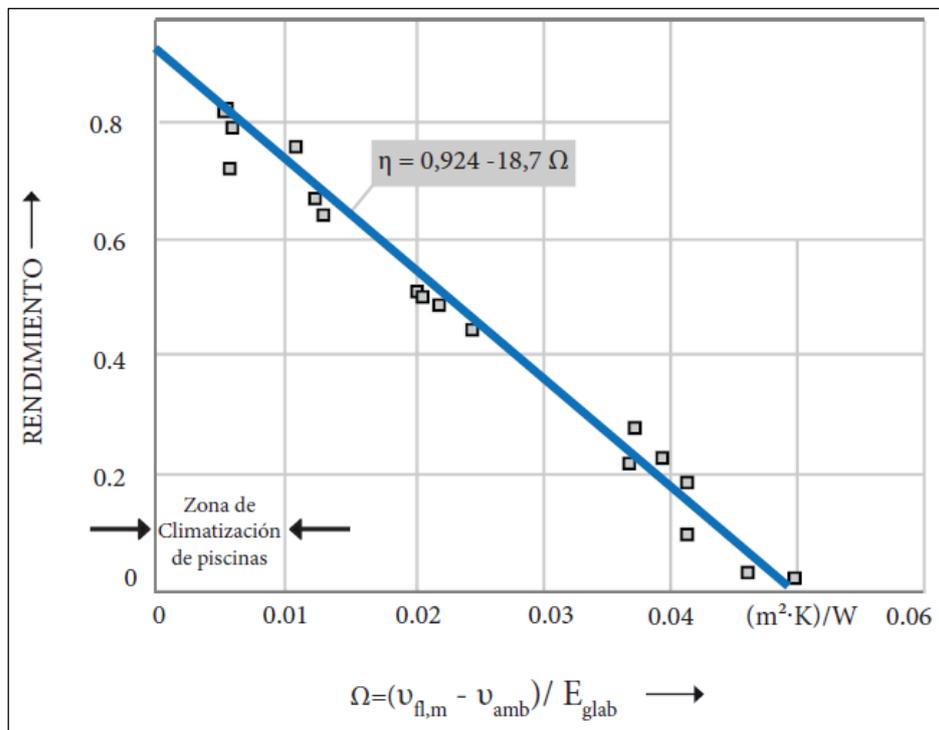


Ilustración 31: Eficiencia del colector solar

Fuente: Calentamiento de piscinas - SOLAPOOL

Los valores ideales del fluido y la temperatura ambiente se conocen, para determinar la irradiación global instantánea, se emplea la siguiente formula:

$$H = H_0 \times \left(a + b \times \frac{n}{N} \right)$$

Ecuación 24: Irradiación global instantánea en plano

Fuente: Calentamiento de piscinas - SOLAPOOL

Donde:

- H : Irradiación global instantánea [kW/m^2]
 H_0 : Irradiación global en la atmosfera [kW/m^2]
 a : Constante según zona [-]
 b : Constante según zona [-]
 n : Horas de brillo solar [*horas*]
 N : Horas teóricas del día [*horas*]

La irradiación solar en la atmosfera es una constante meteorológica y tiene un valor de 1366 [kW/m^2], los valores de las constantes a y b, se tomaron de los ofrecidos por SENAMHI, de mediciones reales, se asumió los valores empleados en la Estación Meteorológica Von Humboldt, por ser la de mayor numero de mediciones, disminuyendo el error porcentual

Tabla 10:

Coefficientes a y b según zona de estudio

Estación meteorológica	a	b	Número de datos
COSTA			
Miraflores	0.355	0.392	3.681
A. Von Humboldt	0.211	0.467	12.186
San Camilo	0.321	0.468	2.241
La Joya	0.593	0.181	7.534

Fuente: Base de datos SENAMHI

Las horas teóricas para las zonas cercanas al ecuador terrestre, se asumen en 10 horas de brillo solar, mientras que las mediciones reales tomadas muestran un promedio de 11.6 horas de brillo solar diario para el mes de junio, según la base de datos de NASA

Tabla 11:

Horas de sol teóricas

Mes	Horas de brillo solar
Ene.	12.4
Feb.	12.3
Mar.	12.1
Abr.	11.9
May.	11.8
Jun.	11.7
Jul.	11.7
Ago.	11.8
Set.	12.0
Oct.	12.2
Nov.	12.4
Dic.	12.5

Fuente: Base de datos NASA

Al reemplazar estos valores en la ecuación de irradiación global instantánea se obtuvo

$$H = 1366 \times \left(0.211 + 0.467 \times \frac{11.6}{10} \right)$$

$$H = 1028.21 \text{ w/m}^2$$

El cálculo de la eficiencia se puede realizar con ayuda de la tabla ofrecida por el proveedor, empleando la siguiente fórmula

$$\eta_{COL} = 0.924 - 18.7 \left(\frac{T_H - T_A}{H} \right)$$

Ecuación 25: Eficiencia del colector

Fuente: Calentamiento de piscinas - SOLAPOOL

Al reemplazar los valores obtenidos se calcula la eficiencia como sigue

$$\eta_{COL} = 0.924 - 18.7 \left(\frac{26 - 20.39}{1028.21} \right)$$

$$\eta_{COL} = 82.19 \%$$

Con la eficiencia del colector y los datos de demanda calorífica e irradiación, se calculó el área total que deberá instalarse para poder mantener los parámetros de diseño:

$$A_{COL} = \frac{636.53}{0.8219 \times 4.77}$$

$$A_{COL} = 162.36 \text{ m}^2$$

3.1.2.2 Cálculo de temperatura de salida que alcanza los colectores

Para esto se emplea el balance energético, que transforma la energía incidente en el área de influencia, en calor transferido al agua que circula por el mismo, mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times (T_{sal} - T_{ent})$$

Ecuación 26: Ecuación de calor cedido

Fuente: Termodinámica - Yunus Cengel

\dot{Q}	: Calor absorbido [kW]
\dot{m}	:	Flujo másico de agua [kg/s]
C_p	:	Capacidad calorífico [kJ/kg °C]
T_{ent}	:	Temperatura a la entrada [°C]
T_{sal}	:	Temperatura a la salida [°C]

La energía absorbida por el área de influencia está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = I \times A_{inf} \times \eta$$

Ecuación 27: Ecuación de calor absorbdo por colector

Fuente: Termodinádima - Yunus Cengel

- \dot{Q} : Calor absorbido [kW]
- I : Irradiación directa [kW/m^2]
- A_{inf} : Área de influencia [m^2]
- η : Eficiencia de colectores [%]

Estos datos se conocen de los cálculos anteriores, la Irradiación se determinó en $4.47 \text{ kW}/m^2$, para el mes crítico, la eficiencia de colectores en 82.19% y el área de influencia de los colectores instalados en 18 m^2 , al reemplazar estos datos se obtuvo:

$$\dot{Q} = 4.47 \times 18 \times 0.8219$$

$$\dot{Q} = 66.13 \text{ kW}$$

Esta energía calórica se emplea para elevar la temperatura, desde su entrada a $19.79 \text{ }^\circ\text{C}$, la capacidad calorífica del agua para estas condiciones es de $4.18 \text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{C}$, el flujo másico está dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = q \times \gamma$$

Ecuación 28: Ecuación del flujo másico

Fuente: Termodinádima - Yunus Cengel

- \dot{m} : Flujo másico [kg/s]
- q : Caudal de influencia [m^3/s]
- γ : Peso específico del agua [kg/m^3]

El caudal de influencia en los colectores es de $\dot{m} = 5 \times 10^{-4} m^3/s$ y el peso específico del agua es de $1000 \text{ kg}/m^3$, al reemplazar estos datos, se obtuvo

$$\dot{m} = 0.5 \times 10^{-3} \times 1000 \text{ L}$$

$$\dot{m} = 0.5 \text{ kg/s}$$

Teniendo esto en cuenta y despejando la temperatura de salida de la ecuación 26, se puede reescribir:

$$T_{sal} = T_{ent} + \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \times C_p}$$

$$T_{sal} = 19.79 + \frac{66.13}{0.5 \times 4.18}$$

$$T_{sal} = 51.43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.1.2.3 Selección y disposición de colectores

Se optó por la marca SOLA POOL, que ofrece los siguientes tamaños para colectores solares, especialmente diseñados para piscina

Tipo	200	250	300	400	500
Largo (mm)	2000	2500	3000	4000	5000
Ancho (mm)	1200	1200	1200	1200	1200
Grosor (mm)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Superficie (m ²)	2,4	3	3,6	4,8	6
Peso en vacío (kg)	6	7	8	11	13
Peso lleno (kg)	12	15	17	23	28
Presión máxima de funcionamiento (bar)	1	1	1	1	1
Flujo aprox. (l/m ² h)	100	100	100	100	100
Caudal aprox. (l/h)	240	300	360	480	600
Temperatura sin circulación aprox. Máx. (°C)	80	80	80	80	80
Resistencia a la circulación para 100 l/m ² h en m	0,01	0,012	0,015	0,025	0,04

Ilustración 32: Características de los modelos de colector SOLAPOOL

Fuente: Calentamiento de piscinas - SOLAPOOL

Se calculó el número necesario de colectores que se tendrían que emplear según el tamaño de los modelos ofrecidos

Tabla 12:

Número de colectores según tipo

Tipo	200	250	300	400	500
Área	2.4	3	3.6	4.8	6
Numero	67.6	54.1	45.1	33.8	27

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se optó por implementar 45 colectores del tipo 300, ya que el número máximo de colectores conectados en serie recomendado por el proveedor es de 10, se diseñó la configuración que se describe a continuación:

- 9 Colectores conectados en serie por cada conjunto
- 5 Conjuntos conectados en paralelo

Por lo que se requiere de 45 colectores solares para cubrir la demanda.

3.1.3 Cálculo de bombas para recirculación y calentamiento

3.1.3.1 Selección de bomba del sistema de calefacción

Para seleccionar correctamente la bomba se deben tener en cuenta los valores de caudal y altura en la instalación, para el caso del caudal que moverá la bomba durante el periodo de funcionamiento, está dado por el área de influencia de los colectores, esta área está definida como el área del primer colector, en sistemas en paralelo será la suma de cada conjunto.

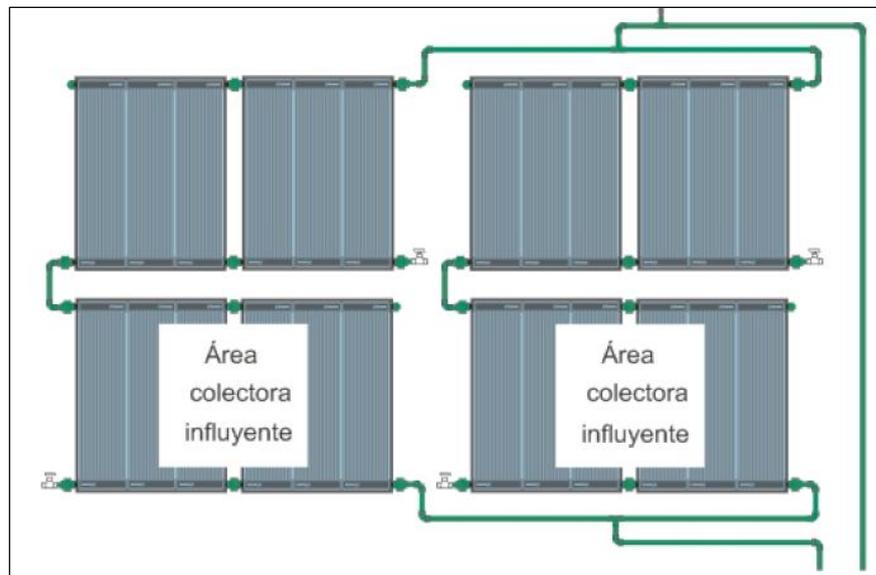


Ilustración 33: Representación de área colectora influyente

Fuente: Calentamiento de piscinas - SOLAPOOL

Entonces, al tener 5 conjuntos en paralelo de 3.6 m^2 cada colector inicial, al multiplicar estos valores se obtuvo un área de influencia de 18 m^2 .

El flujo óptimo de funcionamiento recomendado para los colectores es $100 \text{ lt}/\text{m}^2\text{h}$, que al multiplicar por el área de influencia se obtiene el caudal de influencia siguiente:

$$Q_{INF} = A_{INF} \times Flujo$$

Ecuación 29: Cálculo de caudal influyente

Fuente: Instalación solar en piscinas - PROPOOL

$$Q_{INF} = 18\text{m}^2 \times 100 \text{ lt}/\text{m}^2\text{h}$$

$$Q_{INF} = 1800 \frac{\text{l}}{\text{h}} \rightarrow 1.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se obtiene un caudal necesario de 1.8 metros cúbicos por hora, en base a esto se selecciona el diámetro de la tubería en 40 mm, como se indica a continuación:

Tabla 13:

Selección de diámetro de tubería según caudal

Diámetro de tubo en PVC	Flujo en m^3/h
1 ¼ ”	Hasta 8.8
1 ½ ”	Hasta 13.7
2 ”	Hasta 20.2
2 ½ ”	Hasta 31.3
3 ”	Hasta 40.4
4 ”	Hasta 67.6

Fuente: Instalación solar en piscinas - PROPOOL

3.1.3.2 Pérdidas en tubería y accesorios

Se empieza con la definición de parámetros de inicio como sigue:

Caudal $Q = 1.8 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro a la entrada $1 \frac{1}{4} \text{ pulgadas} = 0.0317 \text{ metros}$

Diámetro a la salida $1 \text{ pulgadas} = 0.0256 \text{ metros}$

Diámetro de tubería $1 \frac{1}{4} \text{ pulgadas} = 0.0317 \text{ metros}$

Densidad $\rho = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$

Viscosidad dinámica $\mu = 1.42 \times 10^{-3} \text{ Pa}/\text{s}$

Calculo de áreas:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 30: Área del círculo

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$A = \frac{\pi(0.0317)^2}{4}$$

$$A = 7.892 \times 10^{-4} m^2$$

Calculo de velocidad

$$V = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 31: Velocidad de fluido

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$V = \frac{5 \times 10^{-4}}{7.892 \times 10^{-4}}$$

$$V = 0.633 \text{ m/s}$$

Calculo altura teórica

$$H = (Z_A - Z_B) + \frac{(P_A - P_B)}{\rho g} + \frac{(C_A^2 - C_B^2)}{2g} + \sum H_p$$

Ecuación 32: Calculo de altura teórica

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$\frac{(P_A - P_B)}{\rho g} \cong 0$$

Ecuación 33: Componente de presión teórica

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$\frac{(C_A^2 - C_B^2)}{2g} \cong 0$$

Ecuación 34: Componente de velocidad teórica

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$Z_A - Z_B = (3.50 + 0.70) - (0.70 - 0.35) = 3.85 \text{ m}$$

$$H = 3.85 \text{ m} + \sum H_p$$

$$\sum H_p = \sum H_{p_{tuberias}} + \sum H_{p_{accesorios}}$$

Ecuación 35: Calculo de altura en circuito

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

3.1.3.3 Cálculo de las pérdidas en tuberías

Para el cálculo de las pérdidas que se dan en las tuberías se necesita un coeficiente f , el cual se obtendrá por medio de diagramas en relación a la rugosidad del material y el diámetro contra el número de Reynolds, obtenido del fluido a ser estudiado.

Fórmula para el cálculo de las pérdidas en tuberías:

$$\sum H_{p_{tuberias}} = \frac{0.08262 \times f \times L \times Q^2}{D^5}$$

Ecuación 36: Perdidas en tuberías

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

Calculo de f para tuberías de acero comercial, para la tabulación de este factor se debe conocer la rugosidad relativa del material de la tubería y el número de Reynolds, para emplearlo en el diagrama de Moody

Primero se seleccionó la rugosidad absoluta según el material de la tubería de PVC, de la siguiente tabla:

Tabla 14:

Coefficiente de rugosidad absoluta en materiales

Rugosidad Absoluta de:	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0.0015
Poliéster	0.01
Tubos estirados de acero	0.0024
Tubos de latón o cobre	0.0015
Fundición revestida de cemento	0.0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024
Fundición centrifugada	0.003
Fundición asfaltada	0.06 – 0.18
Fundición	0.12 – 0.6
Acero comercial y soldado	0.03 – 0.09
Hierro forjado	0.03 – 0.09
Hierro galvanizado	0.06 – 0.24
Madera	0.18 – 0.9
Hormigón	0.3 – 3

Fuente: Instalación solar en piscinas - PROPOOL

Calculo del número de Reynolds

$$Re = D \times V \times \rho / \mu$$

Ecuación 37: Número de Reynolds

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$Re = \frac{0.0317 \times 0.6335 \times 1000}{1.42 \times 10^{-3}}$$

$$Re = 14\,142.21 \approx 1.41422 \times 10^4$$

Cálculo de la rugosidad relativa:

$$\epsilon_r = \epsilon / D$$

Ecuación 38: Rugosidad relativa

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$\epsilon_r = \frac{0.0000015}{0.0317} = 0.0000473 \approx 0.00005$$

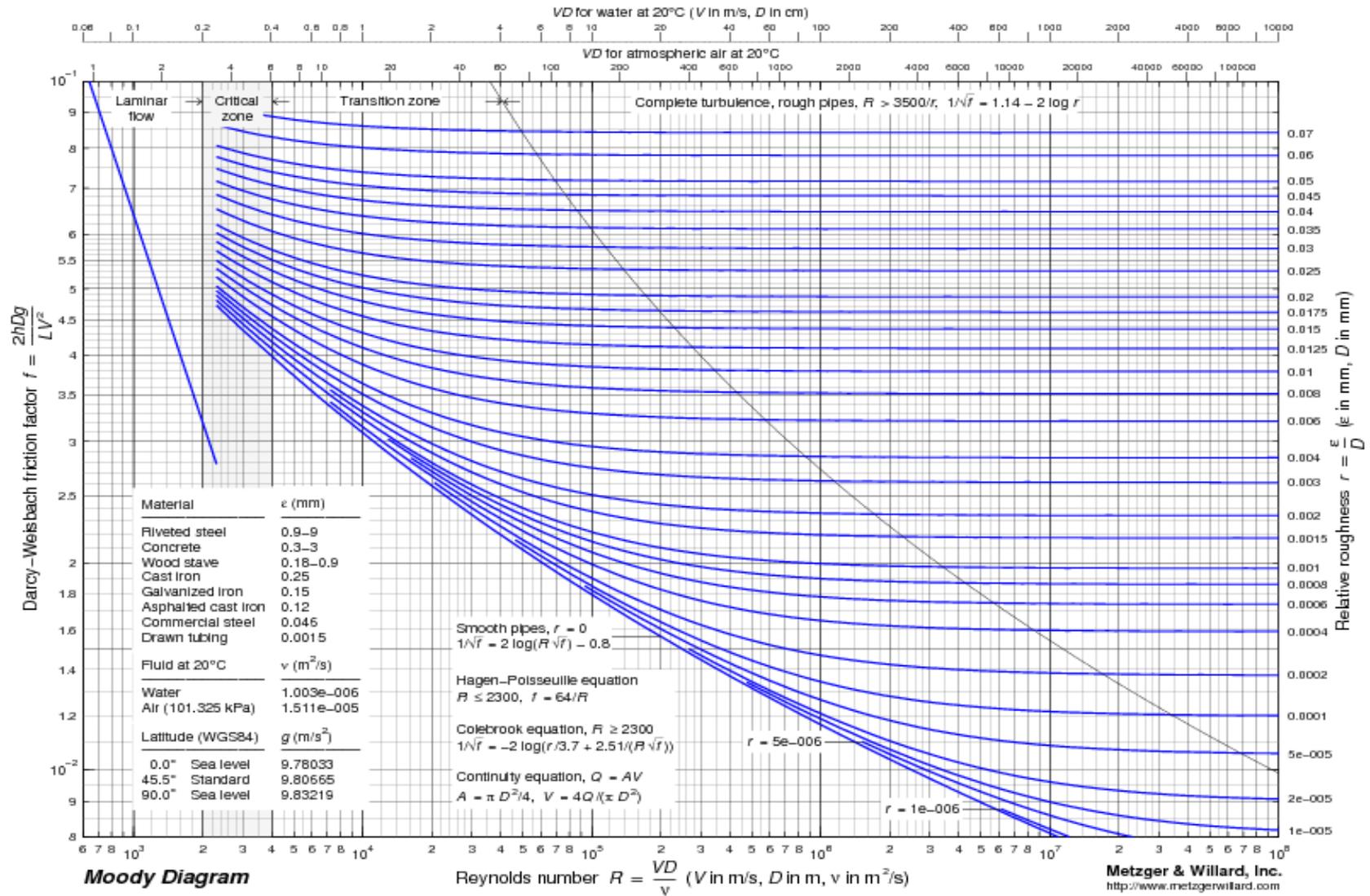


Ilustración 34: Diagrama de Moody

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

Una vez obtenidos los valores se puede realizar la tabulación en el diagrama antes mostrado para lograr calcular el componente f , que para estos datos se seleccionó en:

$$f = 0.003$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación del cálculo de pérdidas para las tuberías obtenemos:

$$\sum H_{p_{tuberias}} = \frac{0.08262 \times 0.03 \times 50.2 \times (5 \times 10^{-4})^2}{0.0317^5}$$

$$\sum H_{p_{tuberias}} = 0.97 \text{ metros}$$

3.1.3.4 Cálculo de pérdidas en accesorios

Las pérdidas en accesorios se dan dependiendo de la complejidad de cada mismo accesorio, mediante el uso de un valor k , coeficiente adimensional que se usara para calcular la pérdida individual, los coeficientes se tomarán de tablas y las pérdidas totales serán igual a la suma de las individuales.

Tabla 15:

Coficiente de pérdida según accesorio

Accesorio	L/D	Diametro Nominal								
		½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½ - 3	4	6
		Valores de K								
Valv. de compuerta	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12
Valv. de globo	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1
Valv. de retención horizontal	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5
Val. de retención horizontal oscilatoria	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75

Valv. de pie de disco (de huso) con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3
Valv. de pie de disco con visagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1
90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45
45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24
Codos estándar	90°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.24
radio largo	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85
180°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3
Curvas de 90° T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9

Fuente: Instalación solar en piscinas - PROPOOL

$$K_{codo\ 1\ 1/4"} = 0.66$$

$$k_{reduccion\ 1-1\ 1/2} = \left(1 - \frac{0.0317}{0.0256}\right)^2 = 0.056$$

$$k_{valvulas} = 7.5\ m$$

$$k_{colector} = 0.015\ m$$

$$\sum k = [0.056 + (85 \times 0.66) + (45 \times 0.015) + 6 * 7.5]$$

$$k_R = 101.831$$

$$\sum H_{p_{accesorios}} = \frac{0.08262 \times k \times Q^2}{D^4}$$

$$\sum H_{p_{acc}} = \frac{0.08262 \times 101.83 \times (5 \times 10^{-4})^2}{0.0317^4}$$

$$\sum H_{p_{accesorios}} = 2.09\ metros$$

Se calcula la altura teórica

$$H = 3.85 + 0.97 + 2.09 = 6.91 \text{ m}$$

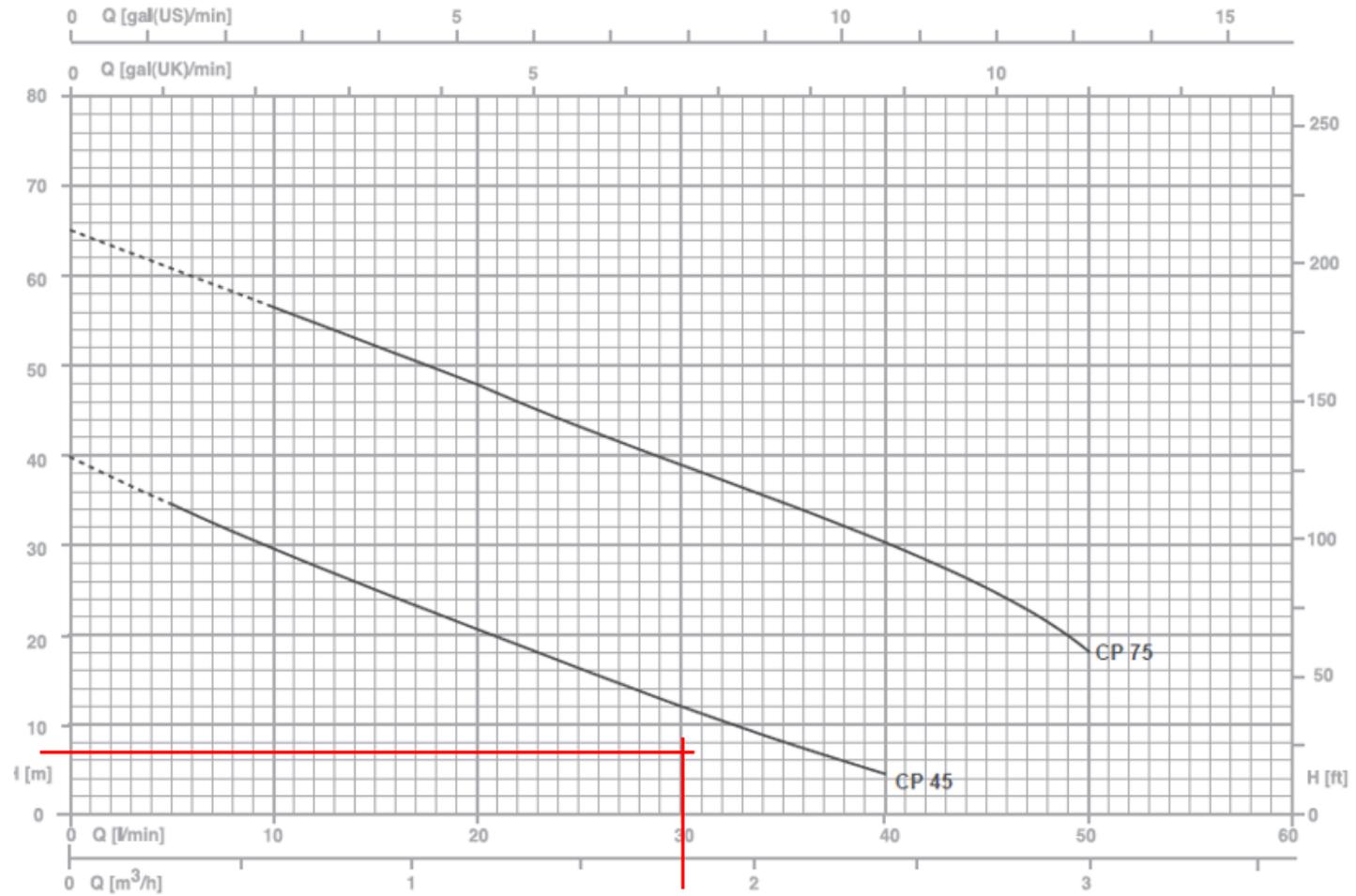


Ilustración 35: Selección de bomba según altura y caudal

Fuente: Catalogo bombas centrifugas PENTAX

Para la selección de la bomba para el calentamiento de la piscina y con las condiciones de $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal y 6.91 m de altura, se seleccionó una bomba centrífuga de 0.5 HP de la marca PENTAX, modelo CP 45.



Ilustración 36: Bomba centrífuga PENTAX CP – 45

Fuente: Catalogo bombas centrifugas PENTAX

La potencia que consumirá la bomba está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \rho \times g \times H \times Q / \eta$$

Ecuación 39: Calculo teórico de la potencia en la bomba

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

Donde

- P : Potencia real [W]
- ρ : Densidad del agua [kg/m^3]
- g : Gravedad [m/s^2]
- H : Altura total [m]
- Q : Caudal [m^3/s]
- η : Eficiencia [%]

$$P = 1000 \times 9.81 \times 6.91 \times 0.0005 / 0.8$$

$$P = 42.367 \text{ W} \approx 0.0568 \text{ HP}$$

Se obtiene una potencia de 42.367 W para esta bomba seleccionada, que posteriormente, será utilizada en el cálculo de paneles solares.

3.1.3.5 Selección de bomba de recirculación:

Cálculo de caudal y diámetro de tuberías de succión e impulsión:

Volumen de la piscina 430 m³

Por decreto supremo N° 007-2003 criterio de diseño- artículo 40 para piscinas de clubes la recirculación es tres veces por día, por lo tanto

$$\frac{430 (3) = 1290 \text{ m}^3}{1290 \text{ m}^3}$$

16 horas de funcionamiento de la bomba

$$Q = 80.625 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.0223 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tabla 16:

Rango de velocidad recomendado en piscinas

Tipo de Servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pies/s	m/s
Línea de Succión	2 – 4	0.6 – 1.2
Línea de Retorno	4 – 13	1.5 – 4
Línea de Descarga	7 – 18	2 – 5.5

Fuente: Instalación solar en piscinas - PROPOOL

Se hallan los diámetros de las tuberías tomando las velocidades:

Tabla 17:

Cálculos para tubería de succión y retorno

	T. Succión	T. Retorno
Caudal (Q)	0.0223 m ³ /s	0.0223 m ³ /s
Área (A)	0.0247 m ²	0.00743 m ²
Diámetro (D)	177.33 mm (8'')	97.28 mm (6'')

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.6 Pérdidas en tubería y accesorios

El cálculo se realizó de manera análoga al cálculo de las pérdidas en la tubería de calefacción, se emplea

$$\text{Caudal } Q = 0.0223 \text{ m}^3/\text{s}$$

Diámetro de tubería *diversos diámetros*

$$\text{Densidad } \rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Viscosidad dinámica } \mu = 1.42 \times 10^{-3} \text{ Pa/s}$$

Cálculo altura teórica

$$H = (Z_A - Z_B) + \frac{(P_A - P_B)}{\rho g} + \frac{(C_A^2 - C_B^2)}{2g} + \sum H_p$$

Ecuación 40: Cálculo de altura teórica

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$\frac{(P_A - P_B)}{\rho g} \cong 0$$

Ecuación 41: Componente de presión teórica

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$\frac{(C_A^2 - C_B^2)}{2g} \cong 0$$

Ecuación 42: Componente de velocidad teórica

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$Z_A - Z_B \cong 0$$

Ecuación 43: Componente de diferencia de nivel

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

$$H = 3.85 \text{ m} + \sum H_p$$

$$\sum H_p = \sum H_{p_{tuberias}} + \sum H_{p_{accesorios}}$$

Ecuación 44: Cálculo de altura en circuito

Fuente: Mecánica de Fluidos - Yunus Cengel

3.1.3.7 Cálculo de las pérdidas en tuberías

Para el cálculo de las pérdidas que se empleó la misma metodología que las pérdidas en sistema de calefacción, con la ayuda de una hoja de cálculos se pudo elaborar la siguiente tabla

Tabla 18:

Pérdidas según diámetro de tubería

D (pulg.)	Caudal	D (m)	Longitud	Área	Velocidad
1.5	0.0016	0.0381	50.08	0.001	19.560
2	0.0016	0.0508	18.9	0.002	11.002
2.5	0.0032	0.0635	25.04	0.003	7.042
3	0.0032	0.0762	50.82	0.005	4.890
4	0.0112	0.1016	52.82	0.008	2.751
6	0.0223	0.1524	81.04	0.018	1.222
8	0.0223	0.2032	11.5	0.032	0.688

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19:

Continuación pérdidas según diámetro de tubería

Reynolds	Rug. Rela	f	Pérdidas
5.25E+05	0.00004	0.013	1.6999
3.94E+05	0.00003	0.0135	0.1581
3.15E+05	0.00002	0.014	0.2847
2.62E+05	0.00002	0.015	0.2488
1.97E+05	0.00001	0.0152	0.7617
1.31E+05	0.00001	0.016	0.6480
9.84E+04	0.00001	0.018	0.0245
		TOTAL	3.8258

Fuente: Elaboración propia

En donde se sumaron los diámetros de las tuberías para la succión y la impulsión respectivamente, se seleccionó las pérdidas para cada condición de tubería.

3.1.3.8 Cálculo de pérdidas en accesorios

Se contaron los accesorios totales empleados en la instalación, teniendo en cuenta la tabla de pérdidas en accesorio antes mostrado, se pudo elaborar el cálculo de las perdidas por accesorios en el segundo sistema, que se describen a continuación.

Tabla 20:

Pérdidas totales en accesorios

Tee (pulg.)	(m)	caudal	k	número	Pérdida
2.5	0.0635	0.0032	0.36	12	0.2228
3	0.0762	0.0032	0.36	4	0.0358
4	0.1016	0.0112	0.34	22	0.7210
6	0.1524	0.0223	0.3	2	0.0457
8	0.2032	0.0223	0.28	2	0.0135
Codo (pulg.)	(m)	caudal	k	número	Pérdida
1.5	0.0381	0.0016	0.63	32	2.0055
2	0.0508	0.0016	0.57	4	0.0718
4	0.1016	0.0112	0.51	4	0.1966
6	0.1524	0.0223	0.45	4	0.1371
Válvulas (pulg.)	(m)	caudal	k	número	Pérdida
3	0.0762	0.0032	6.1	8	1.2137
8	0.2032	0.0223	4.5	4	0.4338
Pérdidas en el filtro (datos de fabricante)					1.5
TOTAL PÉRDIDAS EN ACCESORIOS					6.597

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas en el filtro de 1.5 mca, se calcularon según el proveedor, empleando la siguiente tabla, para una medida de 48"

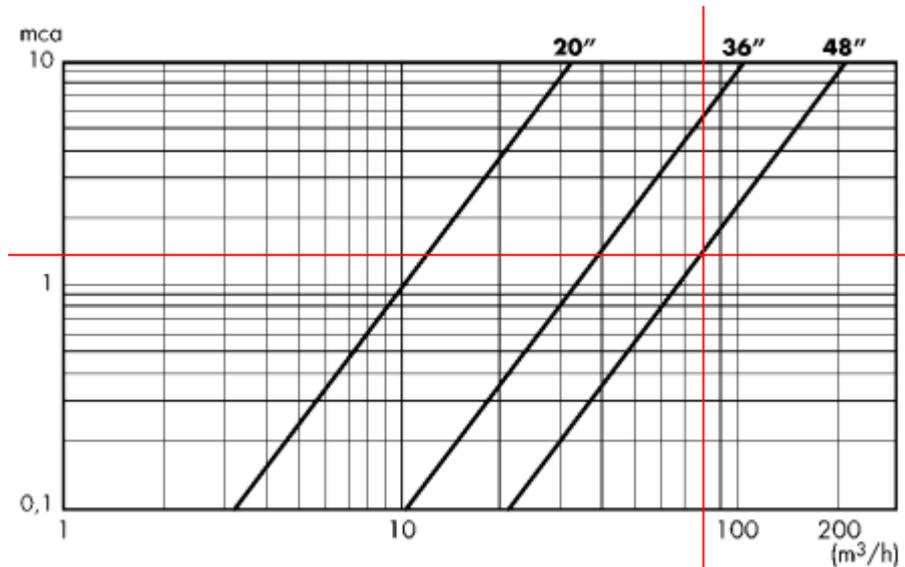


Ilustración 37: Pérdidas en el filtro

Fuente: Ficha técnica Filtro de arena REGABER

Se obtuvo un valor de pérdidas por accesorios de 6.597 metros

$$\sum H_{p_{accesorios}} = 6.59 \text{ metros}$$

Cálculo de la Altura teórica:

La altura teórica dado que se emplea solo recirculación, más no elevación de fluido, está dada solo por las pérdidas en tuberías y perdidas en accesorios:

$$H = 3.82 + 6.59$$

$$H = 10.41 \text{ m}$$

Con los datos para esta bomba de caudal = 0.0223 m³/s y altura = 10.41 m, se seleccionó la bomba de marca PENTAIR modelo EQ SERIES

Ahora se calculó la potencia que consumirá la bomba está dada por la siguiente ecuación 36, reemplazando datos:

$$P = 1000 \times 9.81 \times 10.417 \times 0.0223 / 0.8$$

$$P = 2848.567 \text{ W} \approx 3.819 \text{ HP}$$

Bombas Monofásicas- Modelos EQ

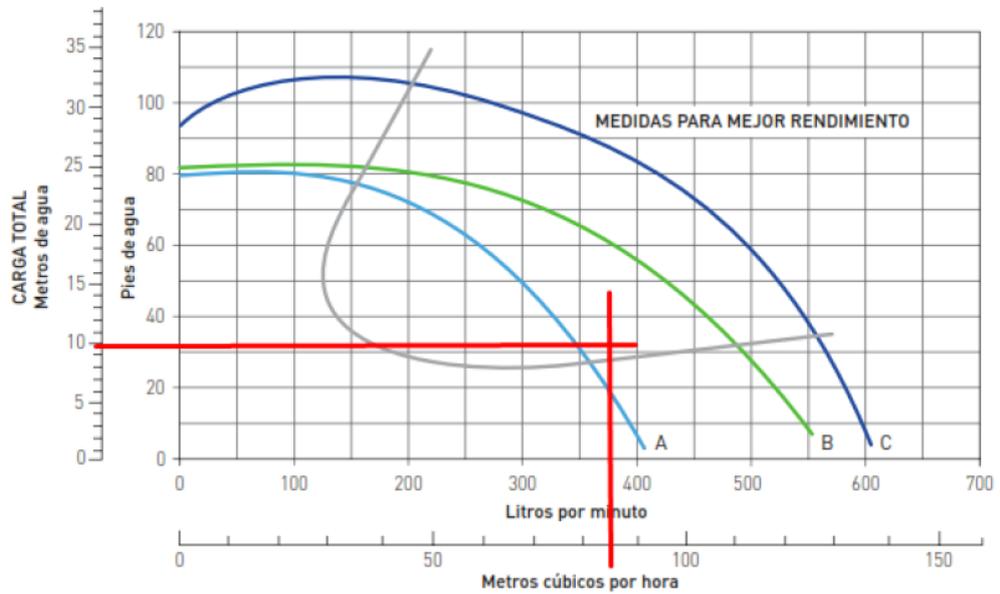


Ilustración 38: Selección de bomba de recirculación

Fuente: Catálogo de bomba PENTAIR SERIE EQ



Ilustración 39: Bomba Comercial PENTAIR serie EQ

Fuente: Catálogo de bomba PENTAIR SERIE EQ

3.1.4 Dimensionado del sistema fotovoltaico

3.1.4.1 Cálculo de demanda a suministrar energía eléctrica

Los componentes a suministrar energía eléctrica en el sistema de recirculación, básicamente lo conforman la electrobomba monofásica que mantiene en circulación el agua de la piscina y algunos componentes del tablero de control, que se deberían desprejarse por la diferencia comparado con electrobomba, también se ha incluido un foco perteneciente al cuarto del sistema de recirculación; se detallan sus características a continuación:

Tabla 21:

Demanda energética del sistema

Componente	Cant.	Potencia	tiempo	Subtotal
Bomba de calentamiento	1	372.85 W	8 h	2982.8 Wh
Bomba de recirculación	1	2982.84 W	16 h	47724.8 Wh
Foco de ahorrador	1	15 W	2 h	30.00 Wh
Otros	-	20 W	8 h	160.00 Wh
Total		3059.97 W		50897.6 Wh

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene una demanda de energía eléctrica de 50897.6 Wh para dicho sistema, Este valor necesita un factor de corrección “R”, para considerarse un valor real; este factor está definido por la siguiente ecuación:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \times \left(1 - \frac{k_a \times N}{P_d}\right)$$

Ecuación 45: Factor de corrección por pérdidas

Fuente: cadizsolarenergy.webcindario.com

Donde:

k_b : coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador.

0,05 en sistemas que no demanden descargas intensas.

0,1 en sistemas con descargas profundas.

k_c : coeficiente de pérdidas en el convertidor.

0,05 para convertidores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo

0,1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo

k_v : coeficiente de pérdidas varias.

Agrupar otras pérdidas como rendimiento de red, efecto Joule, etc.

0,05 – 0,15 como valores de referencia.

k_a : coeficiente de autodescarga diario.

0,002 para baterías de baja auto descarga Ni-Cd.

0.005 para baterías estacionarias de Pb-ácido (más habituales)

0,012 para baterías de alta auto descarga (arranque de automóviles)

N : números de días de autonomía de la instalación.

Serán días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos), en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar.

4 – 10 días como valores de referencia.

P_d : profundidad de descarga diaria de referencia.

Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de este decrece en gran medida con ciclos de cargas – descargas muy profundas.

Este factor representa las condiciones a la que estarán sometido los componentes del sistema de paneles solares, por lo que se han seleccionado los siguientes valores para nuestro caso:

$$k_b = 0.1$$

$$k_c = 0.05$$

$$k_v = 0.1$$

$$k_a = 0.012$$

$$N = 4$$

$$P_d = 70\%$$

Obteniéndose un valor de rendimiento global:

$$R = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.1) \times \left(1 - \frac{0.012 \times 4}{0.7}\right)$$

$$R = 0.699$$

Ahora, la demanda de energía real para el sistema de paneles solares se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_T}{R}$$

Ecuación 46: Calculo del consumo energético real

Fuente: cadizsolarenergy.webcindario.com

Donde:

E : Demanda de energía real para sistema de paneles solares
 Wh .

E_T : Demanda de energía teórica para sistema de paneles Wh .

R : Factor de rendimiento global.

Resultando una demanda de energía real:

$$E = \frac{50897.6 Wh}{0.699} = 72814.9 Wh$$

Con este valor se procede a calcular la capacidad del banco de baterías representado por la ecuación como sigue:

$$C = \frac{E \times N}{V \times P_d}$$

Ecuación 47: Capacidad del sistema de baterías

Fuente: cadizsolarenergy.webcindario.com

Donde:

C = capacidad del banco de baterías en Ah.

V = tensión nominal del banco de baterías en V.

Reemplazando los datos en la ecuación tenemos:

$$C = \frac{72814.9 \text{ Wh} \times 4}{48 \times 0.7}$$

$$C = 8668.44 \text{ Ah}$$

Para conocer la cantidad de baterías necesarias para satisfacer la capacidad calculada, se dividirá las tensiones del panel con la tensión nominal de la batería, obteniendo:

$$\# \text{ de baterías en serie} = \frac{48}{12}$$

Ecuación 48: Numero de baterías en serie

Fuente: cadizsolarenergy.webcindario.com

$$\# \text{ de baterías en serie} = 4$$

Ahora continuamos con la cantidad de baterías en paralelo donde se toma la capacidad del banco de baterías entre el valor corriente nominal de una batería del catálogo de batería TROJAN AGM seleccionada por dos, ya que trabajarán en pares, obteniendo:

$$\# \text{ de baterías en paralelo} = \frac{8668.44 \text{ Ah}}{254 \times 4}$$

Ecuación 49: Numero de baterías en paralelo

Fuente: cadizsolarenergy.webcindario.com

$$\# \text{ de baterías en paralelo} = 8.5 \approx 9$$

Entonces la distribución de baterías será de 4 series de 9 hileras en paralelo, sumando un total de 36 baterías de la marca TROJAN AGM, para el banco de baterías.

Ahora pasaremos a calcular los parámetros necesarios para la óptima posición del panel solar, de acuerdo con la radiación solar promedio mensual obtenida de NASA; para posteriormente finalizar con la cantidad de paneles necesarios para el sistema.

3.1.4.2 Cálculo de Parámetros para Paneles Solares

Cálculo del ángulo óptimo de inclinación y del mes crítico

Se procedió a calcular el ángulo óptimo de inclinación, factores de corrección de excentricidad para la órbita, la declinación solar, entre otros son detallados a continuación, la información de partida fue obtenida de la página de la NASA, con los datos de longitud y latitud de la ciudad de Pimentel $[-6.736; -79.426]$.

Tabla 22:

Mediciones de radiación solar y velocidad de viento

Mes	Radiación solar mensual [kWh/m ² × d]	Velocidad del viento [m/s]
Enero	5.7	2.1
Febrero	5.55	2
Marzo	5.84	2
Abril	5.38	2.2
Mayo	4.88	2.5
Junio	4.47	3.1
Julio	4.48	3
Agosto	4.91	2.9
Septiembre	5.59	2.7
Octubre	5.95	2.3
Noviembre	5.98	2.2
Diciembre	5.86	2.1
ANUAL	5.38	2.4

Fuente: Base de datos NASA

Se empleó los datos de radiación horizontal para el mes más crítico, de esta manera el sistema de paneles solares suministraría la energía requerida aun cuando se encuentre con la menor cantidad de radiación.

El cálculo del ángulo óptimo permite obtener la inclinación en la cual se obtiene la mayor cantidad de radiación sobre los paneles, para cada mes, los datos de partida son la latitud y los datos anteriormente mencionados, para obtener los parámetros que afectaran la irradiación y así obtener el mes más crítico con el que trabajará los paneles.

La ecuación del factor de corrección de la excentricidad de la órbita de la Tierra:

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi d_n}{365}\right)$$

Ecuación 50: Factor de corrección de la excentricidad de la órbita

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

d_n : orden del día juliano, en este caso como se realizará un cálculo por mes, se tomará como día juliano la quincena de cada mes.

La ecuación del ángulo diario (radianes):

$$\Gamma = 2\pi \left(\frac{d_n - 1}{365}\right)$$

Ecuación 51: Ángulo diario solar

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Declinación solar:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.001448 \sin(3\Gamma)$$

Ecuación 52: Declinación solar

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Ángulo de salida del sol:

$$\omega_s = \arccos[-\operatorname{tg}(\phi) \cdot \operatorname{tg}(\delta)]$$

Ecuación 53: Ángulo de salida del sol

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Donde

ϕ : Latitud del lugar [-5.736]

Radiación solar extraterrestre sobre superficie horizontal (kWh/m^2):

$$G_{0d} = \frac{24}{\pi} \cdot I_{sc} \cdot E_0 [\omega_s \text{sen}(\delta)\text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \text{sen}(\omega_s)]$$

Ecuación 54: Radiación solar sobre superficie horizontal

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Donde:

I_{sc} : Constante solar 1366 $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Índice de transparencia atmosférica:

$$K_d = \frac{G_d}{G_{0d}}$$

Ecuación 55: Índice de transparencia atmosférica

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Radiación difusa en superficie horizontal (kWh/m^2):

$$D_d = G_d \cdot [1.39 - 4.027 K_d + 5.531 K_d^2 - 3.108 K_d^3]$$

Ecuación 56: Radiación difusa sobre superficie horizontal

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Cálculo de radiación directa en superficie horizontal (kWh/m^2):

$$I_d = G_d - D_d$$

Ecuación 57: Radiación directa sobre superficie horizontal

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

En base a las fórmulas anteriormente mencionadas y estimando el día solar para cada quincena según el mes correspondiente se logra obtener la siguiente tabla:

Tabla 23:

Resultados de factores solares para la zona de estudio

Variables Solares	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
Día Juliano	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	180
Angulo diario Γ	0.241	0.757	1.274	1.790	2.307	2.823	3.340	3.856	4.372	4.889	5.405	5.922	3.081
Declinación Solar δ	-0.371	-0.238	-0.042	0.164	0.328	0.406	0.378	0.252	0.060	-0.148	-0.317	-0.404	0.406
Angulo de salida del sol ω	1.617	1.600	1.576	1.551	1.530	1.519	1.523	1.540	1.564	1.589	1.610	1.622	1.519
Excentricidad orbita	1.032	1.024	1.009	0.992	0.977	0.968	0.968	0.975	0.990	1.006	1.022	1.031	0.967
Irradiación Solar	10.705	10.782	10.530	9.828	8.981	8.484	8.631	9.319	10.120	10.604	10.686	10.628	8.474
Irradiación global G_d	5.700	5.550	5.840	5.380	4.880	4.470	4.480	4.910	5.590	5.950	5.980	5.860	5.383
Índice de transparencia K	0.532	0.515	0.555	0.547	0.543	0.527	0.519	0.527	0.552	0.561	0.560	0.551	0.635
Irradiación difusa D	1.965	1.991	1.914	1.792	1.641	1.561	1.592	1.714	1.841	1.920	1.937	1.935	1.438
Irradiación directa I	3.735	3.559	3.926	3.588	3.239	2.909	2.888	3.196	3.749	4.030	4.043	3.925	3.944

Fuente: Elaboración propia

A continuación se obtienen las componentes directas y difusas de la radiación global sobre superficies inclinadas un ángulo β que puede tomar cualquier valor, mediante la siguiente ecuación:

$$R_{b,\beta} = \frac{[\omega_s \text{sen}(\delta)\text{sen}(\phi - \beta)] + [\cos(\delta) \cos(\phi - \beta) \text{sen}(\omega_s)]}{[\omega_s \text{sen}(\delta)\text{sen}(\phi)] + [\cos(\delta) \cos(\phi) \text{sen}(\omega_s)]}$$

Ecuación 58: Factor de corrección geométrico

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Para cada ángulo a analizar se obtendrá un factor de corrección, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 24:

Factores de corrección geométrica para diferentes inclinaciones

Factor de corrección													
Ang.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-2	1.225	1.144	1.029	0.903	0.793	0.735	0.756	0.846	0.968	1.091	1.192	1.246	0.735
-4	1.209	1.135	1.029	0.914	0.813	0.760	0.779	0.861	0.973	1.086	1.179	1.228	0.760
-6	1.192	1.124	1.028	0.923	0.832	0.783	0.801	0.876	0.977	1.080	1.164	1.209	0.783
-8	1.173	1.112	1.026	0.932	0.849	0.806	0.822	0.889	0.980	1.072	1.148	1.189	0.806
-10	1.153	1.099	1.022	0.939	0.866	0.827	0.841	0.901	0.982	1.064	1.131	1.167	0.827
-12	1.131	1.084	1.018	0.945	0.882	0.848	0.860	0.912	0.982	1.053	1.112	1.143	0.848
-14	1.108	1.068	1.012	0.950	0.896	0.867	0.878	0.922	0.982	1.042	1.092	1.118	0.868
-16	1.084	1.051	1.004	0.954	0.909	0.886	0.894	0.931	0.980	1.030	1.070	1.092	0.886
-18	1.058	1.032	0.996	0.956	0.922	0.903	0.910	0.938	0.977	1.016	1.048	1.065	0.903
-20	1.031	1.013	0.986	0.958	0.933	0.920	0.924	0.945	0.973	1.001	1.024	1.036	0.920
-22	1.003	0.992	0.976	0.958	0.943	0.935	0.938	0.950	0.967	0.984	0.998	1.006	0.935
-24	0.973	0.969	0.964	0.957	0.952	0.949	0.950	0.954	0.961	0.967	0.972	0.974	0.949

Fuente: Elaboración propia

Radiación directa en superficie inclinada un ángulo β (kWh/m^2):

$$I_{d,\beta} = I_d \cdot R_b$$

Ecuación 59: Radiación directa en superficie inclinada

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 25:

Radiación directa en superficie inclinada a diferentes ángulos

Tabla de radiación total en superficie inclinada													
Ang.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
0	4.630	4.098	4.032	3.198	2.503	2.065	2.116	2.652	3.604	4.409	4.866	4.953	2.801
-2	4.576	4.071	4.039	3.240	2.570	2.139	2.185	2.704	3.628	4.395	4.818	4.890	2.901
-4	4.517	4.038	4.040	3.278	2.633	2.210	2.250	2.753	3.648	4.376	4.765	4.821	2.997
-6	4.452	4.000	4.036	3.312	2.694	2.278	2.313	2.799	3.664	4.351	4.706	4.746	3.090
-8	4.382	3.958	4.027	3.343	2.751	2.344	2.373	2.841	3.674	4.321	4.642	4.665	3.179
-10	4.306	3.910	4.014	3.368	2.805	2.407	2.430	2.880	3.681	4.286	4.571	4.579	3.264
-12	4.225	3.858	3.995	3.390	2.855	2.467	2.484	2.915	3.683	4.245	4.496	4.487	3.345
-14	4.139	3.802	3.972	3.408	2.902	2.524	2.535	2.947	3.680	4.199	4.414	4.390	3.422
-16	4.048	3.740	3.944	3.422	2.945	2.577	2.583	2.975	3.673	4.148	4.328	4.287	3.495
-18	3.952	3.674	3.911	3.431	2.985	2.628	2.628	2.999	3.662	4.093	4.236	4.179	3.563
-20	3.852	3.604	3.873	3.436	3.021	2.675	2.670	3.020	3.646	4.032	4.138	4.066	3.627
-22	3.746	3.529	3.831	3.437	3.054	2.720	2.708	3.037	3.626	3.966	4.036	3.948	3.687
-24	3.636	3.450	3.783	3.434	3.083	2.760	2.743	3.050	3.601	3.895	3.929	3.825	3.743

Fuente: Elaboración propia

Radiación difusa en superficie inclinada un ángulo β (kWh/m^2):

$$D_{d,\beta} = D_d \left[(G_d - D_d) \frac{R_b}{G_{0d}} + \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \frac{(G_d - D_d)}{G_{0d}} \right]$$

Ecuación 60: Radiación difusa en superficie inclinada

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Tabla 26:

Radiación difusa en superficie inclinada a diferentes ángulos

Tabla de radiación difusa en superficie inclinada													
Ang.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
0	1.535	1.414	1.446	1.238	1.049	0.915	0.923	1.076	1.338	1.528	1.615	1.616	1.145
-2	1.525	1.409	1.447	1.245	1.061	0.928	0.935	1.085	1.342	1.525	1.606	1.604	1.161
-4	1.514	1.402	1.447	1.251	1.072	0.941	0.947	1.094	1.345	1.521	1.596	1.591	1.177
-6	1.501	1.394	1.445	1.257	1.082	0.953	0.958	1.101	1.347	1.516	1.584	1.577	1.192
-8	1.487	1.385	1.442	1.261	1.092	0.964	0.968	1.108	1.347	1.509	1.571	1.560	1.206
-10	1.471	1.374	1.438	1.264	1.100	0.974	0.977	1.113	1.347	1.500	1.556	1.543	1.218
-12	1.454	1.363	1.432	1.265	1.107	0.983	0.985	1.118	1.345	1.491	1.540	1.524	1.230
-14	1.435	1.349	1.425	1.266	1.113	0.991	0.992	1.121	1.342	1.479	1.522	1.503	1.240
-16	1.415	1.335	1.416	1.266	1.119	0.999	0.999	1.124	1.337	1.467	1.503	1.481	1.249
-18	1.394	1.320	1.407	1.264	1.123	1.005	1.004	1.125	1.332	1.453	1.483	1.458	1.258
-20	1.372	1.303	1.396	1.261	1.126	1.011	1.009	1.126	1.325	1.438	1.461	1.433	1.265
-22	1.348	1.285	1.384	1.257	1.128	1.016	1.013	1.125	1.317	1.421	1.438	1.407	1.271
-24	1.323	1.266	1.370	1.252	1.129	1.020	1.016	1.123	1.308	1.404	1.413	1.380	1.276

Fuente: Elaboración propia

Radiación global en superficie inclinada un ángulo β (kWh/m^2):

$$G_{d,\beta} = I_{d,\beta} + D_{d,\beta}$$

Ecuación 61: Radiación global en superficie inclinada

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Tabla 27:

Radiación global en superficie inclinada a diferentes ángulos

Tabla de radiación global en superficie inclinada													
Ang.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
0	6.166	5.512	5.479	4.436	3.552	2.980	3.039	3.728	4.942	5.937	6.480	6.569	3.946
-2	6.102	5.479	5.486	4.485	3.631	3.067	3.120	3.790	4.970	5.921	6.424	6.494	4.062
-4	6.031	5.440	5.487	4.530	3.706	3.151	3.197	3.847	4.993	5.897	6.361	6.412	4.175
-6	5.953	5.394	5.481	4.569	3.776	3.231	3.271	3.900	5.010	5.867	6.290	6.323	4.282
-8	5.868	5.343	5.469	4.603	3.843	3.308	3.341	3.949	5.022	5.830	6.212	6.226	4.384
-10	5.777	5.285	5.451	4.632	3.905	3.381	3.407	3.993	5.027	5.786	6.127	6.122	4.482
-12	5.679	5.221	5.427	4.656	3.962	3.450	3.469	4.033	5.028	5.736	6.035	6.011	4.575
-14	5.575	5.151	5.397	4.674	4.015	3.515	3.528	4.068	5.022	5.679	5.936	5.893	4.662
-16	5.464	5.075	5.360	4.687	4.064	3.576	3.582	4.098	5.011	5.615	5.830	5.768	4.744
-18	5.347	4.994	5.318	4.695	4.108	3.633	3.633	4.124	4.994	5.546	5.718	5.637	4.821
-20	5.223	4.907	5.269	4.698	4.147	3.687	3.679	4.145	4.971	5.470	5.599	5.499	4.892
-22	5.094	4.814	5.214	4.695	4.182	3.735	3.721	4.162	4.942	5.387	5.474	5.355	4.958
-24	4.959	4.716	5.154	4.687	4.212	3.780	3.759	4.174	4.908	5.299	5.342	5.205	5.018
-26	4.819	4.612	5.087	4.673	4.237	3.821	3.793	4.181	4.869	5.205	5.205	5.049	5.072
-28	4.673	4.503	5.015	4.654	4.258	3.857	3.822	4.183	4.824	5.104	5.061	4.888	5.121
-30	4.521	4.390	4.937	4.630	4.273	3.889	3.847	4.181	4.773	4.998	4.912	4.720	5.164
-32	4.365	4.271	4.854	4.601	4.284	3.916	3.868	4.174	4.718	4.887	4.757	4.548	5.201

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el ángulo óptimo para cada mes va variando según la excentricidad del sol como se puede observar en la siguiente gráfica, en vista a esto se debe seleccionar paneles ajustables para poder obtener la mayor cantidad de irradiación en cada mes.

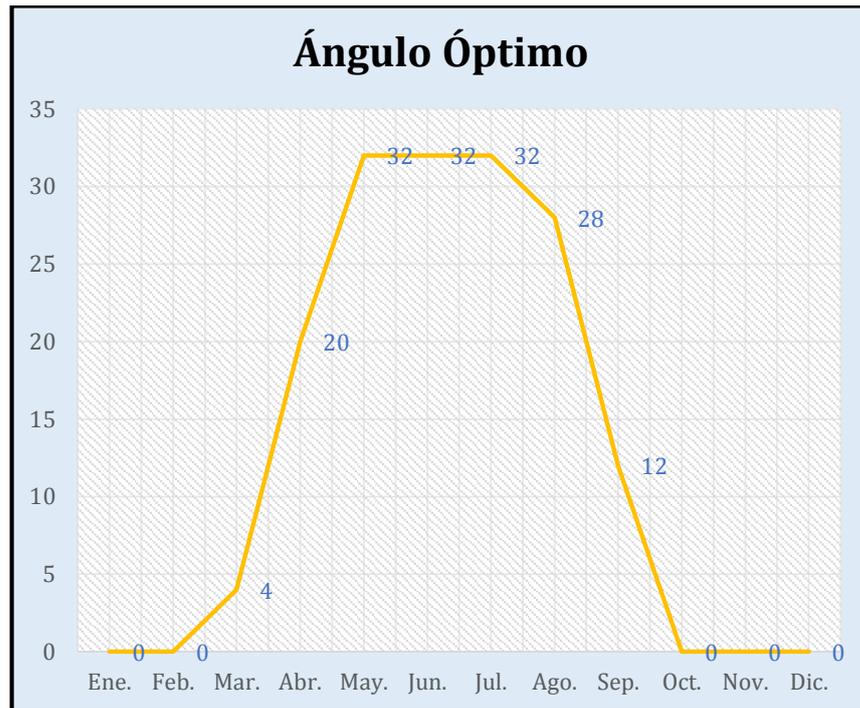


Ilustración 40: Ángulo de inclinación óptimo según el mes

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los mayores índices de cada mes, este mismo valor representará el número de HSP, con el que se trabajará.

Para el dimensionado de la piscina se trabajará con el método del mes más crítico, el cual consiste en seleccionar el menor de los valores resaltados en la siguiente tabla:

Tabla 28:

Angulo óptimo de inclinación y horas solar pico

Ángulo Óptimo para cada mes		
Mes	Ang.	HSP
Ene.	0	6.166
Feb.	0	5.512
Mar.	4	5.487
Abr.	20	4.698
May.	32	4.284
Jun.	32	3.916
Jul.	32	3.868
Ago.	28	4.183
Sep.	12	5.028
Oct.	0	5.937
Nov.	0	6.48
Dic.	0	6.569
ANUAL	32	5.201

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el mínimo valor es 3.868 HSP que corresponde al mes de Julio [estación de invierno], se realiza el dimensionamiento en base a este mes para así asegurar que todo el año se cuente con la energía necesaria para abastecer el suministro energético.

3.1.4.3 *Cálculo del número de paneles para el sistema fotovoltaicos*

Con algunos de los datos anteriormente obtenidos se empezará a calcular el número de paneles solares para el sistema fotovoltaico.

Se ha seleccionado un panel de la marca ISOFOTON y el modelo ISF-255



Ilustración 41: Panel fotovoltaico ISOFOTON ISF – 255

Fuente: Catalogo fotovoltaico ISOFOTON

De la ficha técnica del panel seleccionado se puede extraer las siguientes características eléctricas:

Tabla 29:

Características de panel fotovoltaico ISOFOTON ISF – 255

Modelo	P_{max} [Wp]	I_{cc} [Amp]	V_{cc} [Vol]	I_{oc} [Amp]	V_{oc} [Vol]	Tamaño [mm]	Peso [Kg]
ISF-255	255	9.31	30.8	8.61	39	1675x1001x31	18.5

Fuente: Catalogo fotovoltaico ISOFOTON

Habiendo calculado la máxima demanda para el sistema de paneles, se procede a dimensionar el número total de módulos requeridos para abastecer la demanda, para ellos se emplea la siguiente fórmula:

$$N_T = \frac{E_T}{P_p \times HPS \times P_G}$$

Ecuación 62: Numero de módulos fotovoltaicos requeridos

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Donde:

N_T : Número de módulos Fotovoltaico

P_P : Potencia Pico del modulo (Wp)

P_G : Factor global de pérdidas [0.90]

HPS : Horas Pico Solar del mes crítico.

E_T : Energía total requerida. (Wh)

Al reemplazar:

$$N_T = \frac{72543.20}{255 \times 3.867 \times 0.9}$$
$$N_T = 81.72 = 82$$

Ahora se procede a calcular el número de paneles en serie, para este caso se selecciona a una tensión de trabajo de 48V – DC, para reducir la corriente en las terminales de los paneles, se obtiene el número de paneles en serie según la siguiente fórmula:

$$N_S = \frac{V_{BAT}}{V_{PANEL}}$$

Ecuación 63: Numero de paneles fotovoltaicos en serie

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Donde:

N_S : Número de módulos en serie.

V_{BAT} : Tensión nominal del sistema. (V)

V_{PANEL} : Tensión nominal de los módulos. (V)

Al reemplazar los datos:

$$N_S = \frac{48}{30.8} = 1.55$$
$$N_S \approx 2$$

Una vez calculado el número de paneles en serie, se prosigue a calcular el número necesario de paneles en paralelo, que viene dado por la fórmula:

$$N_P = \frac{N_T}{N_S}$$

Ecuación 64: Numero de paneles fotovoltaicos en paralelo

Fuente: Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Donde:

N_P : Número de paneles en paralelo

N_T : Número de paneles total

N_S : Número de paneles en serie

$$N_P = \frac{78}{2} = 39$$

3.1.5 Cálculo de accesorios del sistema

Desnatadores:

La función principal del desnatador es llevar agua al filtro y retirar la suciedad de la superficie de una piscina, por lo que el cálculo está basado en base al área de superficie de la piscina.

Se instalará uno por cada 25 m^2 de superficie laminar.

$$\frac{312.5}{25} = 12.5 \approx 13 \text{ desnatadores}$$

Pero por estética y simetría se instalarán 14 desnatadores.

Boquillas de retorno

Las boquillas de retorno son el medio para regresar el agua a la piscina después de pasarla por los distintos equipos con los que pueden contar un sistema de circulación de una piscina (electrobomba, filtro, calentador, etc.), por lo cual dependiendo de los equipos que estén instalados, regresará agua limpia, caliente clorada).

Es importante una buena distribución de las boquillas para que el agua se mezcle de forma pareja, para lo cual existen boquillas de retorno para muro y piso siendo las de piso una excelente alternativa para que la parte profunda de la piscina también reciba agua tratada y caliente y así evitar la pérdida de calor y químico que se da al utilizar únicamente retornos de muro, que el agua tiende a ir a la superficie de la piscina antes de mezclarse con toda el agua.

Estas se pueden calcular en base a su diseño (hay para gastos de 35,65 y 100 LPM cada boquilla). Se decidió trabajar con las de 30 LPM

$$30 \text{ LPM (60)} = 1800 = 1.8 \frac{m^3}{h}$$

$$1,8 \text{ m}^3/h \text{ por boquilla} \times 8 \text{ horas de recirculación} = 14.4 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$\frac{430 \text{ m}^3 \text{ volumen total de la piscina}}{14.4 \text{ m}^3 \text{ que circula por boquilla en 8 horas}} = 29.86 \text{ boquillas}$$

Pero por simetría se instalarán 32 boquillas distribuidas equidistantes.

Cálculos de filtros

- Volumen : 430 m³
- Tipo de piscina : semi olímpica
- Recirculación : 8 h.

Para el cálculo del equipo de filtración se manejan los siguientes parámetros:

- V : Volumen piscina (m³)
- T : Tiempo recirculación (h)
- VF : Velocidad de filtración (m³/h/m²)
- Q : Caudal (m³/h)
- SF : Superficie de filtración (m²)

Las fórmulas a utilizar son:

$$\frac{V}{T} = Q$$

Ecuación 65: Caudal en tuberías de filtro

Fuente: toledopiscinas.es/calculos-piscinas/calculo-filtro-bomba

$$\frac{Q}{VF} = SF$$

Ecuación 66: Superficie d filtración de filtros

Fuente: toledopiscinas.es/calculos-piscinas/calculo-filtro-bomba

Así, el resultado del cálculo sería:

$$\frac{430 \text{ m}^3}{8 \text{ h}} = 53.75 \text{ m}^3$$

$$\frac{53.75 \text{ m}^3}{40 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2} = 1.34 \text{ m}^2$$

Por tanto, sabiendo la superficie del filtro se puede elegir el filtro que corresponda siempre seleccionando el diámetro igual o superior al resultante. Es necesario recordar que la superficie de una circunferencia es

$$A = \pi \times r^2$$

De donde despejando el radio se obtiene:

$$r = \sqrt{\frac{1.34}{3.1416}}$$

Ecuación 67: Cálculo de radio de filtros

Fuente: toledopiscinas.es/calculos-piscinas/calculo-filtro-bomba

$$1.34 = (3.1416)(r^2)$$

$$r = 0.653$$

Por lo tanto

$$D = (0.653)(2)$$

$$D = 1.306$$

$$D \approx 1300 \text{ mm}$$

Para la piscina semi olímpica se debería seleccionar un filtro de diámetro 1400 mm. ($SF = 1.34 \text{ m}^2$).

IV DISCUSIÓN

4.1 Propuesta de Investigación

Para el desarrollo de esta investigación fue necesaria la visita al centro de esparcimiento para la obtención de datos exactos del área de estudio, como parámetros físicos del suelo, agua, y ubicación de la caseta de bombeo existente, sus dimensiones y toma de fotografías. El lugar de la investigación se encuentra ubicado en el km 10 de la carretera Chiclayo – Pimentel.

Se recolectó datos de registro históricos mensuales del sitio web NASA, el cual solicitaba las coordenadas decimales del lugar en estudio, para determinar los parámetros meteorológicos que intervienen en el desarrollo de nuestra investigación, así como la selección de los diferentes equipos que intervienen en la automatización y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

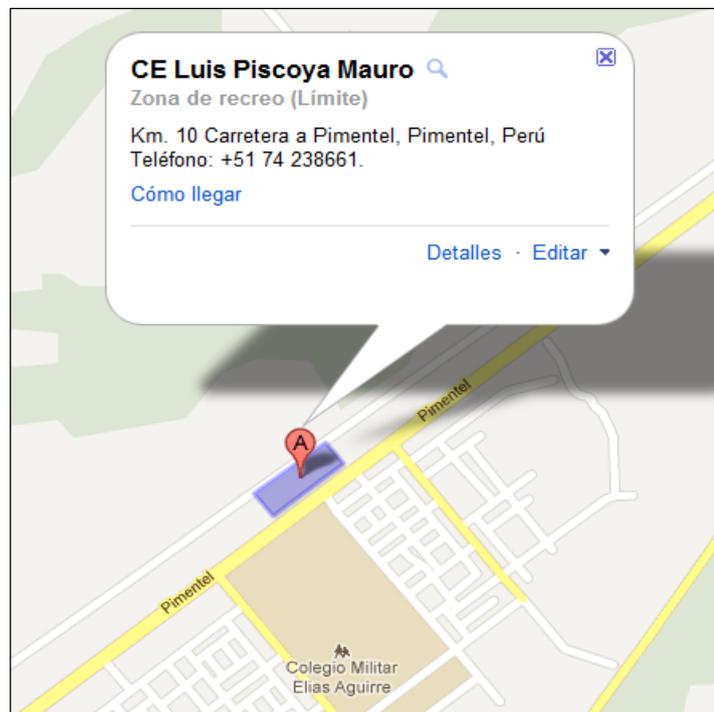


Ilustración 42: Ubicación del centro de esparcimiento del colegio de ingenieros

Fuente: Google Maps



Ilustración 43: Toma de la caseta del sistema de la recirculación

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 44: Imagen del sistema de recirculación

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Equipos, Materiales e Instrumentos

Tabla 30:

Equipos de medición

Lista de Equipos de medición

Piranómetro

Caudalímetro

Manómetro

Termocupla

Termómetro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31:

Materiales empleados

Lista de Materiales

Panel fotovoltaico

Inversor

Colector solar

Cables

Reguladores de voltaje

Baterías

Bomba de agua

Tuberías de PVC

Interruptores termo magnéticos

Tees

Codos

Filtros

Contactores

Sensores de presión

Sensores de Temperatura

Tablero Eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32:

Software utilizados

Lista de Softwares
Software AutoCAD 2014
Software Microsoft Excel 2013
Software Microsoft Word 2103
Software Microsoft Project 2013

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Recursos humanos

Tabla 33:

Recursos humanos

Recurso	Cantidad
Asesor Metodólogo	1
Asesor Especialista	1
Ing. Mecánico Eléctrico	1
Tesistas	2

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Fórmulas y cálculos

Se realizó cálculos específicos partiendo en la piscina, y estableciendo el volumen total del agua a recircular y calentar, para luego determinar el diseño del sistema de recirculación, pasando luego a seleccionar sus componentes; por otro lado, también se realizó cálculos para seleccionar la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios, de igual forma se calculó el área del colector solar. También se tuvo que obtener la temperatura a la cual fue elevada el agua después de salir del colector solar.

4.1.4 Planos

Se realizó planos utilizando el software AutoCAD 2014, los cuales son:
Plano de ubicación del centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros.

Plano de las dimensiones en la piscina del centro de esparcimiento del Colegio de Ingenieros.

Plano de ubicación del tablero eléctrico de control del sistema de calentamiento.

4.1.5 Diseño

Se realizó cálculos de la máxima demanda eléctrica para saber el número de paneles fotovoltaicos que serían necesarios para alimentar todo el sistema en temporada de invierno.

Se calculó el número de colectores solares necesarios para poder calentar el agua de la piscina teniendo en cuenta la radiación solar.

Se diseñó el sistema de bombeo, filtrado, recirculación y automatización.

En el diseño realizado se usó la simbología respectiva para los componentes mecánicos, así como para los componentes eléctricos de los tableros de control, que gobiernan su funcionamiento.

4.1.6 Pruebas de funcionamiento

Una vez realizado el diseño del sistema de recirculación se pasará a realizar una prueba de funcionamiento, para ver el comportamiento de los controladores y electrobomba mediante el programa CADE-SIMU.

4.1.7 Mantenimiento

Este proyecto contó con un plan de mantenimiento preventivo anual para el correcto funcionamiento del sistema automatizado, así como la elaboración de las fichas técnicas de los elementos que conforman nuestro sistema.

4.1.8 Costos

Este proyecto no se implementó por ser del tipo cuasi experimental, No obstante, se realizó un planteamiento de viabilidad haciendo uso de los modelos económicos del VAN y del TIR. Este proyecto asciende a una inversión aproximada de S/. 229,584.50 nuevos soles.

4.2 Factibilidad económica de la propuesta

Con la finalidad de conocer si es viable o no, se ha realizado un análisis del presupuesto, el cual contiene todos los elementos involucrados en el desarrollo de esta propuesta, de la cual se espera resultados muy alentadores.

Los costos directos relacionados con los equipos de calentamiento térmico y suministro eléctrico, sus accesorios, los equipos de medición, el costo de instalación y transporte, así como del personal técnico que lo realizará, Ing. Mecánico Electricista, técnico electricista y tres ayudantes.

También se incluyen otros tipos de costos como los gastos de imprevistos, seguros del personal y otros.

Se ha planeado generar un ingreso de S/. 3.00 por bañista, para el pago de la persona responsable del cuidado y mantenimiento del sistema propuesto.

Costos de equipamiento

Estos costos fueron sobre los materiales e implementos para el diseño de cada uno de los sistemas involucrados en esta investigación, se elaboró un listado de estos elementos, la cantidad y sus respectivos precios unitarios.

Tabla 34:

Costo de materiales e implementos del sistema de calentamiento

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	P. Unit.	Sub Total
1	Colectores Solares	und.	44	S/. 900.00	S/. 39,600.00
2	Tubería de PVC de 2"	und.	10	S/. 60.00	S/. 600.00
3	Válvula de PVC de 2"	und.	6	S/. 35.00	S/. 70.00
4	Codo de PVC 1 ¼ x 90	und.	85	S/. 5.00	S/. 425.00
5	Pegamento de PVC	btlla.	1	S/. 35.00	S/. 35.00
6	Cinta teflón	und.	20	S/. 1.00	S/. 20.00
Total					S/. 40,890.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35:

Costo de materiales e implementos del sistema de paneles

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	P. Unit.	Sub total
1	Paneles Solares de 256 W	und.	82	S/. 1,200.00	S/. 93,600.00
2	Batería de ciclo profundo	und.	36	S/. 830.00	S/. 26,560.00
3	Regulador	unid	2	S/. 1,060.00	S/. 2,012.00
4	Inversor	unid.	1	S/. 730.00	S/. 730.00
5	Termomagnética monofásica de 32 A	und.	1	S/. 60.00	S/. 60.00
6	Cable NH 80-6mm ²	m.	100	S/. 2.10	S/. 210.00
7	Cable NH 80-10mm ²	m.	100	S/. 2.70	S/. 270.00
8	Cinta aislante	und.	3	S/. 6.00	S/. 18.00
Total					S/. 123,568.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36:

Costo de materiales e implementos del sistema de recirculación

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	P. Unit.	Sub total
1	Bomba 0.5 HP para recirculación	und.	1	S/. 530.00	S/. 530.00
2	Bomba 4 HP para calentamiento	und.	2	S/. 2700.00	S/. 5400.00
3	Filtro de agua de 72"	und.	1	S/. 2000.00	S/. 2000.00
4	Tubería de PVC de 4"	und.	10	S/. 70.00	S/. 700.00
5	Válvulas de PVC de 4" SAP	und.	10	S/. 15.00	S/. 150.00
6	Conecciones varias	und.			S/. 800.00
Total					S/. 8,780.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37:

Costo de materiales e implementos del sistema de automatización

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	P. Unit.	Sub total
1	Tablero adosado	und.	1	S/. 120.00	S/. 120.00
2	Contactador de 25 A	und.	1	S/. 130.00	S/. 130.00
3	Interrupor Horario Digital	und.	1	S/. 150.00	S/. 150.00
4	Cable THW #18	m.	5	S/. 1.30	S/. 6.50
5	Cinta aislante	und.	3	S/. 6.00	S/. 18.00
Total					S/. 424.50

Fuente: Elaboración propia

Costos de instalación:

El costo de instalación se refirió a los pagos que se cancelaron al personal técnico que llevó a cabo la instalación de los sistemas antes tratados con todos sus complementos.

a. Costos de mano de obra:

Los costos de mano de obra fueron los salarios mínimos para este rubro.

Tabla 38:

Costo de mano de obra para elaboración de sistema de calentamiento

Trabajador	N° horas	S/. / hora	Sub total
01 Ing. Mecánico Electricista	300	25	S/. 7,500.00
01 Técnico Electricista	240	12	S/. 2,880.00
03 Ayudantes	200	8	S/. 4,800.00
Total			S/. 15,180.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39:

Costo de mano de obra para elaboración de sistema de paneles

Trabajador	N° horas	S/. / hora	Sub total
01 Ing. Mecánico Electricista	300	25	S/. 7,500.00
01 Técnico Electricista	240	12	S/. 2,880.00
02 Ayudantes	200	8	S/. 3,200.00
Total			S/. 13,580.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40:

Costo de mano de obra para elaboración de sistema de recirculación

Trabajador	N° horas	S/. / hora	Sub total
01 Ing. Mecánico Electricista	240	25	S/. 6,000.00
01 Técnico Electricista	240	12	S/. 2,880.00
01 Ayudantes	120	8	S/. 960.00
Total			S/. 9,840.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41:

Costo de mano de obra para elaboración de sistema de automatización

Trabajador	N° horas	S/. / hora	Sub total
01 Ing. Mecánico Electricista	10	25	S/. 250.00
01 Técnico Electricista	16	12	S/. 192.00
Total			S/. 442.00

Fuente: Elaboración propia

b. Costos de transporte

Estos fueron los gastos generados debido al traslado de equipos y de accesorios del proveedor o fabricante.

Tabla 42:

Costo de transporte de equipos y accesorios de todos los sistemas

Ítem	Sub total
Traslado de colectores solares desde proveedor	S/. 600.00
Transporte de accesorios del sistema de calentamientos	S/. 10.00
Traslado de paneles solares desde proveedor	S/. 300.00
Transporte de accesorios de sistema de paneles	S/. 10.00
Traslado de accesorios del sistema de recirculación	S/. 20.00
Transporte de accesorios del sistema de automatización	S/. 20.00
Total	S/. 960.00

Fuente: Elaboración propia

Resultó una inversión total de

Tabla 43:

Costo total de la inversión

Ítem	Sub total
Costo de materiales e implementos del sistema de calentamiento	S/. 40,890.00
Costo de mano de obra para elaboración de sistema de calentamiento	S/. 15,180.00
Costo de materiales e implementos del sistema de paneles	S/. 131,688.00
Costo de mano de obra para elaboración de sistema de paneles	S/. 13,580.00
Costo de materiales e implementos del sistema de recirculación	S/. 9,580.00
Costo de mano de obra para elaboración de sistema de recirculación	S/. 9,840.00
Costo de materiales e implementos del sistema de automatización	S/. 424.50
Costo de mano de obra para elaboración de sistema de automatización	S/. 442.00
Costo de transporte de equipos y accesorios de todos los sistemas	S/. 960.00
Costo de Obras Civiles por concepto de instalación de tuberías	S/. 7,000.00
Costo Total	S/. 229,584.50

Fuente: Elaboración propia

Egresos por mantenimiento

Se tuvo en cuenta el salario del encargado del mantenimiento del sistema propuesto; con un valor de:

$S/. 850.00 \times 12 = S/. 10,200.00$, que se define como el monto de salario anual para el operario de mantenimiento.

A su vez se asumió un costo de cambio de las baterías por cada 5 años incurriendo en un extra de $S/. 830$ por batería.

Resultando: $32 \times 830 = 26,560.00$ por cambio de baterías cada 5 años.

Propuesta de ingresos

Ahora el ingreso de $S/. 3.00$ /hora por bañista para una concurrencia de 15 personas diarias, se tiene un ingreso de:

Tabla 44:

Ingresos diarios por uso de piscina

Bañistas prom. al día	Pago por bañista	Uso de piscina (horas)	Total de ingreso al día
15	S/. 3.00/hora	1	S/. 45.00

Fuente: Elaboración propia

El ingreso que se obtendrá es como sigue:

$$\text{Ingreso por hora} = 15 \times \frac{S/. 3.00}{\text{hora}} \times 1 \text{ horas}$$

Ecuación 68: Cálculo de ingresos diarios

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Ingreso por hora} = S/. 45.00$$

Considerando 6 horas de funcionamiento al día, se obtiene:

$$\text{Ingreso por día} = S/. 45.00/\text{hora} \times 6 \text{ horas}$$

$$\text{Ingreso por día} = S/. 270.00$$

Convirtiendo este ingreso por mes y año, resulta:

$$\text{Ingreso por mes} = S/. 270.00 \times 30 \text{ días}$$

$$\text{Ingreso mensual} = S/. 8,100.00$$

$$\text{Ingreso anual} = S/. 8,100.00 \times 12 \text{ meses}$$

$$\text{Ingreso anual} = S/. 97,200.00$$

Se procede a realizar una caja de flujo para un horizonte de 20 años, con un interés del 3.25% anual, se calculó los evaluadores económicos VAN y TIR, donde se obtiene las tablas siguientes:

Flujo de caja

Tabla 45:

Flujo de caja

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Instalación	-229,585.00										
Manta Térmica	-8,700.00										-8,700.00
Reemplazo de Baterías						-29,880.00					-29,880.00
Mantenimiento		-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00
Propuesta de Ingreso		97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00
Valor Neto	-238,285.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	57,120.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	48,420.00

Fuente: Elaboración propia

(Continuación de flujo de caja)

Periodo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Instalación										
Manta Térmica										-8,700.00
Reemplazo de Baterías					-29,880.00					-29,880.00
Mantenimiento	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00	-10,200.00
Propuesta de Ingreso	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00	97,200.00
Valor Neto	87,000.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	57,120.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	87,000.00	48,420.00

Para el análisis por el estimador VAN se obtuvo el siguiente resultado:

Para $i = 3.25\%$ anual

Horizonte = 20 años, con año 0 a partir de 2016

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{\text{Flujo de caja}_t}{(1 + 3.25\%)^t} - 229,585 = 0$$

Ecuación 69: Valor actual neto según flujo de caja

Fuente: wikipedia.org/wiki/Valor_actual_netto

$$VAN = S/. 943,011.03$$

Para obtener el valor de la tasa interna de recuperación se utilizó la caja de flujo antes elaborada, se obtuvo mediante los siguientes resultados:

$$TIR = \sum_{t=0}^{20} \frac{\text{Flujo de caja}_t}{(1 + i\%)^t} = 0$$

Ecuación 70: Tasa interna de retorno según flujo de caja

Fuente: wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno

$$TIR = 35\%$$

Tabla 46:

Relación Beneficio-Costo

Ítem	Monto
Σ INGRESOS TOTALES	S/. 1,413,224.45
Σ COSTOS TOTALES	S/. 478,913.42
RELACION B/C	2.9509

Fuente: Elaboración propia

Si se obtiene una relación $B/C > 1$ el proyecto es favorable, por lo que mediante esta última evaluación económica se concluye que es atractivo este proyecto.

4.3 Plan de mantenimiento

Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento se realiza mediante actividades elaboradas por usuarios u operadores como revisiones, ajustes, calibración, análisis electrónicos, a su vez permiten anticiparse o detectar posibles fallos en los equipos, herramientas, maquinarias, etc. Estas actividades las realicen siguiendo un cronograma planificado con lo que no se perjudica su disponibilidad de trabajo.

Mantenimiento del panel fotovoltaico

Las actividades que involucran realizar el mantenimiento al panel solar fotovoltaico comprenden:

- Limpie programada de la cubierta frontal (vidrio) del panel solar fotovoltaico, la periodicidad de esta actividad será de cada seis meses por año en primer lugar o considerando el nivel de suciedad ambiental del lugar de ubicación del panel. Esta actividad deberá efectuarse mediante un paño suave humedecido, solo en caso de ser necesario emplear detergente.
- Verifique el buen estado de los conductores, de esta manera se evita terminales flojos o rotos, así mismo que las conexiones no presenten anomalías de lo contrario contactar a técnicos especializados.
- Verifique las buenas condiciones de la estructura de soporte de panel, asegurando su protección contra las adversidades climatológicas mediante la aplicación de pintura antióxido.
- Podar o en caso de ser necesario prever la poda de árboles que pueden provocar sombra en los alrededores de la locación del panel solar fotovoltaico. No poner o evitar objetos a los alrededores de la locación de paneles que proyecten sombra, como los tanques de agua y las antenas.
- Evitar el uso de objetos punzo cortantes en la limpieza de la cubierta frontal del panel solar fotovoltaico, pudiendo perjudicar su funcionamiento.

Mantenimiento de la batería de acumulación

El conjunto de baterías componen el soporte energético de la instalación por lo que tiene mayor peligrosidad en cuanto a manipulación por el usuario, debido a sus características eléctricas y químicas, por estas razones se exponen como sigue ciertas recomendaciones de mantenimiento básico para evitarse riesgos o accidentes durante su manipulación:

Riesgos del electrólito

Este tipo de sustancia permite la conducción de corriente, y las comúnmente empleadas en estos sistemas son tipo ácidas, los cuales generan irritación si contactan con la piel u ojos del usuario. Los procedimientos siguientes se indican para evitar daños personales o disminuir sus efectos:

- Si en caso de suceder tal contacto con la piel o los ojos preceda a lavar o enjuagar respectivamente en ese preciso momento con bastante agua por aproximadamente un minuto la zona afectada.

En ambos casos, después de esta primera acción neutralizadora, requerir rápidamente atención médica.

Riesgos eléctricos

La principal situación de riesgo en una batería al manipularla es la de cortocircuito. Se recomienda seguir estos consejos:

- Trabaje sin accesorios u objetos metálicos de adorno personal para evitar el contacto accidental con los bornes de la batería.
- De necesitar herramientas asegúrese que posea el aislante correspondiente para su protección al manipularlas.

Riesgos de incendio

La batería por sus características químicas generan gas hidrógeno con lo que existe riesgo de explosión pudiéndose provocar incendio y considere las siguientes recomendaciones:

- Proporcionar ventilación en la locación del banco de baterías para evitar acumulación de gases explosivos.

- No fumar en el área donde se ubica la batería de acumulación ni prender chispas para observar el nivel de electrolito.
- Alejar toda fuente de chispa en la locación de baterías, evitando la posible generación de incendio.
- Evitar generar cortocircuito para comprobar la carga en la batería, ya que las chispas producidas provocarían una situación de riesgo en esa área.

Mantenimiento básico

Consiste en una serie de actividades a las baterías como las que se menciona:

- Verificar que la locación de baterías posea buena ventilación y que el banco de baterías se encuentre con la debida protección contra los rayos solares.
- Mantener los límites de electrolito en sus rangos dados, agregando agua destilada en los momentos que requiera por las pérdidas debido al gaseo. Es recomendable que el electrolito sobrepase los 10 o 12 mm por encima del tope de las placas.
- Proteger de la sulfatación y limpiar los bornes de conexión de las baterías aplicando grasa antioxidante.
- Verificar que los bornes de conexión estén bien apretados.
- Asegurar el adecuado funcionamiento del banco de baterías y mantener un buen estado la estructura que lo soporta.

Mantenimiento al controlador de carga para batería de acumulación (CCB)

- Mantener en adecuada posición el dispositivo, colocar en un lugar limpio, seco y protegido contra los rayos solares.

- Chequear el correcto funcionamiento del controlador de carga, ante cualquier anomalía, contactar al técnico encargado.
- Verificar y asegurar que las conexiones permanezcan seguras, así como el buen estado del fusible de entrada. En caso de que el controlador de carga no funcione, contactarse con el personal especializado.

Mantenimiento al inversor o convertidor CD/CA

Verificar que el lugar donde se ubique se mantenga limpio, seco, bien ventilado y protegido contra los rayos solares.

Asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo, en caso de producirse sonidos distintos a lo normal o presente un funcionamiento defectuoso o deje de funcionar, contacte al técnico encargado.

De presentarse el caso que algún dispositivo no trabaje normalmente como lo establece el manual básico, contactar inmediatamente con el personal especializado. No acuda a personas no autorizadas ni tratar de solucionar el problema. Con esta medida se evitan accidentes y daños a la instalación.

Recomendaciones y consejos útiles

- Por ningún motivo conecte otros equipos electrodomésticos que no hayan sido previstos o consultados a los técnicos encargados, con el fin de evitar sobrecargas y posible mal desempeño del sistema.
- Prohibir que otros usuarios se conecten a la instalación.
- No conectar equipos de potencia superior a la del inversor CD/CA, pues dañaría al sistema por sobrecarga.
- Almacenar el agua destilada en recipientes plásticos o de cristal; siempre que se añada agua destilada a la batería de acumulación, usar también embudo de plástico o cristal (en ningún caso emplear recipientes metálicos).

- Por ningún motivo dejar de usar agua destilada por agua de río, hervida u otro tipo para aplicar en baterías, por la razón de ser perjudicial a la vida útil del mismo.
- Observar con frecuencia los indicadores del controlador de carga, y de darse el caso que no trabaje como es debido siempre contacte al encargado del sistema.
- Siempre debe recordar que en los sistemas fotovoltaicos la energía tiene un límite de capacidad, haciendo que sea necesario el ahorro al máximo. Por lo que se debe evitar el funcionamiento innecesario de luces o equipos.

Mantenimiento del colector solar

Cumplir con esta actividad permite un mejor funcionamiento del colector solar, evitando obstrucciones o daños en el panel frontal del colector Las medidas a seguir son:

- Limpieza del colector. Procurar la limpieza del panel frontal aproximadamente cuatro veces al año o cuando lo requiera, evitando se asiente polvo e impidiendo la captación adecuada de rayos de sol.
- Limpieza a fondo. Realizar la limpieza o lavado desde el colector hasta las conexiones que llevan el agua calentada, con el objetivo de evitar la obstrucción o asentamiento de suciedad en las paredes de las tuberías, también tomar en cuenta el tipo de agua que empleará este sistema, y prohibir trabajar con el tipo de agua dura, porque gradualmente inutilizará el sistema.
- Aislamiento de tuberías. Revisar cada cuatro meses por año el buen estado del aislamiento en las tuberías de recirculación, para evitar pérdidas de calor.
- Prevención por fuera de servicio. Seguir dos consideraciones: cubrir por completo el colector solar en caso de estar fuera de servicio o por alguna reparación, y asegurar que mantenga agua en su interior para no provocar deformaciones muy dañinas.

Mantenimiento del filtro de arena para piscina:

Llevar a cabo la acción de retrolavado para el filtro es una actividad básica y se sugiere empezar efectuando cada dos semanas o dependiendo de la concurrencia de bañistas en la piscina. Para esta actividad una vez encendida la bomba en la válvula selectora se posiciona en la acción de retrolavado, esperar unos minutos y después aperturar la válvula de descarga.

- Verificar que el agua del retrolavado sea lo más limpia posible, para posteriormente realizar el enjuague, y desechar las últimas impurezas existentes, de esta manera se apaga la bomba y se regresa a su posición de filtrado la válvula selectora, finalizando con el cierre de la válvula de descarga. Quedando el filtro apto para reiniciar su funcionamiento.
- Recordar que la válvula selectora debe volver a la posición de filtrado, así se evita que arena del filtro recorre o ensucie las diversas tuberías que llevan el agua a la piscina, por lo que se recomienda seguir los pasos mencionados líneas arriba, de lo contrario se renovará todo el tendido de tuberías e inclusive se dañarían las válvulas de control por quedar estragos de arena.
- De no haber otra solución y darse el cambio total de las partes por las razones antes mencionadas, el cambio de arena del filtro puede prolongarse por 5 o 6 años, siempre y cuando se realice el retrolavado de acuerdo a la programación de actividades del plan de mantenimiento del sistema.

Limpieza anual del filtro de arena para piscinas

Revisar y asegurarse de evitar la formación de microorganismos dañinos en el interior del filtro que puedan ser responsables de enfermedades como conjuntivitis u otitis en los bañistas, por eso se recomienda la desinfección de manera anual de estos equipos.

- Realizar una revisión minuciosa del estado de la arena, debe encontrarse diluida y verificar que no se forme grumos por la adhesión calcárea.
- Debe descalcificarse el filtro mediante el uso de productos ácidos específicos y, posteriormente, es esencial volver a activar la función de retrolavado.

- Puede utilizarse el peróxido como desinfectante para drenar tanto el filtro como el agua, aunque éste debe permanecer durante toda la noche en activo para que pueda reaccionar correctamente. Por último, una vez realizadas todas las acciones anteriores, es fundamental repetir el retro lavado.

Mantenimiento de la bomba de la piscina

A continuación, se presentan algunas sugerencias para el establecimiento de un programa de mantenimiento preventivo.

Revisiones diarias

Las siguientes circunstancias requieren, por lo general, una revisión diaria de las principales características:

- Filtro de succión (cuando se usa). Verificar la diferencia en la presión entre los manómetros colocados a cada lado del filtro. Si la caída de presión aumenta, el filtro necesita limpieza.
- Flujo de la bomba. Revise los medidores de succión y de descarga de presión para mantener el rendimiento de la bomba.
- Fugas (escapes) por los empaques. Debe existir alguna fuga por los empaques para mantenerlos lubricados y para prevenir que el aire exterior entre por el collarín. El escape deberá ser de por lo menos veinte gotas por minuto, y algunos fabricantes recomiendan todavía más. La falta de lubricación es la principal causa del deterioro de los empaques.

Cronograma de mantenimiento:

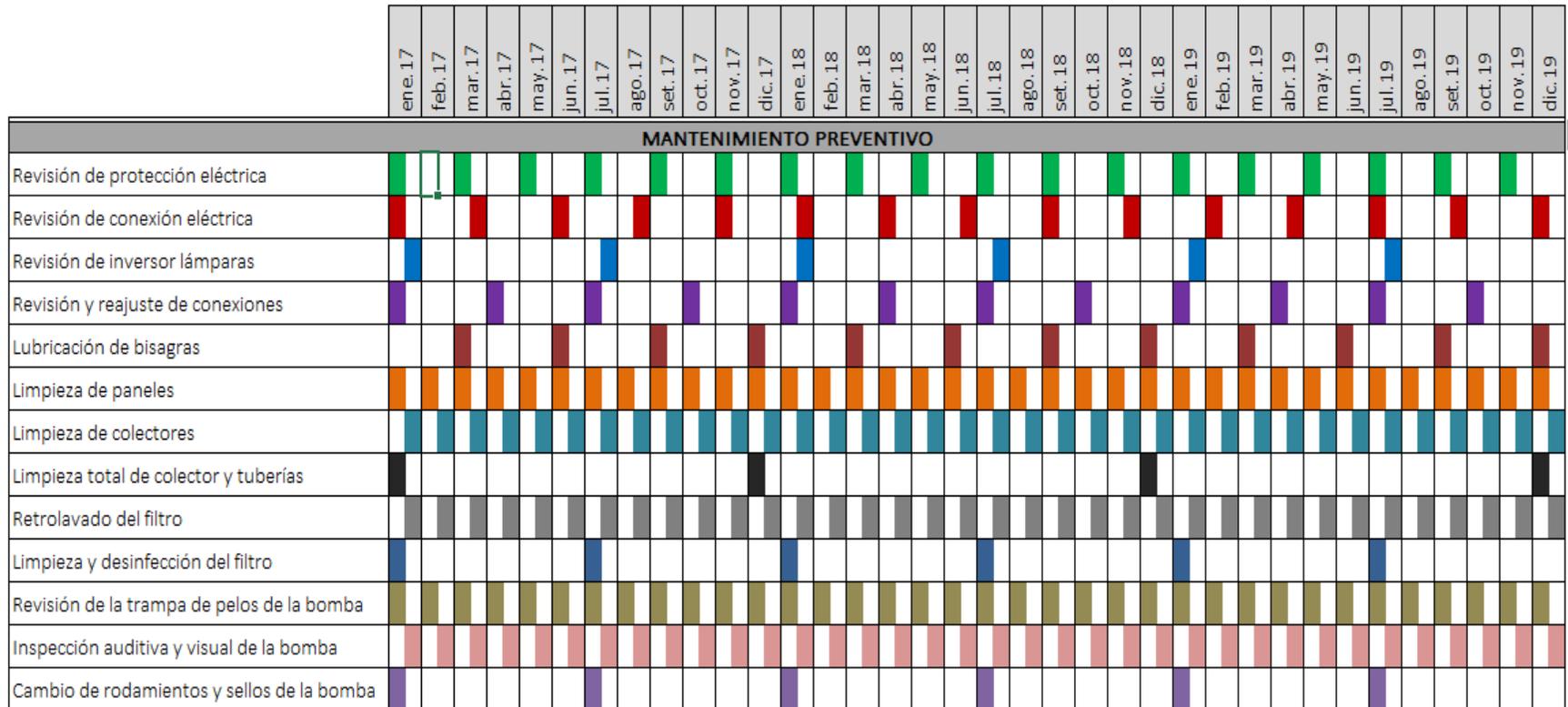


Ilustración 45: Cronograma de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

4.4 Conclusiones y Recomendaciones

4.4.1 Conclusiones

Se determinó mediante la recolección de datos y por medio de cálculos teóricos, suplir una demanda térmica de 636 322 Wh para calentamiento de la piscina, dicha demanda requiere de 45 colectores solares de polipropileno de dimensiones 3x1.2 m.

Se determinó mediante la recolección de datos y por medio de cálculos teóricos, suplir una demanda eléctrica de 72 814.6 Wh para el sistema de paneles solares, además esta demanda requiere de 82 paneles solares monocristalinos con dimensiones 1.7x1 m.

Se diseñó en base a datos ya calculados el sistema de recirculación - filtración, consiguiéndose dos bombas de 4 HP monofásicas; para el sistema de calentamiento una bomba de 0.5 HP monofásica, así como sus respectivos accesorios.

Se realizó el plan de mantenimiento preventivo, así como su respectivo diagrama de actividades para todos los componentes involucrados en la presente investigación, como se indica en la pág.146.

Se determinó la relación B/C resultando aceptable el proyecto con un valor de 2.9, además se obtuvo un VAN positivo y una TIR equivalente al 35% para el periodo de 20 años, como se indica en la pág.145.

4.4.2 Recomendaciones

El cálculo de máxima demanda de energía térmica puede ser mejorado con posteriores estudios y fórmulas más precisas en los que respecta a pérdidas.

El cálculo de máxima demanda de energía eléctrica puede ser mejorado con posteriores estudios y fórmulas más precisas.

La selección del tipo de colector solar es del tipo más económico con baja eficiencia, para posteriores estudios se podría cambiar por otro más eficiente.

La selección de los paneles puede ser mejorada por otros con mayor eficiencia, considerando el parámetro costo.

Los componentes seleccionados deben cumplir con la normativa vigente o internacional.

V REFERENCIAS

- A, A. (s.f.). GRUNDFOS. Recuperado el 14 de 09 de 2015, de La embajada danesa en China quiere reducir su consumo de energía a la mitad con la renovación de sus sistemas HVAC: https://es.grundfos.com/sobre_bombas_grundfos/news-and-press/news/in-china-danish-embassy-cuts-energy-in-half-with-hvac-upgrade.html
- A., A. (05 de 08 de 2015). NIPPON. Recuperado el 14 de 09 de 2015, de <http://www.nippon.com/es/features/q201507/>
- A.A. (s.f.). por-año-un-argentino-emite-81-toneladas-de-gases-contaminantes. Recuperado el 14 de 09 de 2015, de la voz: <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/por-año-un-argentino-emite-81-toneladas-de-gases-contaminantes>.
- Anon, (2017). [online] Recuperado de: http://saecsaenergiasolar.com/renovables/energia_solar.
- Anon, (2017). [online] Recuperado de: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/bombeo.html.
- Anon, (2017). [online] Recuperado de: <http://toledopiscinas.es/Construcción-piscinas/tratamiento-agua>.
- Anon, (2017). [online] Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/ubicacion-paneles>.
- APS MAROC. (2017). Energía y su Transformación. [online] Recuperado de: <https://apsmaroc.wordpress.com/2011/02/10/energia-y-su-transformacion/>.
- Arqhys.com. (2017). Bombas de depuración para piscinas. [online] Recuperado de: <http://www.arqhys.com/bombas-de-depuracion-para-piscinas.html>.
- Burbano, J. C., Restrepo, Á. H., & Sabogal, O. J. (31 de 08 de 2006). redalyc. Recuperado el 28 de 09 de 2015, de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA OPERANDO POR: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911639016>
- Campomorfo.com. (2017). Astrologia racional, astrologiaracional, Angel Baca. [online] Recuperado de: <http://campomorfo.com/astrologia.htm>.
- Castro Pereyra, R. (08 de 04 de 2014). Gestión. Recuperado el 14 de 09 de 2015, de De cómo dos escolares aprovecharon la radiación de Lima para innovar: <http://gestion.pe/tendencias/como-dos-escolares-aprovecharon-radiacion-lima-innovar-2093991>
- Cortes Simón, C. (s.f.). Gas natural: opción a la leña. Recuperado el 14 de 09 de 2015, de Pulso, pasión por los negocios: <http://www.pulso.cl/noticia/opinion/2015/09/4-69762-9-gas-natural-opcion-a-la-lena.shtml>

Cumulonimbo, O., perfil, V. and Cumulonimbo, O. (2017). Clases de navegación: El sistema solar. [online] Greatbustardsflight.blogspot.pe. Recuperado de: <https://greatbustardsflight.blogspot.pe/2015/09/clases-de-navegacion-el-sistema-solar.html>.

Delgado, E. (19 de 08 de 2014). El País. Recuperado el 01 de 10 de 2015, de Hoteles, hospitales y clubes deberán tener energía solar: <http://www.elpais.com.uy/informacion/hoteles-hospitales-clubes-deberan-energia.html>

Echevarría López, C. A. (20 de 09 de 2011). A.A. Recuperado el 28 de 09 de 2015, de DISEÑO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO CON APLICACIÓN PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA: http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1389/IME_159.pdf?sequence=1

Elblogdeecocasa.blogspot.pe. (2017). el blog de ecocasa. [online] Recuperado de: <http://elblogdeecocasa.blogspot.pe/>.

Energía e Impacto Ambiental. (2017). Energía Solar Termica (PARABOLICA). [online] Recuperado de: <https://energiaunam.wordpress.com/2010/03/04/energia-solar-termica-parabolicarojas-garica-michael-jossue/>.

Ingemecanica.com. (2017). Instalacion Solar Fotovoltaica para Vivienda. [online] Recuperado de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>.

Ingenieros, V. (2017). Venta de Tableros Eléctricos en Perú | CDA Ingenieros. [online] Cda-ingenieros.com. Recuperado de: <http://www.cda-ingenieros.com/tableros-electricos.html>.

Malpartida Tabuchi, J. (29 de 08 de 2013). El Comercio. Recuperado el 2015 de 09 de 29, de solo 100 empresas industriales utilizan energías renovables: http://elcomercio.pe/peru/lima/arequipa-solo-100-empresas-industriales-utilizan-energias-renovables-noticia-1622799?ref=&ft=nota_13&e=titulo

Outlet-piscinas.com. (2017). Blog - ¿Cómo funciona un filtro de arena para piscinas? - Outlet Piscinas. [online] Recuperado de: <http://www.outlet-piscinas.com/blog/funciones-filtro-arena-piscinas>.

Perfil, V. (2017). El comportamiento de la radiación solar en la Tierra. [online] Blogdequk.com. Recuperado de: <http://www.blogdequk.com/2011/07/el-comportamiento-de-la-radiacion-solar.html>.

Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (s.f.). Inti. Recuperado el 28 de 09 de 2015, de COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE: www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf

Recuerdosdepondora.com. (2017). Historia de la energía solar. [online] Recuperado de: <http://recuerdosdepondora.com/historia/inventos/historia-de-la-energia-solar>.

Sanjay, S., & Gail, J. (06 de 07 de 2007). Inter Press Service agencia de noticias. Recuperado el 12 de 09 de 2015, de ENERGÍA-SUDÁFRICA: Con el sol en el grifo: <http://www.ipsnoticias.net/2007/07/energia-sudafrica-con-el-sol-en-el-grifo/>

Sebastián, E. and Sebastián, E. (2017). Cómo hacen las celdas fotovoltaicas. [online] Eliseosebastian.com. Recuperado de: <http://eliseosebastian.com/como-hacen-las-celdas-fotovoltaicas>.

ANEXOS

Anexo I	Modelo de entrevista a especialista.
Anexo II	Registro de velocidad media mensual del viento a 10 m. de superficie terrestre en Pimentel.
Anexo III	Mediciones de temperatura del agua de la piscina del local del CIP.
Anexo IV	Característica de bomba monofásica para calentamiento.
Anexo V	Características de bomba monofásica para recirculación y filtrado.
Anexo VI	Catálogo de filtro.
Anexo VII	Catálogo de paneles fotovoltaicos.
Anexo VIII	Catálogo de regulador.
Anexo IX	Catálogo de baterías.
Anexo X	Catálogo de inversor.
Anexo XI	Catálogo de colectores solares.
Anexo XII	Tabla de sección del cable.
Anexo XIII	Gabinete para tablero
Anexo XIV	Esquema de mando y control de electrobombas