

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Análisis de sostenibilidad y propuesta de mejora de una Institución Educativa Privada:  
Estudio de caso del colegio Salesiano San Francisco de Sales en Breña**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES**

Jose Manuel Cirilo Yactayo

Aramis Gabriel Cuyubamba Soto

**ASESOR**

Ramzy Francis Kahhat Abedrabbo

Lima, Setiembre, 2023

## Informe de Similitud

Yo, Ramzy Kahhat, docente de la Facultad de Ciencia e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado "Análisis de sostenibilidad y propuesta de mejora de una Institución Educativa Privada: Estudio de caso del colegio Salesiano "San Francisco de Sales" en Breña"

De los autores;

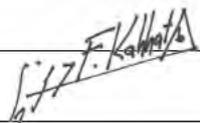
José Manuel Cirilo Yactayo, código 20160383,

Aramis Gabriel Cuyubamba Soto, código 20160321

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 15 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 04/10/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 2 de Noviembre del 2023.

Kahhat Abedrabbo, Ramzy Francis: <u>Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2</u>	
DNI: 08746262	Firma 
ORCID: 0000-0001-7321-2256	



## Resumen

La presente tesis tiene como principal sustento, la urgencia de implementar medidas sostenibles en instituciones educativas, las cuales son edificaciones con una alta demanda de recursos tanto hídricos como energéticos. Debido a ello, es relevante realizar cambios y adaptar estas edificaciones existentes para mejorar su desempeño ambiental, sobre todo para mitigar los efectos del calentamiento global. En este contexto, para la sección secundaria del colegio particular Salesiano “San Francisco de Sales” se analiza algunos aspectos de su sostenibilidad durante el año 2019 en base a estándares ambientales de edificaciones y proponer medidas para mejorar el desempeño sostenible.

El análisis se centra en tres factores principales: la energía eléctrica, los recursos hídricos y la interacción infraestructura - usuario. La metodología consiste en la recolección de datos relacionados al consumo de luz, agua y diversos parámetros ambientales relacionados a la ventilación y al confort térmico de las aulas del colegio.

A partir de la información recolectada, se proponen alternativas de mejora que contribuyen a la reducción del consumo de luz y agua, así como a una mayor ventilación y confort. Estas alternativas consisten en implementar un sistema de paneles fotovoltaicos, que abastecen un 30% de la demanda energética. Además, se plantea la instalación de una planta de tratamiento de aguas grises y urinarios secos, lo que genera un ahorro de 46.2% del consumo hídrico. Finalmente, se propone reducir en un 35% el aforo de usuarios en las aulas con el objetivo de garantizar una adecuada ventilación y confort acorde a estándares internacionales.

En conclusión, es posible implementar sistemas de energía renovable y ahorro de agua en una institución educativa privada en Lima, así como regular el aforo en las aulas para optimizar la ventilación y confort. En ese sentido, otras instituciones educativas pueden adoptar medidas similares a las expuestas para mejorar su desempeño sostenible.

## Agradecimientos

A mis padres, Elmer y Dalila, porque mucho de su esfuerzo se ve reflejado en la redacción de esta tesis.

A mi primo Hans, por mostrarme la universidad que me albergaría durante mis estudios de pregrado.

*Jose Manuel Cirilo Yactayo*

A mis padres, Hugo y Sandy, por su dedicación y sacrificio en brindarme la mejor educación del país.

A mi hermana Fabiolla, por su apoyo incondicional y sus consejos en los momentos más difíciles.

*Aramis Gabriel Cuyubamba Soto*

Al colegio Salesiano “San Francisco de Sales” por educarnos en conocimientos y valores, y otorgarnos las facilidades para el desarrollo e investigación de nuestra tesis.

A nuestro asesor de tesis, Ramzy Kahhat, por motivarnos y guiarnos en este proceso.

## Tabla de Contenidos

1.	Introducción.....	1
1.1.	Presentación del problema .....	1
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Preguntas de investigación .....	4
1.4.	Objetivos .....	4
1.5.	Hipótesis.....	5
2.	Revisión de la literatura .....	6
2.1.	Certificaciones de edificaciones sostenibles .....	6
2.2.	Energía solar y paneles fotovoltaicos.....	9
2.3.	El agua como recurso hídrico.....	14
2.4.	Confort térmico .....	22
2.5.	Ventilación .....	23
3.	Metodología.....	29
3.1.	Electricidad.....	29
3.2.	Recursos Hídricos .....	35
3.3.	Confort térmico .....	37
3.4.	Ventilación .....	41
4.	Aspectos generales de la institución educativa.....	47
5.	Análisis de energía eléctrica, recursos hídricos e interacción infraestructura-usuario	51

5.1.	Energía eléctrica.....	51
5.1.1.	Análisis de consumo eléctrico .....	51
5.1.2.	Propuesta sostenible de consumo eléctrico.....	55
5.2.	Recursos hídricos .....	66
5.2.1.	Análisis de consumo hídrico.....	66
5.2.2.	Propuesta sostenible de consumo hídrico .....	74
5.3.	Interacción infraestructura-usuario .....	83
5.3.1.	Análisis de ventilación y confort térmico .....	83
5.3.2.	Propuesta sostenible de ventilación y confort térmico .....	97
6.	Discusión y conclusiones.....	99
6.1.	Discusión de resultados .....	99
6.2.	Conclusiones .....	101
7.	Referencias .....	104
8.	Anexos.....	112
Anexo A.	Energía eléctrica .....	112
Anexo B.	Recurso hídrico .....	118
Anexo C.	Interacción infraestructura-usuario .....	122
Anexo D.	Planos .....	127

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa mundial de energía solar en la corteza terrestre. ....	9
Figura 2. Esquema de implementación de paneles fotovoltaicos a la red de consumo eléctrico .....	11
Figura 3. Ejemplo de reciclaje físico con corto tiempo de reacción. ....	20
Figura 4. Ejemplo de reciclaje con tratamiento físico y químico. ....	21
Figura 5. Metodología de trabajo para electricidad. ....	34
Figura 6. Metodología de trabajo para recursos hídricos. ....	36
Figura 7. Factores de ángulos usados para una persona y una superficie vertical. ....	39
Figura 8. Factores de ángulos usados para una persona y una superficie horizontal. ....	39
Figura 9. Metodología de trabajo para confort térmico. ....	41
Figura 10. Tipos de ventilación natural según configuración de ventanas: ventilación de un solo lado, ventilación cruzada y ventilación tipo chimenea. ....	43
Figura 11. Tipos de ventilación natural en aula según configuración de puertas y ventanas: ventilación cruzada y ventilación de un solo lado. ....	43
Figura 12. Metodología de trabajo para Ventilación .....	46
Figura 13. Evolución estructural del colegio Salesiano en el año 1910, 1939 y 2017. ....	47
Figura 14. Ubicación del colegio Salesiano en Breña. ....	48
Figura 15. Área delimitada de estudio: sector de secundaria. ....	48
Figura 16. Vista externa e interna de un aula típica. ....	49
Figura 17. Dos de los pabellones de aulas. ....	49
Figura 18. Baños de secundaria. ....	50

Figura 19. Vista en planta del pabellón de primaria (izquierda) y un pabellón representativo de secundaria (derecha). .....	51
Figura 20. Consumo de energía eléctrica para el pabellón de primaria en el año 2019. ....	52
Figura 21. Sectorización del área de estudio. ....	53
Figura 22. Área disponible para la implementación de sistemas fotovoltaicos de 600 m <sup>2</sup> (Sector 2).....	55
Figura 23. Irradiación diaria en la institución educativa.....	58
Figura 24. Sistema de sujeción para paneles verticales .....	62
Figura 25. Controlador de Carga SmartSolar de 100 A de corriente.....	62
Figura 26. Inversor Fronius monofásico con rangos de potencia entre 3.8 y 15 kW. ....	63
Figura 27. Vista en planta de los 38 paneles y 32 baterías en el pabellón 2 de secundaria. ....	65
Figura 28. Detalle de soportes del panel con inclinación de 15°......	65
Figura 29. Consumo hídrico en el 2019.....	67
Figura 30. Ubicación de los baños, lavaderos y bebederos. ....	67
Figura 31. Lavamanos y urinarios del Baño 01. ....	68
Figura 32. Lavamanos (a) y urinarios del Baño 02 (b). ....	68
Figura 33. Bebederos (a), lavadero 01 (b) y lavadero 02 (c, d). ....	69
Figura 34. Ubicación de áreas verdes. ....	70
Figura 35. Consumo hídrico de los aparatos sanitarios. ....	73
Figura 36. Esquema de ubicación del humedal artificial. ....	75
Figura 37. Localización de la PTAG. ....	77
Figura 38. Diagrama de flujo de la PTAG. ....	77

Figura 39. Urinario seco Mojave – Helvex.....	81
Figura 40. Funcionamiento del sistema TDS2.....	81
Figura 41. Ubicación del aula típica utilizada para el análisis de ventilación. ....	83
Figura 42. Vista interior del aula donde se realizan las mediciones.....	83
Figura 43. Vista exterior de ventanas de 1.15 x 0.6 m adyacentes al lado de la puerta de 1.1 x 2.15 m. ....	85
Figura 44. Vista interior de puerta y ventanas de 1.15 x 0.6 m. ....	85
Figura 45. Vista interior de ventanas de 1.15 x 0.6 m adyacentes al lado de la puerta. ....	86
Figura 46. Vista interior de ventanas tipo 1 de 0.55 x 1.15 m y tipo 2 de 0.55 x 0.75 m opuestas al lado de la puerta. ....	86
Figura 47. Colocación del medidor de CO <sub>2</sub> en el centro del salón a una altura aproximada de 1 metro. ....	87
Figura 48. Disposición del hielo seco en la nevera para la obtención del CO <sub>2</sub> . ....	88
Figura 49. Descomposición del hielo seco para la emisión de CO <sub>2</sub> . ....	88
Figura 50. Concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 1).....	90
Figura 51. Modelado 3D del aula para el cálculo de la temperatura radiante media.....	94
Figura 52. Gráfico psicrométrico (temperatura del aire).....	95
Figura 53. Gráfico psicrométrico (temperatura operativa).....	96
Figura 54. Gráfico de humedad relativa vs. temperatura del aire.....	96
Figura 55. Distribución de carpetas en el año 2019.....	98
Figura 56. Distribución de carpetas propuesta.....	98

## Índice de Tablas

Tabla 1. Características y materiales de los paneles fotovoltaicos. ....	13
Tabla 2. Características de aguas grises según su uso. ....	19
Tabla 3. Tipos de uso de las aguas grises .....	19
Tabla 4. Principales efectos de contaminantes del interior según concentraciones y tiempo de exposición. ....	25
Tabla 5. ACH objetivo en ambientes cerrados en estándares nacionales e internacionales ....	26
Tabla 6. Tasas de ventilación referenciales para el cálculo del ACH objetivo.....	27
Tabla 7. Soluciones ante una tasa de ventilación insuficiente. ....	28
Tabla 8. Coeficientes para el cálculo del factor de ángulo .....	38
Tabla 9. Listado de medidores de la institución educativa .....	51
Tabla 10. Consumo de energía eléctrica para el pabellón de primaria en el año 2019.....	52
Tabla 11. Cálculo de ratio de consumo eléctrico para la institución educativa. ....	53
Tabla 12. Cálculo de área techada para la sección de estudio. ....	54
Tabla 13. Valores de irradiación mensual en la institución educativa.....	56
Tabla 14. Valores de irradiación por día en la institución educativa.....	57
Tabla 15. Valores de diseño del panel Jinko Solar Cheetah .....	59
Tabla 16. Consumo mensual de agua. ....	66
Tabla 17. Aparatos sanitarios del Baño 01 .....	68
Tabla 18. Aparatos sanitarios del Baño 02 .....	68
Tabla 19. Aparatos sanitarios exteriores .....	69

Tabla 20. Áreas verdes.....	70
Tabla 21. Cantidad de usuarios del colegio Salesiano.....	71
Tabla 22. Dotación de agua para locales institucionales .....	71
Tabla 23. Consumo estimado de aparatos sanitarios según método de Hunter .....	72
Tabla 24. Porcentaje de consumo hídrico de aparatos sanitarios.....	73
Tabla 25. Consumo diario de aparatos sanitarios .....	78
Tabla 26. Consumos diarios normales y con sistema de tratamiento de aguas grises. ....	80
Tabla 27. Consumo diario normal existente y propuesto con PTAG y urinarios secos .....	82
Tabla 28. Concentración exterior de CO <sub>2</sub> para medición de ACH.....	87
Tabla 29. Concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 1) .....	89
Tabla 30. Parámetros para el cálculo de ACH real.....	91
Tabla 31. Renovación de aire por hora (ACH) real .....	91
Tabla 32. Temperaturas superficiales promedio.....	92
Tabla 33. Coeficientes para el cálculo de la TRM.....	93
Tabla 34. Factores de ángulos de las superficies del aula.....	93

## Índice de Anexos

Anexo 1. Recibo de luz del pabellón de primaria.....	112
Anexo 2. Ficha técnica de módulo fotovoltaico Jinko Solar Cheetah.....	114
Anexo 3. Ficha técnica de batería RITAR 12V-260Ah DG GEL .....	116
Anexo 4. Mapa de la energía solar incidente diaria promedio anual.....	117
Anexo 5. Recibos de agua del año 2019.....	120
Anexo 6. Recibo de agua de enero 2020, con la evolución del consumo de agua del 2019..	121
Anexo 7. Tabal de concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 2).....	122
Anexo 8. Gráfico de concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 2).....	122
Anexo 9. Tabla de concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 3).....	122
Anexo 10. Gráfico de concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 3).....	123
Anexo 11. Tabla de concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 4).....	124
Anexo 12. Gráfico de concentración de CO <sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 4).....	124
Anexo 13. Registros de temperatura, velocidad del aire y humedad.....	125
Anexo 14. Registro de temperaturas superficiales.....	126
Anexo 15. Plano de distribución de planta de tratamiento de aguas grises .....	127
Anexo 16. Plano de distribución de paneles solares .....	128

## **1. Introducción**

### **1.1. Presentación del problema**

Desde el inicio de la Revolución Industrial, las actividades producidas por el hombre han adquirido una importancia determinante en la modificación de la superficie terrestre y en la explotación de sus recursos (Hay, 2013). Desde entonces, pocos investigadores se habían preocupado por evaluar y mitigar el impacto de las acciones antropogénicas en el planeta tierra. Sin embargo, este curso cambió a mediados de la década del 70 cuando la comunidad científica advirtió que, para inicios del siglo XXI, el exponencial crecimiento del contenido de dióxido de carbono en la atmósfera contribuiría a un aumento de la temperatura media en proporciones nunca vistas (Broecker, 1975). A este fenómeno descrito se le nombró, posteriormente, con el nombre de calentamiento global.

De manera gradual, los países tomaron conciencia del calentamiento global y mediante la acción de instituciones gubernamentales y no gubernamentales se ha buscado establecer medidas que permitan atenuar los efectos del cambio climático. En este contexto, la Vigésima Primera Conferencia de las Partes (COP21), celebrada en Francia en el año 2015, desembocó en la firma del acuerdo de París. De esta manera, 55 países incluyendo el Perú, se comprometieron a mantener el aumento de la temperatura mundial en el siglo XXI por debajo del intervalo entre 1.5 y 2 grados centígrados de cara al año 2100. Además, acordaron mantener corrientes de financiación coherentes con un nivel bajo de emisiones de gases de efecto invernadero (United Nations Climate Change [UNFCCC], 2021).

El acuerdo de París contribuye a cumplir dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsados por la Organización de Naciones Unidas (ONU) en 2015 para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad. Dentro de los 17 objetivos, dos se compatibilizan con la acción frente al calentamiento global: el objetivo 7, que propone el uso de energía asequible y no contaminante; y el objetivo 13, que impulsa a tomar acciones por el cambio climático (Naciones Unidas, 2021). Cada objetivo, en especial los anteriormente mencionados, cuentan con submetas que invitan a participar a los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil. En este sentido, se destaca que hacia el 2030, el Estado peruano debe promover la ampliación de la infraestructura y mejorar la tecnología para brindar servicios energéticos sostenibles (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018).

Si bien en las últimas décadas han surgido diversas certificaciones ambientales para edificaciones, una de las que más popularidad ha alcanzado en Latinoamérica es la certificación Liderazgo en Diseño Energético y Medioambiental (LEED), que fue desarrollada por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (USGBC) en 1993. Esta permite evaluar edificaciones bajo distintos criterios como la eficiencia energética, aprovechamiento del agua, calidad en el ambiente interior y sostenibilidad de recursos involucrados en la vida útil de una construcción (Carranza, 2012).

Desde el 2010, se empezaron a certificar las primeras edificaciones LEED en el Perú, señal de un inicio en la búsqueda de la sostenibilidad. En el 2015, el gobierno del Perú aprobó el Código Técnico de Construcción Sostenible (CTCS), este fue actualizado por última vez en el año 2021 con medidas para incrementar la eficiencia energética e hídrica, mejorar la calidad ambiental, entre otros. De esta forma, en la última década se han desarrollado proyectos de infraestructura que cumplen con los estándares o principios sostenibles en varias regiones del país.

Por lo general, los principios de sostenibilidad son aplicados a edificios de oficinas y viviendas multifamiliares, pues son ámbitos atractivos para los inversores por el valor agregado que le brinda a las edificaciones, más aún si obtiene alguna de las certificaciones ambientales antes descritas. Si hacemos este análisis en edificios con distintos fines, como el educativo, son menos evidentes las razones por las cuales se podría aplicar a estas certificaciones. Actualmente, son menos de cinco universidades que cuentan con edificaciones certificadas como LEED, todas pertenecientes al régimen privado. Análogamente, solo existen dos instituciones educativas escolares en el Perú con certificación LEED, estas son privadas y están ubicadas en Lima (US Green Building Council [USGBC], 2021). Sin embargo, los colegios deberían ser los más interesados en poseer una infraestructura sostenible debido a que tienen una mayor densidad de ocupantes por área en comparación con las oficinas y viviendas, esto acorde a la normativa de arquitectura del Perú. Por ejemplo, el número de ocupantes se calcula a razón de una persona cada 1.5 m<sup>2</sup> en las salas de 9.5 m<sup>2</sup> en oficinas y 20 m<sup>2</sup> en viviendas, acorde al Reglamento Nacional de Edificaciones (2023). Además, los estudiantes pasan el 12% de su tiempo en aulas de colegio, por lo que es la edificación donde más recurren después de sus propias casas (Elkhapery, Kianmehr, & Doczy, 2021). En consecuencia, las escuelas son lugares que involucran una mayor cantidad de usuarios y consumo de recursos.

A raíz de ello, surge la necesidad de la construcción de colegios sostenibles bajo estándares de certificaciones internacionales, principalmente de LEED. Aunque los estándares de dicha certificación abarcan diversos aspectos más allá de la eficiencia energética como ubicación, transporte, materiales, entre otros; sus parámetros de eficiencia y confort son una guía apropiada para la mayoría de las edificaciones. No obstante, en la actualidad se cuenta con una gran oferta de instituciones educativas escolares en el Perú que, en su gran mayoría, no tienen un interés particular por el cuidado ambiental ni la sostenibilidad de sus instalaciones.

En adición, el costo de la reconstrucción total de una escuela es superior que un plan de mejora y adaptaciones a las edificaciones existentes. Por tanto, considerando la brecha de infraestructura entre los colegios públicos y privados del país, es más factible proponer y aplicar las adaptaciones en las instituciones privadas dado el mayor presupuesto que estas manejan y la flexibilidad que poseen para realizar cambios en sus instalaciones.

En consecuencia, para la presente tesis se pretende analizar los parámetros ambientales de una institución educativa privada del Perú ubicada en Lima. Dichos parámetros provienen de las certificaciones ambientales, principalmente de LEED - Operación y Mantenimiento. Esto con el objetivo de analizar el impacto ambiental, el consumo de recursos energéticos e hídricos, así como la interacción de la infraestructura con los usuarios. De esta manera, se podrá establecer ciertos parámetros de mejora para una posible remodelación o adaptación de la edificación bajo estándares ambientales en el Perú.

## **1.2. Justificación**

Las instituciones educativas en el Perú no suelen priorizar los parámetros ambientales en su construcción, pese a ser edificaciones que poseen una alta densidad ocupacional; y, por tanto, cuentan con una alta demanda de recursos energéticos e hídricos, por lo que presentan un alto grado de contaminación. Debido a ello, es relevante realizar cambios y adaptar estas edificaciones existentes para un mejor desempeño ambiental.

Esta investigación es conveniente porque pretende demostrar, mediante un caso práctico, que se puede mejorar el desempeño energético e hídrico, así como el confort que experimentan los ocupantes de una institución educativa. Es así que, la metodología y soluciones planteadas pueden usarse de referencia para aplicarse en edificaciones similares a la analizada.

### **1.3. Preguntas de investigación**

Con relación a la presentación del problema y la justificación, se plantean las siguientes interrogantes que permiten establecer la hoja de ruta de la investigación.

#### ***Pregunta general:***

Con base a un análisis de sostenibilidad, ¿Qué medidas se pueden implementar en una institución educativa privada en Lima para mejorar su desempeño bajo estándares ambientales de edificaciones?

#### ***Preguntas específicas:***

- ¿Cuál es el desempeño de la institución educativa privada en cuanto al consumo energético e hídrico?
- ¿Cómo se relaciona la infraestructura con el usuario en términos de confort?
- Con base a estudios de casos similares, ¿Qué medidas se pueden implementar para lograr un desempeño energético e hídrico eficiente?
- En base a estudios especializados, ¿Qué medidas se pueden implementar para mejorar el confort térmico y reducir los contagios de enfermedades de transmisión aérea?

### **1.4. Objetivos**

#### ***Objetivo general:***

Analizar la sostenibilidad de una institución educativa privada en base a estándares ambientales de edificaciones y proponer medidas para mejorar su desempeño sostenible.

#### ***Objetivos específicos:***

- Evaluar la demanda de recursos energéticos e hídricos.
- Evaluar la interacción que genera la infraestructura con el usuario en relación con el confort.
- Plantear medidas para mejorar el desempeño energético e hídrico.

- Plantear medidas para mejorar el confort térmico y disminuir los contagios de enfermedades de transmisión aérea.

### **1.5. Hipótesis**

En base a los objetivos descritos, se plantea partir de las siguientes hipótesis que serán reafirmadas o descartadas a lo largo de la investigación.

#### ***Hipótesis general:***

- Para lograr el desempeño sostenible de una institución educativa privada se debe emplear energía renovable, agua reutilizada y ventilación natural.

#### ***Hipótesis específicas:***

- El consumo de agua y uso de energía eléctrica son elevados y no son optimizados de manera eficiente.
- La relación de la infraestructura con el usuario no es óptima porque no brinda el confort adecuado que permita un mejor desempeño de los usuarios.
- Medidas como la implementación de paneles solares, sistema de tratamiento de aguas residuales reducen el consumo energético e hídrico.
- Para mejorar el confort térmico y reducir contagios de enfermedades de transmisión aérea, se requiere implementar un sistema de ventilación cruzada natural.

## **2. Revisión de la literatura**

En esta sección de la investigación, se abarca un repaso de conceptos indispensables para el análisis de sostenibilidad de una institución educativa en Lima. Se parte de un reconocimiento de las principales certificaciones para edificaciones sostenibles, de tal manera que se pueda identificar los aspectos medibles más resaltantes o que posean mayor frecuencia. En añadidura, se profundiza en los temas identificados como la energía eléctrica, el tratamiento de los recursos hídricos y el confort térmico, con un especial énfasis en la ventilación. Por cada acápite se redacta el contexto de los aspectos relacionados a la mejor manera de cuantificar los recursos en mención y la normativa vigente que puede servir como guía para la proposición de mejoras.

### **2.1. Certificaciones de edificaciones sostenibles**

En décadas recientes, el sector construcción ha causado gran impacto ambiental. Esta problemática se debe a que los materiales empleados se obtienen de la corteza terrestre, los cuales, aparte de no ser renovables, generan destrucción de suelos, cambios topográficos y contaminación. Además, en el proceso constructivo y en la fase de operación de las edificaciones, estas generan emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, deposición de residuos y un alto consumo de energía. Sin embargo, en los últimos 30 años se han tomado iniciativas, acuerdos y medidas para mejorar la gestión ambiental en las construcciones. Es así como se crean diversas certificaciones de edificaciones sostenibles, con el objetivo de definir a un edificio sostenible en el ámbito ambiental, social y económico. Más aún, servirían de herramienta que contribuye a la continua evolución del sector construcción hacia la sostenibilidad.

El desarrollo sostenible es definido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, como el compromiso y la habilidad de conseguir las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Por lo general, la sostenibilidad abarca tres dimensiones: la dimensión social, la económica y la ambiental, las cuales permiten lograr un objetivo de manera íntegra y sin perjudicar el entorno donde este objetivo se propicia (1987). En este contexto, se puede entender a una construcción sostenible como aquella que se desenvuelve de manera óptima en los tres aspectos

mencionados con anterioridad. Además, utiliza materiales amigables con el ambiente y educa a sus ocupantes sobre la conservación del medio ambiente (Olson y Kellum, 2003).

A continuación, se detallarán las principales certificaciones internacionales de edificaciones sostenibles:

### ***LEED:***

Es una de las que más popularidad ha alcanzado en Latinoamérica. Es la certificación Liderazgo en Diseño Energético y Medioambiental, conocida por sus siglas en inglés como certificación LEED. Esta fue desarrollada en 1993 por parte del Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos, USGBC por sus siglas en inglés, y permite evaluar edificaciones bajo distintos criterios como la eficiencia energética, aprovechamiento del agua, calidad en el ambiente interior y sostenibilidad de recursos involucrados en la vida útil de una construcción (Carranza, 2012). Entonces, se puede asignar cierto puntaje que catalogue el nivel de sostenibilidad de determinada construcción. Así, por ejemplo, de obtener entre 40 y 49 puntos, el edificio queda certificado; si se consiguen entre 50 y 59 puntos, se obtiene el certificado de plata; asimismo, si se alcanza entre 60 y 70 puntos, se consigue el certificado de oro y por encima de los 80 puntos se obtiene el certificado platino (United States Green Building Council [USGBC], 2021).

Según la página web de la USGBC, hasta ahora existen 222 proyectos con certificación LEED en el Perú (2021). Esto representa un gran avance para el país ya que demuestra un interés en promover el cuidado ambiental en el sector construcción.

### ***EDGE:***

La corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo Banco Mundial, creó la certificación Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias (EDGE) para promover la certificación ecológica, sobre todo para los países emergentes. La filosofía de esta innovación se basa en establecer un nexo entre la construcción que respeta al ambiente, que sea rentable y que tenga una performance energética eficiente (USGBC, 2021). Dentro de su sistema de clasificación, se destacan 3 niveles de certificación. El primer nivel engloba a las edificaciones que, mediante el uso de la aplicación EDGE, demuestren que el proyecto favorezca a como mínimo el 20% de ahorro en las categorías de energía, agua y energía incorporada en los

materiales. Luego, el segundo nivel es similar al primero, con la diferencia de que el ahorro en las categorías mencionadas sea del orden de 40% como mínimo. Finalmente, el nivel 3, se relaciona con las edificaciones que logren obtener un nivel cero de emisiones de carbono y que; por tanto, su consumo de energía se base en un 100% de energías renovables. Cabe resaltar que, la certificación dispone de una plataforma elaborada por expertos que permite el cálculo de la ecología en base a una gran nube de datos, la cual contiene desde datos climáticos hasta patrones de consumo.

Desde su creación en 2014, EDGE ha recibido distintas e importantes financiaciones de parte del Gobierno del Reino Unido, Austria, Canadá, Dinamarca, entre otros. En la actualidad este estándar internacional tiene presencia en aproximadamente 170 países, incluyendo el Perú. En este último, según su página web (2021), cuenta con 2 024 unidades certificadas equivalentes a 102 172 m<sup>2</sup>. Destacan en este aspecto el almacén Latam Parque Logístico Lima Sur y los condominios de viviendas Parque Club y REBEL.

### ***BREEAM***

Esta certificación es gestionada por el Establecimiento de Investigación de Edificios, conocida como BRE por sus siglas en inglés, el cual fue fundado en 1921 (BREEAM, 2023). Asimismo, esta institución es oriunda del Reino Unido y posee un carácter independiente y sin ánimo de lucro. Fue en su país originario donde impulsó desde 1990 la certificación en mención que representa por sus siglas en inglés la Metodología de Evaluación Ambiental del BRE.

A pesar de la condición del BRE, esta certificación es de carácter privado y voluntario. Además, pondera 10 aspectos, los cuales comprenden salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos entre otros. Cada categoría recibe una puntuación que va desde 1 a 5 estrellas. En adición se aplica un factor de ponderación ambiental definido según la importancia de cada aspecto. En esencia, las edificaciones que logran obtener esta certificación ostentan una puntuación global que va desde 1 (certificado) a 6 estrellas (sobresaliente). BREEAM tiene presencia en 89 países y sobre todo en los que forman parte de la vertiente europea (BREEAM, 2021).

Mundialmente existen un gran número de certificaciones sostenibles como Living Building Challenge (LBC), Green Globes, Valoración de Referencia de Edificios (VERDE) y DGBNC. Sin embargo, las tres certificaciones sostenibles en las que se ha profundizado son

las que poseen mayor acogida en Sudamérica y en el Perú. Si bien cada una presenta un método de evaluación distinto, todas concuerdan en la implementación de energías renovables para fomentar el ahorro energético e hídrico. Asimismo, la certificación LEED menciona índices de calidad interior que comprenden el confort térmico con un especial énfasis en la ventilación. Por este motivo se considera pertinente que las soluciones planteadas para la institución educativa refuercen estos cuatro rubros.

## 2.2. Energía solar y paneles fotovoltaicos

La energía renovable se entiende como aquella que se obtiene de fuentes naturales, las cuales son virtualmente inagotables debido a la considerable energía contenida o a su capacidad de regeneración mediante procesos naturales (Spiegeler y Cifuentes, 2016). Algunos ejemplos de esta energía son la solar, la hidráulica, la eólica, la marítima y la geotérmica. Debido a los fines de la presente investigación, se ahondará en la energía solar.

En la estrella del sistema solar, se alcanzan temperaturas superficiales por encima de 6000 °C producto del proceso de fusión termonuclear que experimenta el hidrógeno para transformarse en helio. Debido esta reacción, se induce un flujo radioactivo capaz de viajar aproximadamente 150 millones de kilómetros hacia la tierra (Ros, 2004). Para el aprovechamiento de la energía en mención, se ha estudiado los valores aproximados de la energía solar que se almacenan en la corteza terrestre (ver Figura 1). En este sentido, surge el concepto de irradiancia, el cual abarca el flujo de energía por unidad de área y posee como unidad típica el  $W/m^2$ . Todo este avance y desarrollo científico ha sido posible debido a los modelos matemáticos que simulan los movimientos del astro de manera muy precisa.

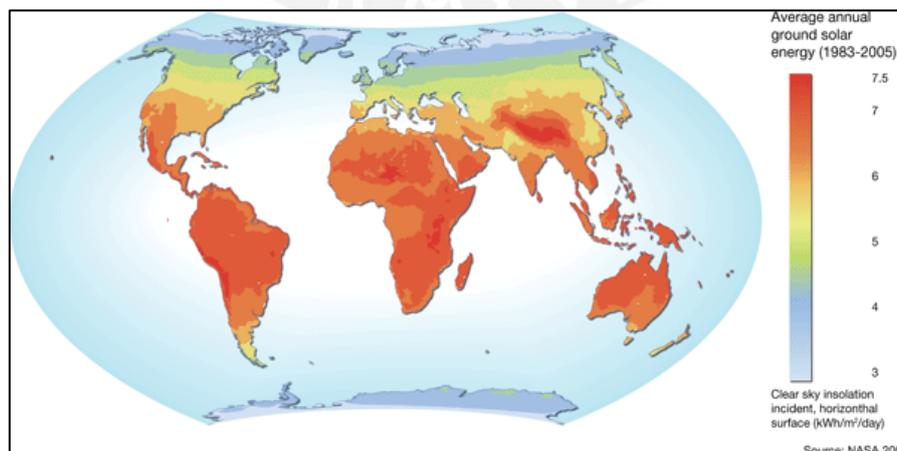


Figura 1. Mapa mundial de energía solar en la corteza terrestre.

Tomado de US. Energy Information Administration [EIA], 2021.

Una vez en tierra, la energía solar se obtiene mediante la captación de radiaciones electromagnéticas provenientes del cuerpo celeste en mención. Este fenómeno desencadena reacciones químicas o produce electricidad. Existen dos sistemas que facilitan el aprovechamiento de este tipo de energía: los pasivos y los activos. Los primeros tienen que ver con diseños bioclimáticos capaces de dispersar luz y de almacenar calor sin uso de instrumentación; mientras que, los segundos utilizan dispositivos para captar la radiación como los colectores solares térmicos o los paneles fotovoltaicos (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [Osinergmin], 2019). Se debe considerar que, la implementación de técnicas de arquitectura busca almacenar calor durante las horas de sol en los días de invierno para reemplazar métodos tradicionales de calefacción. Sin embargo, la implementación de instrumentación en las edificaciones suele ser más cara que tomar en cuenta un diseño bioclimático. No obstante, los sistemas activos pueden incluirse en construcciones en su etapa de operación y contribuir con el desempeño energético de manera directa.

Los colectores o captadores solares están relacionados con la tecnología solar térmica. Estos aparatos recogen la energía emitida por el sol y la convierten en calor, haciéndola fluir para su posterior almacenamiento y distribución. Es usual ver estos dispositivos en la parte alta de edificios residenciales; ya que, contribuyen a calentar el agua para consumo doméstico.

Es más frecuente que los colectores solares funcionen en las centrales solares térmicas, las cuales utilizan la radiación solar para calentar un fluido que impulsa un proceso termodinámico. Es así que, gracias a la producción de vapor, se logra dar movimiento a una turbina conectada a un generador para producir energía eléctrica. En la actualidad, existen 4 tipos de centrales solares térmicas: la torre central, el disco Stirling, sistemas de concentración lineal y los canales de cilindros parabólicos (Osinergmin, 2019).

Los paneles fotovoltaicos se asocian a los sistemas del mismo nombre. Esta clase de sistema hace mención al conjunto del componente mecánico, eléctrico y electrónico que facilita convertir la radiación solar en energía eléctrica (conversión directa).

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser aislados o conectados a la red. Los primeros requieren de un sistema adicional de acumulación de energía. Es así que, lo ideal es que se configuren para permitir la carga y recarga de las baterías de acumulación durante las horas de insolación. Como es lógico, en las horas diurnas se almacena la energía para usarse en la tarde

y en la noche, cuando la demanda de energía es mayor. Por otra parte, los sistemas conectados en red no necesitan de un sistema de acumulación. Durante las horas de insolación la energía se transfiere a la red eléctrica y cuando se presenta escasez de radiación, la carga es provista por la red. Es así que, se constituye un sistema de alta fiabilidad; ya que, en caso de posible falla, se cuenta con alimentación energética alternativa (Escobedo, 2018).

Se debe de diferenciar el hecho de que, al convertir directamente la radiación en electricidad se involucran menos pérdidas que en los sistemas de energía térmica, los cuales suelen ser complejos e incluir una serie de procesos como los vistos con anterioridad. No obstante, es importante conocer que la energía fotovoltaica se origina como corriente directa y es imprescindible el uso de un inversor el cual pueda transformar esta energía primigenia en corriente alterna, que es con la que funcionan la mayoría de los aparatos cotidianos. En la Figura 2 se muestra un esquema del proceso mediante el cual los paneles fotovoltaicos (granja solar) se integran a la red de consumo eléctrico.

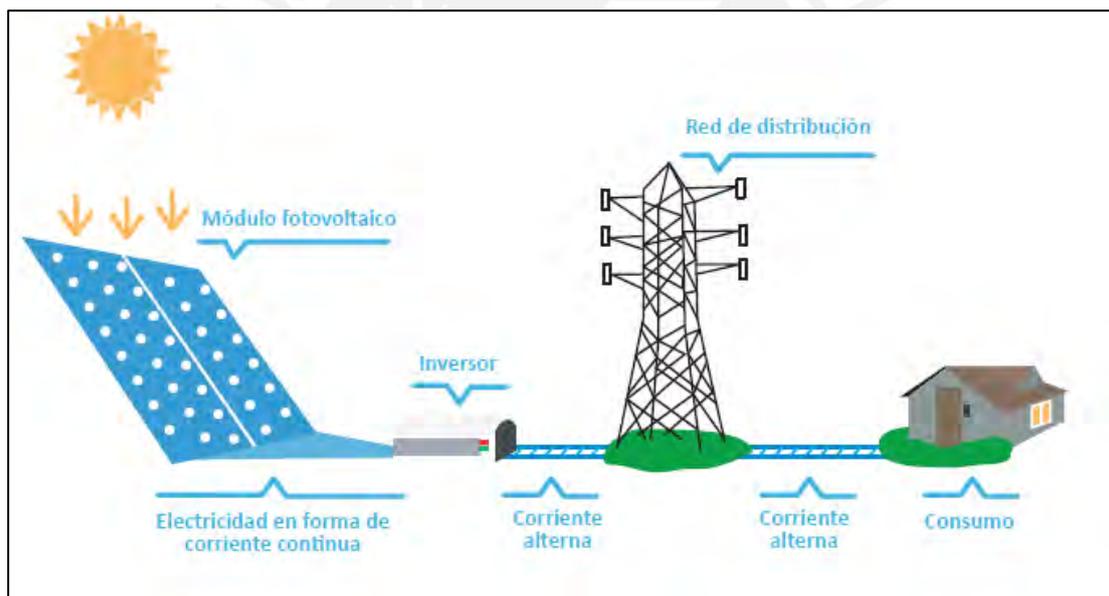


Figura 2. Esquema de implementación de paneles fotovoltaicos a la red de consumo eléctrico  
Fuente: Osinergmin, 2019.

Por lo general, los paneles fotovoltaicos están constituidos por múltiples células dispuestas en paralelo y/o en serie. Si están conectadas en serie el voltaje es aditivo; mientras que, una conexión en paralelo propicia el incremento de corriente. Las células fotovoltaicas representan la unión de dos delgadas capas compuestas de semiconductores con distintas características o dopaje. Por lo que, se suele usar un semiconductor positivo tipo “p”, el cual

posee un déficit de electrones; y un semiconductor negativo tipo “n”, el cual posee un exceso de electrones (Smets et al., 2015).

Las células fotovoltaicas, con frecuencia están hechas de un material semiconductor como el silicio incrustado con trazas de otros elementos como el boro o fósforo para definir su comportamiento químico. Este tipo de materiales se pueden comportar como conductores que permiten el flujo eléctrico o como aislantes que bloquean el paso de corriente. De esta manera, ante la presencia de radiación se crea un flujo de electrones; pues el semiconductor se excita creando un voltaje interno, que, ante la presencia de una resistencia, produce corriente. En otras palabras, las pequeñas partículas de la luz conocidas como fotones, al entrar en contacto con las células fotovoltaicas, transfieren su energía a los electrones que comienzan a fluir a través de las dos capas. Este proceso se conoce como efecto fotovoltaico.

Al pasar a través de la atmósfera, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [IDEAM] señala que la radiación solar sufre pérdidas por reflexión (Debido a las nubes, dispersión (Debido a aerosoles) y absorción (Por moléculas de gases y partículas en suspensión). De esta cantidad remanente, solo un porcentaje llega al circuito de distribución eléctrica debido a las pérdidas internas que se dan dentro de la célula. Es por lo que, Valdiviezo (2014) considera que las distintas células fotovoltaicas se deben escoger en función a su cristalinidad, coeficiente de absorción, costo y complejidad de fabricación. Asimismo, el material usado para la fabricación de estos elementos influirá de manera directa en su eficiencia, como se aprecia en la Tabla 1. A pesar de los diversos elementos empleados para la fabricación de estos dispositivos, la mayoría suelen estar fabricados a partir del silicio cristalizado. Si bien en el campo de esta tecnología cada vez se hacen más innovaciones al momento de fabricar los paneles, todos los materiales sin excepción tienen un límite de eficiencia que regula la capacidad de capturar energía.

Tabla 1. Características y materiales de los paneles fotovoltaicos.

Generación	Material	Eficiencia de laboratorio (%)	Características
Primera	Unicristalino	24.7	- Conformados por silicio
	Multicristalino	20.3	- Alto contenido de energía - Poseen alto costo de fabricación
Segunda	CIGS <sup>1</sup>	20	- Conformados por películas delgadas
	Cdte <sup>2</sup>	17.3	- Poseen menor costo de fabricación
	a-Si <sup>3</sup>	10.1	- Tienen un menor tiempo de uso
	Orgánico	11.1	
Tercera	GaInP <sup>4</sup> /GaInAs <sup>5</sup> /Ge <sup>6</sup>	44	- Tecnología cara y en proceso de mejora
	Material en desarrollo	40-60	

Nota: [1] Cobre, iridio, galio y selenio [2] Telururo de cadmio [3] Silicio amorfo [4] Fosforo de indio y galio [5] Arseniuro de indio y galio [6] Germanio. Fuente: Clement, Stanford University, como se citó en Kahhat, 2020.

Un concepto que sirve para cuantificar la importancia de un tipo de energía, en términos de su aporte a la red, es la capacidad instalada. Esta se refiere al máximo teórico de potencia que puede suministrar la infraestructura de producción de energía a la red de distribución eléctrica. Esta variable se suele medir en Megawatts (MW) o Gigawatts (GW), dependiendo de la escala (Escuela de Ingeniería de Antioquía [EIA], 2021). Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (2020), las fuentes de energía renovables se han afianzado en el mundo a la matriz de generación eléctrica; ya que, en el año 2019, se alcanzó una capacidad instalada de energía renovable de 2 537 GW, mayor en 176 GW a la registrada en el año 2018.

En Perú, la capacidad instalada referida a las energías renovables se ha incrementado gradualmente con el paso de los años, de 3 516 MW en 2010, a 6 640 MW en el año 2019, que es aproximadamente el doble. No obstante, para este último año descrito, la energía eólica y solar representaron un valor entre 2% y 3% de la totalidad de potencia instalada en territorio nacional (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2019). Es por este motivo que en el país se debe implementar y fomentar el uso de energías renovables distintas a la hidroeléctrica, que en la actualidad produce alrededor del 58% de la energía eléctrica a nivel nacional (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2022). A parte de esto, el Perú al

encontrarse cerca del Ecuador, es irradiado por la luz solar la mayor parte del año y posee valores en la costa entre 5 y 6 kWh/m<sup>2</sup> como se puede apreciar en el mapa contenido en el Atlas Solar del Perú (Ver Anexo 4) elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

En este contexto han surgido diversas normativas que suelen regularizar y estandarizar distintos procesos relacionados con la energía solar y la instalación de paneles fotovoltaicos. Una de las organizaciones líderes en lo anteriormente descrito es el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), el cual mediante su estándar IEEE 1547 aborda de manera concreta las diversas especificaciones técnicas al momento de instalar paneles fotovoltaicos. De la misma manera, el estándar IEEE 1262 aborda diversas recomendaciones que garantizan la optimización de los paneles solares.

En el Perú, en el año 2006 se aprobó la norma EM 080 que refiere a las instalaciones con energía solar. Asimismo, el Ministerio de Energía y Minas publicó la resolución DGE titulada: “Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y su Componentes para Electrificación Rural” (2015). En su mayoría, estos estándares son insuficientes y se deben actualizar con carácter de urgencia para hacer frente al contexto mundial.

### **2.3. El agua como recurso hídrico**

#### ***Problemática del agua***

La demanda mundial de agua ha aumentado alrededor de 1% anual desde 1980, a causa de diversos factores como el aumento de la población, desarrollo socioeconómico y cambio en los modelos de consumo. Si el ritmo se mantiene hasta el 2050, la demanda mundial de agua incrementará del 20 al 30% por encima del nivel actual. Más de 2 000 millones de personas viven en países que sufren una fuerte escasez de agua. Entonces, estos niveles aumentarán conforme crezca la demanda y se intensifiquen los efectos del cambio climático (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO, 2019).

El problema de la escasez de agua no se debe necesariamente a la ausencia física de esta, sino a la deficiente gestión continua y generalizada de los recursos hídricos (Padrón y Cantú, 2009). Dado que el agua es el recurso natural más importante del planeta, es necesario tomar medidas para frenar el desabastecimiento causado por el crecimiento constante de la población, industrialización y producción. La cuestión es que existe suficiente agua para satisfacer las

necesidades crecientes del mundo, pero se debe cambiar radicalmente su uso y manejo. El Banco Mundial expresa en su reporte anual del 2020 que, si el manejo de los recursos hídricos se mantiene igual, se estima que para el 2030 se generará un déficit de 40% de agua en el mundo (2030 WRG, 2020).

Ante esta problemática, los jefes de Estado de diversos países, mediante organizaciones como las Naciones Unidas, se reúnen con el compromiso de promover un desarrollo sostenible para las generaciones presentes y futuras. La sostenibilidad abarca el ámbito económico, social y ambiental, siendo este último el rubro que involucra el manejo del agua. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río +20), llevada a cabo en 2012, se determinaron una serie de objetivos descritos en el documento “El futuro que queremos”. En dicho escrito, se reconoce al agua como un elemento básico del desarrollo sostenible y, por tanto, la necesidad de tomar medidas frente a su contaminación. Para lograrlo, plantean aumentar su calidad mediante el tratamiento de aguas residuales, uso eficiente de los recursos hídricos y reducción de pérdidas (Naciones Unidas, 2012).

Además, en el 2015 se concreta el acuerdo de París, el cual contribuye a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsados por la Organización de Naciones Unidas. El objetivo 6: Agua limpia y saneamiento, establece garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Para ello, plantean metas que involucran aumentar el reciclado y reutilización de agua, apoyo a los países en desarrollo para la creación de capacidad de uso eficiente de recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales y tecnologías de reutilización (Naciones Unidas, 2021).

El Perú no es ajeno a la problemática del agua, ya que es uno de sus recursos más abundantes, pero peor distribuido. Es un país privilegiado debido a que cuenta con 1.89% del agua dulce del planeta, ya que posee una disponibilidad de 77 600 m<sup>3</sup> por habitante, de las más altas del mundo. Sin embargo, tiene una distribución desproporcionada de los recursos hídricos. La distribución de la población nacional por Región Hidrográfica es la siguiente: El 64.9% se encuentra asentada en la Región Hidrográfica del Pacífico, el 31.6% se encuentra asentada en la Región Hidrográfica del Amazonas y el 3.5% se encuentra asentada en la Región Hidrográfica del Titicaca (Ministerio del Ambiente, 2012).

Por otro lado, en cuanto a las precipitaciones registradas, en la Región Hidrográfica del Pacífico la precipitación media anual es escasa o casi nula, en la Región Hidrográfica del Amazonas es de 2 400 mm anuales registrándose valores hasta de 4 000 mm en la selva baja, mientras que en la Región Hidrográfica del Titicaca es de 700 mm por año. Es por esto que surge la necesidad de una mejor distribución de los recursos hídricos y una mejor eficiencia en su uso (Ministerio del Ambiente, 2012).

Para solucionar los problemas hídricos del país, se creó una institución gubernamental denominada Autoridad Nacional del Agua, conocida como ANA, la cual es el ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. Forma parte del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) y tiene como objetivo administrar, conservar, proteger y aprovechar los recursos hídricos del país. Algunas de las funciones de la ANA son aprobar estudios y obras de aprovechamiento de agua, además de autorizar la reutilización de aguas residuales tratadas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

La ANA es la que elabora el Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), una herramienta de planificación con el objetivo de hacer posible el uso armonioso y coordinado del recurso hídrico en todo el territorio peruano. Además, contribuye a una gestión descentralizada y sostenible del agua. El PNRH se basa en la Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos para determinar los lineamientos de acción, dirigidos a mejorar la oferta de agua en calidad, cantidad y oportunidad, administrar o influir sobre las demandas y a mitigar los impactos ambientales. Todo esto aplicable en distintas áreas como la agricultura, riego, construcción, entre otros. (MIDAGRI, 2021).

La industria de la construcción; en sus fases de producción de materiales, ejecución de obra y mantenimiento; es responsable del 16% del consumo mundial de agua. Solo la producción del concreto representa el 1.7% de dicho consumo (Tendencia sustentable, 2020). Por lo que es relevante lograr una eficiencia en el uso del agua en el ciclo de vida de las edificaciones. La construcción sostenible busca disminuir el impacto sobre el ciclo del agua en todas sus fases e introducir nuevos sistemas e instalaciones dentro de los edificios para conseguir un uso óptimo del agua. Los edificios sostenibles incorporan tecnologías, estrategias y equipamiento desde el diseño del proyecto no sólo para el confort de los usuarios y el ahorro de energía, sino también para el aprovechamiento y reutilización del agua; hasta el proceso de

construcción planificado, para lograr reducir el caudal de agua de manera significativa y obtener ahorros económicos en los consumos (Calixtro, 2020).

Es por ello que, con el objetivo de conservar el agua en edificaciones, se pueden tomar medidas como por ejemplo las siguientes: implementar un equipamiento sanitario de menor caudal para un menor consumo, recolectar aguas pluviales y, la más importante en una ciudad como Lima, reutilización de aguas grises mediante un tratamiento adecuado. Actualmente, existen plantas de tratamiento de aguas residuales, pero no muchas en los proyectos de edificios, viviendas o instituciones educativas; es decir, esta práctica aún no es común en el Perú (Barbarán, 2019).

En estos tiempos, las urbes necesitan mejor infraestructura y servicios esenciales como educación y agua potable. Es así como surge la necesidad de construir o adaptar instituciones educativas escolares con alternativas de solución para ahorrar en el consumo de agua. Esto se debe a que son infraestructuras generalmente grandes, que abarcan mucho terreno, ocupan cientos o miles de usuarios y existe una gran cantidad de equipamiento sanitario. Más aún, al retornar a clases presenciales en tiempos de pandemia por el COVID-19, donde la necesidad de agua es inminente por los procesos de higiene, desinfección y limpieza, es importante revalorar nuestro recurso hídrico (Calixtro, 2020).

### ***Reutilización de aguas residuales***

Para lidiar con la problemática del agua se han planteado diversas alternativas de solución, siendo una de las más importantes la antes mencionada reutilización de aguas residuales. Estas son los fluidos residuales en un sistema de alcantarillado; es decir, el agua usada en una vivienda, terreno, industria o cualquier otra edificación. Se originan de diversas actividades como el uso de inodoros, lavaderos, urinarios, duchas, entre otras (Valencia, 2019).

La composición de las aguas residuales está definida por:

- Características físicas: el contenido total de sólidos como la materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta.
- Características químicas: el contenido de materia orgánica como las proteínas, hidratos de carbono, grasas, aceites, entre otros. Se miden según la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO).

- Características biológicas: contenido de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos y similares (Valencia, 2019).

Cabe resaltar que la demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario que usan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos en el agua. En tanto, la demanda química de oxígeno se refiere a la cantidad de materia orgánica que no puede ser degradada biológicamente debido a su toxicidad, como en el caso de pesticidas o insecticidas, por lo que requiere de un agente químico oxidante como el dicromato de potasio. Este proceso de descomposición tiene diversos factores como temperatura y condición ambiental (Lecca & Lizama, 2014).

Las aguas residuales se clasifican en aguas negras y grises. Las aguas negras contienen sustancias residuales provenientes de inodoros como la materia fecal y urea. Su composición orgánica le otorga propiedades indeseables al líquido porque los microorganismos generan descomposición, malos olores y mal aspecto. En cambio, las aguas grises pueden presentar contenidos de grasas provenientes de lavaderos, duchas, tinas, lavamanos y similares. A diferencia de las aguas negras, no presentan bacterias fecales como la *Escherichia Coli*, por lo que su grado de contaminación es menor y su tratamiento para reutilizarlo representa menor complejidad (Valencia, 2019).

Es así como la distinta composición entre aguas negras y grises genera que su contenido de materia orgánica reaccione diferente a la degradación. En consecuencia, las aguas negras presentan mayor dificultad de degradación por microorganismos que las grises. Por esta razón, reutilizar aguas grises es el proceso de tratamiento más factible actualmente y el objeto de estudio en la presente tesis.

### ***Aguas grises***

A continuación, se presenta en la Tabla 2 listado de las características de las aguas grises, según el empleo del agua potable:

Tabla 2. Características de aguas grises según su uso.

Origen	Características
Lavavajillas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altamente contaminada con partículas de comida, aceites y grasas.</li> <li>- Cantidades variables de coliformes.</li> <li>- Contiene detergentes.</li> </ul>
Ducha y lavamanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua menos contaminada (aguas grises claras).</li> <li>- En duchas se presentan coliformes.</li> <li>- Contiene pelos y productos de limpieza como jabón, shampoo y pasta de dientes.</li> <li>- Baja demanda de oxígeno.</li> </ul>
Lavadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto grado de Ph, salinidad y turbiedad.</li> <li>- Alta cantidad de sólidos suspendidos y detergentes</li> </ul>

Fuente: Valencia, 2019.

A las aguas grises tratadas se les puede dar un uso urbano, agrícola, industrial, ambiental y recreacional, tal como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Tipos de uso de las aguas grises

Ámbito	Tipos de uso
Urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riego de áreas verdes como parques, canchas deportivas, etc.</li> <li>- Limpieza de calles, vehículos, ventanas, pasillos.</li> <li>- Estanques de inodoros y urinarios.</li> <li>- Paisajismo como caídas de agua, fuentes, etc.</li> <li>- Control de incendios.</li> </ul>
Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riego de cultivos, huertas, viñas, prados, etc.</li> <li>- Dilución de fertilizantes y pesticidas.</li> </ul>
Recreacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lagunas para paseos en bote.</li> <li>- Pozos como elementos decorativos.</li> </ul>
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua de refrigeración.</li> <li>- Agua de lavado.</li> <li>- Riego de caminos.</li> </ul>

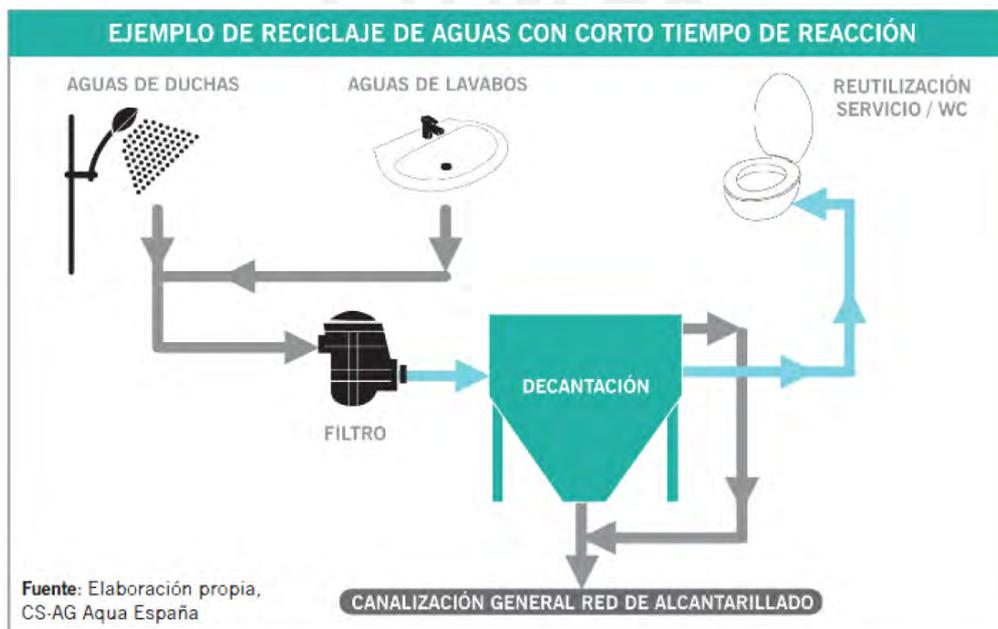
Nota: Tomado de Valencia, 2019.

Para el reciclaje de estas aguas, existen tecnologías de tratamiento que pueden ser químicos, físicos, biológicos y de desinfección. Para elegir el sistema más idóneo se deben considerar los siguientes factores: las características de las aguas grises, el uso del agua tratada, las especificaciones requeridas del agua tratada y los aspectos económicos.

Los sistemas más usados son el físico, el fisicoquímico y el biológico; los cuales se detallarán a continuación.

### ***Sistema físico***

El objetivo principal de este sistema es la separación de aceites, grasas y partículas sólidas en suspensión. Para lograrlo, es necesario utilizar filtros de malla, arenas, agregado grueso, entre otros. Las aguas provenientes de las duchas y de los lavamanos, son filtradas mediante una malla para luego ser direccionadas a una zona de decantación y poder almacenar el agua reciclada en una cisterna para su posterior envío a los tanques de los inodoros o para los rociadores de jardines, tal como se observa en la Figura 3.



*Figura 3.* Ejemplo de reciclaje físico con corto tiempo de reacción.

*Fuente:* CS-AG Aqua España.

### ***Sistema fisicoquímico***

Posee diversas variantes que dependen del grado de contaminación de las aguas grises y de la calidad que se requiera luego del tratamiento. Generalmente se utiliza para separar aceites, grasas, coloides, material orgánico (Valencia, 2019). Su tratamiento es más complejo dado la mayor cantidad de procesos involucrados, los cuales son: Prefiltración de residuos y partículas, separación de grasas, precipitación química, sedimentación, filtración de afino, intercambio iónico y desinfección.



Figura 4. Ejemplo de reciclaje con tratamiento físico y químico.

Fuente: CS-AG Aqua España.

En la Figura 4, se puede apreciar que el agua proveniente de duchas y lavamanos son filtradas y desinfectadas para eliminar partículas suspendidas y bacterias respectivamente. Luego, debe pasar por un filtro de rayos ultravioleta para eliminar cualquier microorganismo patógeno.

### **Sistema biológico**

Consiste en degradar la materia orgánica mediante microorganismos, los cuales aportan oxígeno al sistema. Los tratamientos más comunes se realizan mediante reactores secuenciales, reactores biológicos de membrana y sistemas biológicos naturalizados. Este último es muy utilizado para el tratamiento de aguas grises, mediante estructuras como los humedales artificiales.

Estos humedales son eficientes para la disminución de DBO, DQO y SST (sólidos suspendidos totales). Este sistema consiste en una filtración mediante material granular y un tratamiento de las aguas a través de los microorganismos presentes en las raíces de las plantas colocadas en el humedal. Todo esto en un área excavada e impermeabilizada con una geomembrana para poder direccionar el flujo de agua hacia una cisterna de almacenamiento de las aguas tratadas.

Sin embargo, dicho sistema no es viable para las edificaciones que no cuenten con el terreno y espacio necesario. Entonces, para proponer una solución sostenible en el ámbito hídrico, se buscará escoger un sistema de tratamiento adecuado para la institución educativa, que cuente con un diseño que permita la optimización del recurso hídrico y que se adapte a las necesidades y condiciones del colegio.

#### **2.4. Confort térmico**

Los humanos siempre se han buscado crear un ambiente térmicamente cómodo, lo cual se refleja en todas las construcciones a lo largo de la historia. Es decir, las personas tienen la necesidad de guarecerse, refugiarse y quedarse a vivir en un lugar cómodo, donde no perciba el frío o el calor con la misma intensidad como lo hace al aire libre. Con el tiempo, el hombre recurre a diferentes edificaciones para diversas actividades como trabajo, estudio, entrenamiento, entre otros; y espera que la habitabilidad sea cómoda y placentera pese a las circunstancias ambientales que pueda ocurrir en el exterior (Chávez, 2002)

Es así como surge el concepto de confort térmico y es definido como “la condición de la mente en la que se expresa satisfacción con respecto al ambiente térmico”, según la norma ISO 7730 (ISO 7730, 2005). Los factores que determinan si un ambiente es confortable son la temperatura seca, humedad, velocidad del viento, temperatura interior, metabolismo y vestimenta de las personas. (Chávez, 2002)

Dado que el caso de estudio de la presente tesis es el colegio Salesiano, el tipo de edificación que se tratará es de institución educativa. Este sector busca proporcionar condiciones ambientales adecuadas para garantizar las condiciones necesarias para llevar a cabo los procesos de enseñanza-aprendizaje. Esto se debe a que diversos estudios demuestran que la ausencia de confort térmico reduce la motivación, atención, desempeño y velocidad de aprendizaje de los estudiantes (Rosales, 2018).

En el Perú, se marca un hito el 2008 cuando el Ministerio de Educación pública la “Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos”, en la cual se plantean una serie de recomendaciones para el diseño de las aulas acorde a los distintos climas del país. Así, se pretende promover el aprendizaje y productividad del alumnado. De esta forma, surge el concepto de aula bioclimática como “aquella que se trata de adaptar a las condiciones climáticas particulares de un determinado lugar, logrando las mejores condiciones de confort

en el interior de ella, con el menor apoyo posible de fuentes de energía auxiliar” (MINEDU, 2008).

La arquitectura bioclimática no es nueva, sino que, por naturaleza, la arquitectura tradicional funciona acorde a los principios bioclimáticos, ya que los equipamientos de climatización artificial son escasos y costosos. En dicha arquitectura es relevante considerar aspectos como la distribución de los edificios; las distancias entre ellos y las alturas de construcción para evitar sombras en invierno; las zonas de arbolado necesarias para el aprovechamiento de la radiación solar y la protección del viento; la temperatura, velocidad del viento y la humedad relativa (MINEDU, 2008). Otro aspecto para considerar es la temperatura media en la zona, la cual se puede obtener de los organismos meteorológicos o climáticos. Cabe resaltar que esta temperatura depende de las estaciones del año.

Para el año 2014, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento publica la norma “EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética”. Dicha norma es publicada a causa de la ausencia de lineamientos técnicos nacionales para el diseño y la construcción de edificaciones que aspiren a mejorar la confortabilidad. Con ella, se busca fomentar la construcción de ambientes bioclimáticos y edificaciones con eficiencia energética.

En la actualidad existen estándares como la ISO 7730, EN 15251, y ASHRAE 55 que son utilizados para evaluar el confort térmico en edificios existentes y diseñar los sistemas de climatización en edificios nuevos. Sin embargo, en el caso de la norma ASHRAE 55, también se cuenta con una metodología para evaluar edificios existentes, la cual se utilizará en la presente tesis.

## **2.5. Ventilación**

Según Fisk (2017), el término de ventilación en edificaciones se refiere al suministro de aire exterior al edificio. O de manera más general, describe a la recirculación de aire. En instituciones educativas, el flujo de aire posee un rol importante porque ayuda a aumentar la productividad de los usuarios y a disminuir la tasa de enfermedades respiratorias y de transmisión aérea, incluyendo la enfermedad del coronavirus (COVID 2019). Entonces, de existir un mal sistema de ventilación y una alta concentración de algún contaminante como el dióxido de carbono, se podrían propiciar severos problemas de respiración, dolores de cabeza y dificultad de concentración (Almeida et al., 2015). Asimismo, en Georgia-Estados Unidos se

determinó que durante el otoño del año 2020 (US Department of Health and Human Services, 2021), la incidencia de casos de coronavirus en 169 escuelas que se abrieron, inclusive cuando la vacuna no se había desarrollado, fue de 3.08 casos por cada 500 alumnos matriculados. En total, el número de casos presentados fue 39% menor en aquellos colegios que implementaron el uso de mascarillas y sistemas de ventilación apropiados.

Para determinar o evaluar si una ventilación es adecuada, el estándar 62.1 de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, 2019) define la calidad aceptable de aire interior como el aire que no cuenta con contaminantes en concentraciones de gran proporción y que el 80% de personas expuestas a este, se sienten satisfechas. En adición, la Guía de Calidad de Aire Interior de Madrid (Dirección General de Industria, Energía y Minas [DGPEM], 2016) define el término contaminante como toda sustancia presente en el aire del ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Para complementar esta definición, la Guía de Calidad del Aire Interior elaborada por la Junta de Andalucía (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía [osman], 2011) determina concentraciones mínimas en el tiempo de los principales contaminantes del aire interior (Ver Tabla 4). No obstante, debido a la alta ocupación de las aulas y bajos niveles de ventilación, los colegios suelen presentar concentraciones considerables de dióxido de carbono en comparación al resto de sustancias nocivas (Almeida et al., 2015). Además, es usual que muchas aulas presenten ventiladores ubicados en lugares no estratégicos y sin ningún sustento teórico que muchas veces contribuyen al estancamiento de aire.

Tabla 4. Principales efectos de contaminantes del interior según concentraciones y tiempo de exposición.

Contaminante	Efecto sobre la salud	Valor guía ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
Material Particulado MP 10	Hipersensibilidad bronquial	365	24 horas
Dióxido de nitrógeno	Cambios ligeros en la función pulmonar de asmáticos	200 (0.1 ppm)	1 hora
		40 (0.002 ppm)	1 año
Monóxido de carbono	Nivel crítico de Carboxihemoglobina < 2.5 %	100 000 (90 ppm)	15 minutos
		60 000 (50 ppm)	30 minutos
		30 000 (25 ppm)	1 hora
		10 000 (10 ppm)	8 horas
Dióxido de carbono	Dolor de cabeza, cansancio y problemas respiratorios	5 000 ppm	-

Nota: Extraído de Osman, 2011.

Si se parte de la premisa que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal contaminante en las aulas de los colegios, es deseable medir la calidad de aire interior en función a la concentración de este contaminante. Es así que dependiendo de las concentraciones de  $\text{CO}_2$ , se puede medir de manera indirecta la cantidad de renovaciones de aire por hora, que funciona como índice de la calidad interna del aire. La renovación de aire por hora (ACH) consiste en cuantificar cuántas veces en 1 hora entra un volumen de aire exterior equivalente al volumen interno del ambiente respectivo. Se debe tomar en cuenta que, debido a la mezcla continua del aire, 1 ACH implica que el 63% del aire interior ha sido renovado. En tanto que, para 3 ACH, se estima que el 95% del aire del aula ha sido reemplazado (Minguillón et al., 2020). Asimismo, se considera que para una concentración aproximada de  $\text{CO}_2$  de 10 000 ppm las renovaciones de aire son insuficientes (DGPEM, 2016).

Diversas normas señalan cual es la cantidad mínima de ACH dependiendo de las dimensiones del ambiente y del uso que se le dé a la sala en cuestión. En base a la densidad de ocupación estipulada en el estándar 62.1 de la ASHRAE, la Guía para la Salud en Escuelas elaborada por la universidad de Harvard manifiesta que el objetivo debe ser de al menos 5 ACH. Esto si se considera que el aula posee  $100 \text{ m}^2$  y un promedio de 25 estudiantes en un

rango etario entre 5 y 8 años (Allen et al., 2020). En adición, la Norma Técnica Peruana E.M. 030 (2020), que es para instalaciones de ventilación, señala un ACH objetivo entre 6 y 8 para aulas. A continuación, se presenta la Tabla 5 que resume ACH objetivos en diversos estándares referentes a la ventilación.

*Tabla 5. ACH objetivo en ambientes cerrados en estándares nacionales e internacionales*

<b>Estándar</b>	<b>Ente responsable / Año de publicación</b>	<b>ACH objetivo</b>	<b>Consideraciones</b>
Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas	Universidad de Harvard/2020	5-6	25 estudiantes por cada 100 m <sup>2</sup>
Norma Técnica E.M. 030 Instalaciones de ventilación	Gobierno peruano/2020	6-8	
Decreto Supremo 594 Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	Gobierno chileno/2019	6	Lugares de trabajo diseñados para un volumen de 10 m <sup>3</sup> por trabajador
Guía para ventilación en aulas	Gobierno de España/2020	5-6	

*Nota: Elaboración propia.*

Otra forma de medir la ventilación es la tasa de ventilación (medida en litros de aire por persona y segundo). El estándar 62.1 de la ASHRAE (2019) indica que, para un salón de clases con niños mayores de 9 años, se debe considerar como mínimo 5 l/s-persona. Este mismo valor se muestra en la Norma Técnica Peruana E.M. 030 (2020). La guía para ventilación en aulas de España establece una relación entre la ACH y los litros por persona y segundo. Del mismo modo, sugiere tomar un valor de 14 l/s-persona para reducir notablemente el riesgo de contagio de enfermedades respiratorias y de transmisión aérea (Minguillón et al., 2020). En seguida, se presenta la Tabla 6 que resume valores de l/s-persona en diversos estándares referentes a la ventilación, que permiten el cálculo de un ACH objetivo.

Tabla 6. Tasas de ventilación referenciales para el cálculo del ACH objetivo

Solución	Ente responsable / Año de publicación	L/s * persona	Consideraciones
Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas	Universidad de Harvard / 2020	14	Tasa para disminuir notablemente el riesgo de contraer una enfermedad transmitida por aire
Norma Técnica E.M. 030 Instalaciones de ventilación	Gobierno peruano/2020	5	
Decreto Supremo 594 Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	Gobierno chileno/2019	5.6	
Guía para ventilación en aulas	Gobierno de España/2020	14	Tasa para disminuir notablemente el riesgo de contraer una enfermedad transmitida por aire
Estándar 62.1 Ventilación para una calidad aceptable del aire interior	ASHRAE/2019	5	

Nota: Elaboración propia.

Existen diversas estrategias para lograr cumplir con los estándares anteriormente mencionados (Ver Tabla 7). La primera de ellas es incrementar el aire exterior en los espacios interiores mediante ventilación natural o ventilación mecánica. La segunda consiste en el uso de filtros para el aire recirculado. Finalmente, la tercera consta de la implementación de purificadores de aire portátiles con filtros HEPA en el centro del aula (Allen et al., 2020).

La ventilación natural consiste en elevar la cantidad de renovaciones del aire interior con el aire exterior excluyendo el uso de instrumentación. Lo ideal en este tipo de ventilación consiste en aplicar la ventilación cruzada mediante certera configuración de apertura de ventanas y puertas localizadas en extremos opuestos de la habitación. Se debe considerar que, para lograr resultados óptimos, las condiciones ambientales del exterior deben ser propicias.

Se debe recurrir a la ventilación mecánica cuando las ACH obtenidas con la ventilación natural son insuficientes. Mediante la implementación de instrumentación adecuada se puede establecer una ventilación individual forzada o una ventilación forzada centralizada. La primera se logra con la instalación de mecanismos impulsores (que introducen el aire exterior) o extractores (que expulsan el aire interior). La segunda se refiere a sistemas o mecanismos

impulsores comunes para toda la edificación. Esta forma de ventilación se puede complementar con el uso de filtros y purificadores. Se debe resaltar que, cada mecanismo de ventilación se puede evaluar de manera independiente para obtener una respectiva cantidad de ACH. De este modo, las cantidades individuales se suman para encontrar las ACH del ambiente evaluado (Minguillón et al., 2020).

*Tabla 7. Soluciones ante una tasa de ventilación insuficiente.*

<b>Solución</b>	<b>Implicancias</b>
Realizar la actividad en el exterior	El viento arrastra partículas emitidas por las personas.
Ventilación natural	Aumentar ACH sin instrumentos. Apertura de puertas y ventanas.
Ventilación individual forzada	Tipo de ventilación mecánica. Uso de instrumentación que impulsa o extrae el aire en un ambiente determinado.
Ventilación forzada centralizada	Tipo de ventilación mecánica. Uso de sistemas de ventilación comunes en toda la edificación.
Purificación	Uso de purificadores comerciales.

*Nota: Extraído de Minguillón et al., 2020.*

En la presente investigación se busca alcanzar las ACH en un salón producto de considerar 14 l/s-persona como el caudal por persona mínimo, que permita reducir contagios de enfermedades y al mismo tiempo cumpla con los estándares de la ASHRAE y la Norma Técnica de Construcción Peruana. Esta premisa, se realizará mediante el uso de ventilación natural; por lo que, se utilizará el concepto de ventilación cruzada, que implica la apertura de ventanas y puertas de manera simultánea.

### 3. Metodología

Esta sección se divide en cuatro acápite que versan sobre las categorías más redundantes en distintas certificaciones ambientales según el capítulo 2.1.

#### 3.1. Electricidad

En esta sección, en primer lugar, se buscó analizar el consumo eléctrico mediante recibos de luz de la institución educativa privada a lo largo del año 2019. De esta manera, se pudo realizar un gráfico donde se apreció la variación de este para cada mes y se pudo identificar tanto el consumo promedio como el máximo consumo de energía eléctrica en kW h. Este último se tuvo en cuenta para la elección de la propuesta sostenible.

En segundo lugar, en base a certificaciones sostenibles y casos de estudio se procuró que un porcentaje de la demanda anual de energía eléctrica se pueda generar a partir de una fuente renovable. En este caso, se seleccionaron paneles fotovoltaicos. Se procuró, que como mínimo, el valor de energía generado por los paneles sea 30% del consumo anual.

Luego, en tercer lugar, mediante uso de programas de cómputo se estimó la irradiación solar promedio (Gh prom). Para este fin, se usaron los *softwares* METEONORM y GLOBAL SOLAR, así como también el Atlas de Energía Solar del Perú. Se trabajó con el valor más bajo de manera conservadora (Escobedo, 2018). Los datos de entrada básicos con los que trabajarán los programas serán la longitud y la latitud del colegio en mención.

En cuarto lugar, se calculó el requerimiento diario de carga del sistema expresado en Ah mediante la Fórmula 1. Se consideró una eficiencia de 95% del inversor para transformar la corriente alterna en la directa.

$$R_{dc} = \frac{E}{V \times 0.95} \quad \dots \text{Fórmula 1}$$

Donde:

R dc: Requerimiento diario de carga de corriente directa del sistema fotovoltaico en Ah

E: Consumo de energía estimado del consumo total diario del edificio en kWh

V: Voltaje nominal operacional del sistema fotovoltaico en V

En quinto lugar, se consideraron pérdidas del sistema. Por lo que el  $R_{dc}$  se vio incrementado en un 20%-30%. Se debe tomar en cuenta la Fórmula 2 para hallar el requerimiento diario de carga total del sistema fotovoltaico en Ah.

$$R_{dc\ total} = 1.2\ o\ 1.3 \times R_{dc} \quad \dots\ \text{Fórmula 2}$$

Donde:

$R_{dc\ total}$ : Requerimiento diario total de carga de corriente directa del sistema fotovoltaico en Ah

$R_{dc}$ : Requerimiento diario de carga de corriente directa del sistema fotovoltaico en Ah

En sexto lugar, se procedió a determinar el requerimiento de corriente con la irradiación en horas de sol equivalente (ESH) con la Fórmula 3 y la Fórmula 4.

$$ESH = \text{Min} (Gh\ prom\ 1; Gh\ prom\ 2; Gh\ prom\ 3) \quad \dots\ \text{Fórmula 3}$$

Donde:

ESH: Horas de sol equivalente en la institución educativa en kWh/m<sup>2</sup>/día

Gh prom 1: Irradiación promedio diaria según software METEONORM en kWh/m<sup>2</sup>-día

Gh prom 2: Irradiación promedio diaria según software GLOBAL SOLAR ATLAS en kWh/m<sup>2</sup>-día

Gh prom 3: Irradiación promedio diaria según Atlas de Energía Solar del Perú en kWh/m<sup>2</sup>-día

$$RC_{dc\ total} = \frac{R_{dc\ total}}{ESH} \quad \dots\ \text{Fórmula 4}$$

Donde:

$R_{dc\ total}$ : Requerimiento diario total de carga de corriente directa del sistema fotovoltaico en Ah

$RC_{dc\ total}$ : Requerimiento diario total de corriente directa del sistema fotovoltaico en A

ESH: Horas de sol equivalente en la institución educativa en kWh/m<sup>2</sup>-día

En séptimo lugar, se eligió dentro de los módulos comerciales disponibles aquél que posea valores razonables de corriente ( $I_{mpp}$ ) y voltaje máximo ( $V_{mpp}$ ) para que puedan distribuirse en el área libre destinada para el fin. En este sentido, se aplicaron la Fórmula 5 y Fórmula 6 para el cálculo del número de paneles en paralelo y en serie respectivamente.

$$\#PS = \frac{V}{V_{mpp}} \quad \dots \text{Fórmula 5}$$

Donde:

#PP: Número de paneles solares en paralelo

RC dc total: Requerimiento diario total de corriente directa del sistema fotovoltaico en A

$I_{mpp}$ : Intensidad de corriente eléctrica al máximo punto de potencia del panel en A

$$\#PP = \frac{RC \text{ dc total}}{I_{mpp}} \quad \dots \text{Fórmula 6}$$

Donde:

#PS: Número de paneles solares en serie

V: Voltaje nominal operacional del sistema fotovoltaico en V

$V_{mpp}$ : Voltaje al máximo punto de potencia del panel en V

En octavo lugar, se calculó el ángulo óptimo de inclinación de los módulos con la Fórmula 7. Así como también, distancia mínima entre la parte inferior de las filas de los módulos contiguos con la Fórmula 10. Para esto, se tuvo que tomar en cuenta la Fórmula 8, que representa la altura proyectada vertical de una fila de módulos y la Fórmula 9, que permitió encontrar la distancia entre la parte superior de una fila y la parte inferior de la siguiente.

$$\alpha_{opt} = 3.7 + (0.69 \times |\delta|) \quad \dots \text{Fórmula 7}$$

Donde:

$\alpha_{opt}$ : Ángulo óptimo de los paneles fotovoltaicos en °

$\delta$ : Latitud del lugar en °

$$h = l \operatorname{sen} (\alpha) \quad \dots \text{Fórmula 8}$$

Donde:

h: Altura vertical proyectada en m

l: Longitud del módulo en m

$\alpha$ : Ángulo de inclinación de los módulos en  $^{\circ}$

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} (61 - \delta)} \quad \dots \text{Fórmula 9}$$

Donde:

d: Distancia entre la parte superior de una fila y la parte inferior de la siguiente en m

h: Altura vertical proyectada en m

$\delta$ : Latitud del lugar en  $^{\circ}$

$$D_{\min} = d + l \cos (\alpha) \quad \dots \text{Fórmula 10}$$

Donde:

D min: Distancia entre la parte inferior de dos filas consecutivas de los módulos en m

d: Distancia entre la parte superior de una fila y la parte inferior de la siguiente en m

l: Longitud del módulo en m

$\alpha$ : Ángulo de inclinación de los módulos en  $^{\circ}$

Finalmente, con la Fórmula 11, Fórmula 12 y Fórmula 13 se puede dimensionar el banco de baterías correspondiente del sistema.

$$C_{bb} = \frac{R_{dc} \text{ total} \times T_{reserva}}{PD} \quad \dots \text{Fórmula 11}$$

Donde:

C bb: Capacidad del banco de baterías en A h

R dc total: Requerimiento diario total de carga de corriente directa del sistema fotovoltaico en A h

T reserva: Tiempo de reserva en días

PD: Profundidad de descarga

$$\# BS = \frac{V}{Vb} \quad \dots \text{Fórmula 12}$$

Donde:

#BS: Número de baterías conectadas en serie

V: Voltaje nominal operacional del sistema fotovoltaico en V

Vb: Voltaje de la batería seleccionada en V

$$\# BP = \frac{C bb}{Cb} \quad \dots \text{Fórmula 13}$$

Donde:

#BP: Número de baterías conectadas en paralelo

C bb: Capacidad del banco de baterías en A h

Cb: Capacidad de batería seleccionada

Nota: De Fórmula 1 a Fórmula 6 fueron extraídas de Smets, A., Jager, K., Olindo, I., Van Swaaij, R., y Zeman. M. (2015). De Fórmula 7 a Fórmula 13 fueron extraídas de Escobedo, R. (2018).

Para la implementación final del sistema fotovoltaico se requiere el dimensionamiento de los cables conductores. Asimismo, es necesaria la determinación del inversor, el controlador de carga, la selección de elementos de protección y el diseño del sistema a tierra. Al tratarse de un diseño esquemático, los factores descritos con anterioridad escapan del alcance de la presente investigación. De igual manera, se precisan ciertos aspectos a tener en cuenta para llevar a cabo las instalaciones en la institución educativa. Se sugiere, la implementación de un sistema mixto que presente baterías y esté conectado a la red.

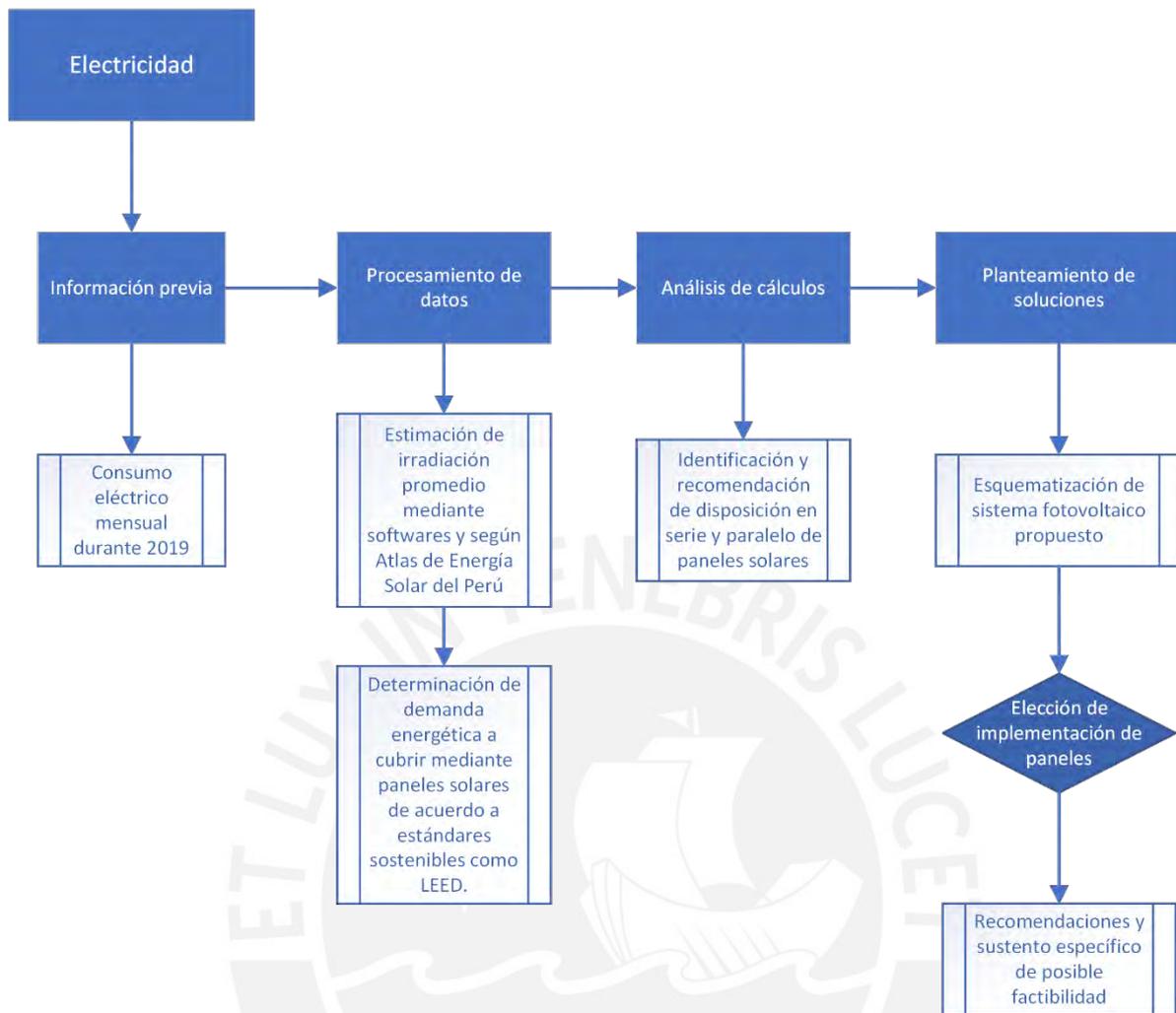


Figura 5. Metodología de trabajo para electricidad.

### 3.2. Recursos Hídricos

En primer lugar, se realizó el análisis del consumo hídrico del colegio, el cual involucra los siguientes factores:

- El consumo hídrico mensual durante el año 2019: Los datos sobre el consumo hídrico de enero a diciembre fueron obtenidos a través de los recibos de agua potable de la empresa SEDAPAL. Se seleccionó este periodo de análisis dado que es el más reciente y nos permite revisar la evolución del consumo en un año lectivo (marzo a diciembre) y en el receso escolar (enero y febrero)
- La cantidad de aparatos sanitarios: Se cuantificaron los lavamanos, inodoros, urinarios y lavaderos de los servicios higiénicos del colegio.
- Agua destinada a riego de áreas verdes: Se calcularon las áreas verdes del colegio, conformadas por los jardines y el estadio, las cuales requieren de riego.
- La cantidad de usuarios de la institución educativa: Se tomó como referencia la dotación diaria para un colegio acorde a la Norma IS.010, la cual indica una dotación de 50 litros por persona. El producto de este valor por la cantidad de usuarios resulta un valor referencial aproximado del consumo diario, el cual se comparó con el consumo promedio diario real.

En segundo lugar, con la información obtenida se calculó el gasto de los aparatos sanitarios del colegio acorde a la Norma IS.010. Para ello, se utilizó el método Hunter de gastos probables para un uso de 1 hora al día, y así determinar el consumo diario de cada aparato sanitario. De igual forma, se calculó el gasto diario de riego considerando 2 litros por metro cuadrado de áreas verdes. Sin embargo, para el caso del estadio de fútbol se consideró 4 riegos al mes, cantidad suficiente para el mantenimiento del grass.

En tercer lugar, con todos los gastos calculados, se procedió a establecer el porcentaje de consumo de todos los aparatos sanitarios y de riego. De esta manera, el factor de cada porcentaje por el consumo real mensual obtenido de los recibos de agua resulta el consumo de cada aparato sanitario mensual, el cual fue adaptado a un consumo diario.

En cuarto lugar, se identificaron las aguas grises provenientes de los aparatos sanitarios, además de seleccionar a los aparatos que pueden abastecerse con agua reciclada derivada de un sistema de tratamiento.

En quinto lugar, tomando en cuenta los pasos anteriores, se diseñaron dos sistemas de tratamiento de aguas grises, con el detalle de filtración y desinfección necesaria para cumplir con la calidad adecuada para la reutilización en inodoros, urinarios y riego de áreas verdes. Sin embargo, la propuesta de diseño debe ser factible en el ámbito económico, social y ambiental, de tal forma que sea sostenible para el colegio y sus usuarios estudiantes. Se evaluó su posible impacto en el consumo hídrico en un supuesto retorno a clases presenciales. Entonces se escogió el sistema más eficiente y factible para la institución educativa.

Finalmente, se analizó el beneficio de la propuesta, el ahorro de agua que genera y el aprovechamiento en el uso alternativo del agua reciclada.

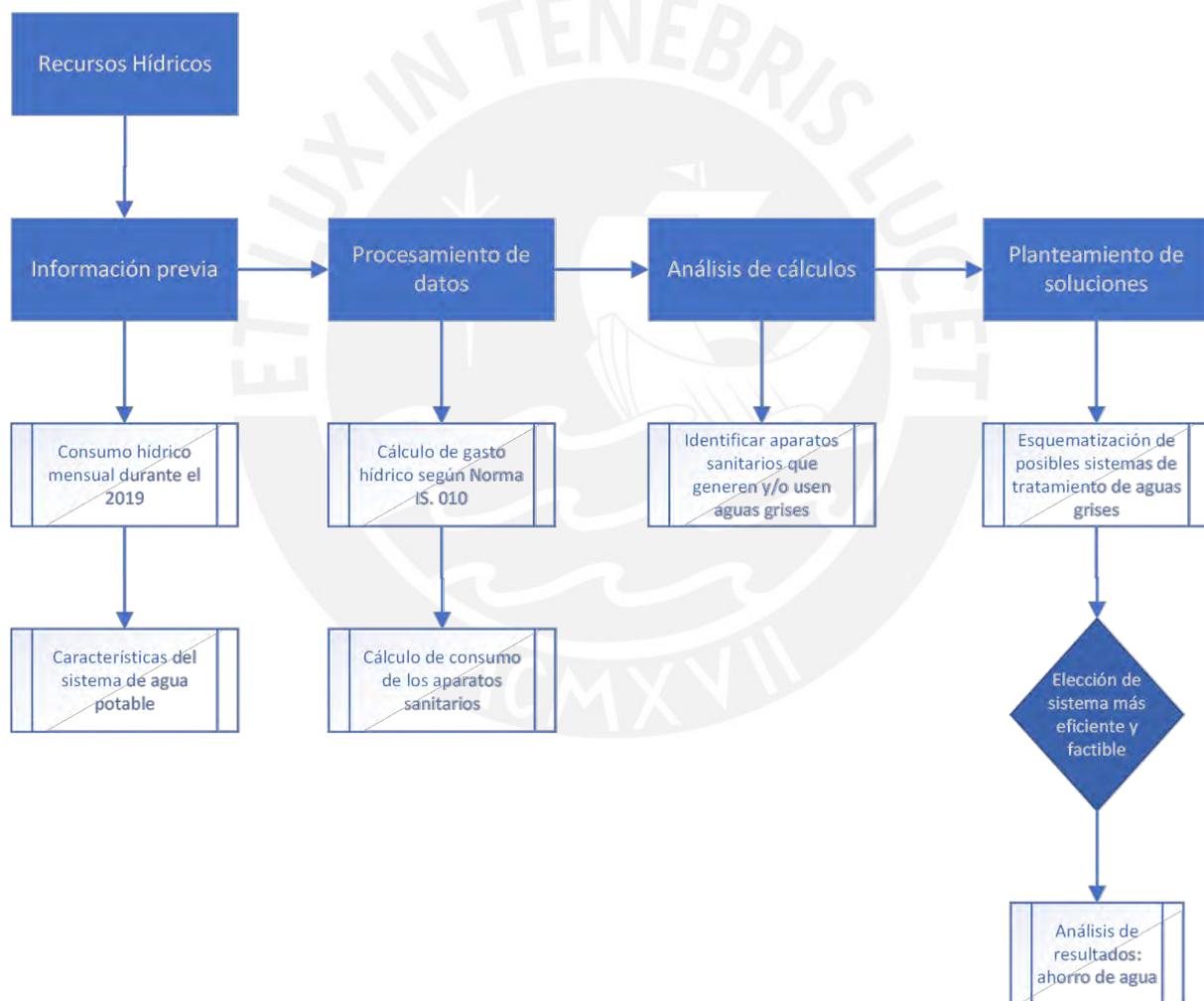


Figura 6. Metodología de trabajo para recursos hídricos.

### 3.3. Confort térmico

Para la evaluación de las aulas del instituto educativo se siguieron los lineamientos de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), establecidos en la norma ASHRAE 55-2020, en la sección 7: “Evaluación del confort en edificios existentes”. Acorde a este estándar, existen 2 métodos para cuantificar el confort térmico de las edificaciones y son los siguientes:

- 1) Encuestas a los ocupantes sobre el ambiente: Deben ser aplicadas a todos los ocupantes o a una muestra representativa y se deben obtener como mínimo 16 respuestas. Las encuestas pueden ser de satisfacción o de puntajes, sobre los temas de sensación y satisfacción térmica. Además, deben realizarse a lo largo de un periodo de tiempo representativo.
- 2) Mediciones físicas dentro del edificio: Desde planta y varias alturas del piso al techo, se deben tomar medidas representativas de temperatura del aire, temperatura radiante media, temperatura radiante del plano, humedad relativa, velocidad del aire y radiación direccional.

Para este caso, se analizó el pabellón de secundaria del colegio Salesiano, específicamente un salón de clase debido a que todas las aulas son típicas. Los ocupantes que se consideraron son los alumnos de la institución educativa, dado que representan la mayor cantidad de usuarios dentro de las aulas.

Debido al contexto de la pandemia por el COVID-19 y por la imposibilidad de encuestar in situ a los estudiantes sobre la sensación y satisfacción térmica que sienten en el aula, se ha optado por el segundo método. Entonces, las mediciones físicas realizadas fueron las siguientes:

- a) Temperatura del aire: Se midió en el centro del aula, a una altura de 0.10, 0.60 y 1.10 m.
- b) Humedad relativa: Se midió al centro del aula.
- c) Velocidad del aire: Se midió en el centro del aula, a una altura de 0.10, 0.60 y 1.10 m.

Además, existen otros parámetros que pueden ser calculados mediante fórmulas y tablas establecidas por la ASHRAE 55-2020. Estos son:

- d) Temperatura radiante media: Se debe registrar las temperaturas de las paredes, del techo y del suelo, durante 2 horas en intervalos de 5 minutos. De existir poca variación entre las temperaturas de las superficies, se puede aproximar de la siguiente forma (°C):

$$t_r = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_n F_{p-n} \quad \dots \text{Fórmula 14}$$

Donde:

$t_r$  : Temperatura radiante media (°C)

$t_n$  : Temperatura de la superficie “n” (°C)

$F_{p-n}$  : Factor de ángulo entre una persona “p” y una superficie “n”

La suma de los factores de ángulos debe ser igual a 1, estos poseen una ecuación propia dada por la ISO 7726 y se muestra a continuación:

$$\text{Factor de ángulo} = F_{\text{máx}} (1 - e^{-a/c/\tau}) (1 - e^{-b/c/\gamma}) \quad \dots \text{Fórmula 15}$$

Donde:

$\tau$  : A + B (a/c)

$\gamma$  : C + D (b/c) + E (a/c)

Coefficientes  $F_{\text{máx}}$ , A, B, C, D y E se extraen de la Tabla 8. Valores de a, b y c se extraen de la Figura 7 y Figura 8.

Tabla 8. Coeficientes para el cálculo del factor de ángulo

	$F_{\text{máx}}$	A	B	C	D	E
Persona sentada, superficie vertical	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Persona sentada, superficie horizontal	0.116	1.396	0.130	0.951	0.080	0.055
Persona parada, superficie vertical	0.120	1.242	0.167	0.616	0.082	0.051
Persona parada, superficie horizontal	0.116	1.595	0.128	1.226	0.046	0.044

Nota: Adaptado de “Human Thermal Environments The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance”, por Parsons K.C., 2003.

Estos factores de ángulos también pueden ser hallados gráficamente mediante las siguientes figuras para personas sentadas:

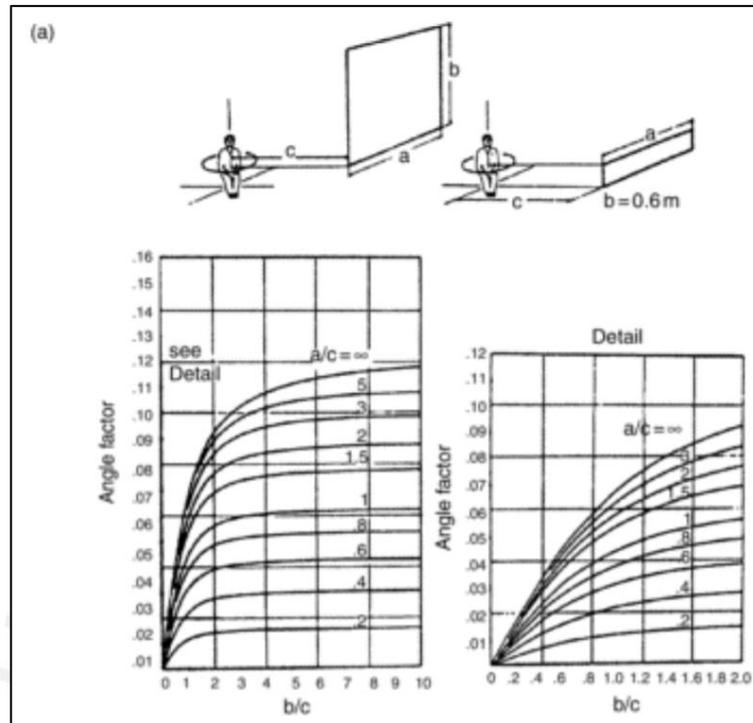


Figura 7. Factores de ángulos usados para una persona y una superficie vertical.

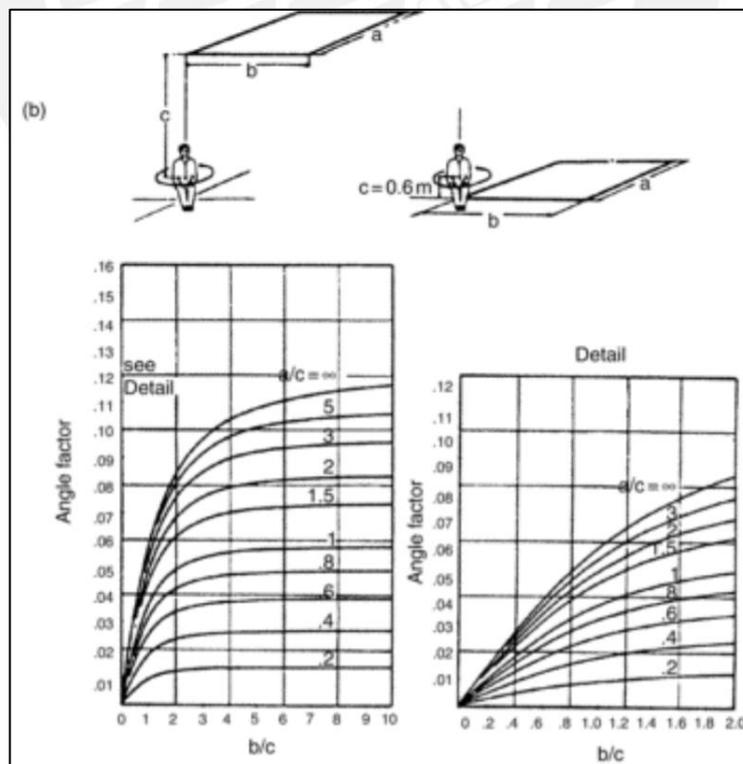


Figura 8. Factores de ángulos usados para una persona y una superficie horizontal.

Para la verificación del valor de temperatura radiante media (TRM) obtenido mediante este método, se usó una herramienta propuesta por el Centro Berkeley para el Ambiente Construido (CBE) denominada CBE 3D Mean Radiant Temperature Tool, en la cual se diseñó el aula de análisis con las dimensiones y temperaturas correspondientes, dando como resultado la TRM de cualquier punto del aula.

e) Temperatura operativa: Se obtiene de la Fórmula 16.

$$t_o = (t_a + t_r)/2 \quad \dots \text{Fórmula 16}$$

Donde:

$t_a$  : Temperatura del aire (°C)

$t_r$  : Temperatura radiante media (°C)

Entonces, se ingresaron los datos obtenidos al software del Centro Berkeley para el Ambiente Construido (CBE) para verificar si la edificación se encontraba en la zona de confort. Luego, se analizará la posibilidad de realizar algunos cambios en el aula para mejorar el confort térmico de ser necesario.

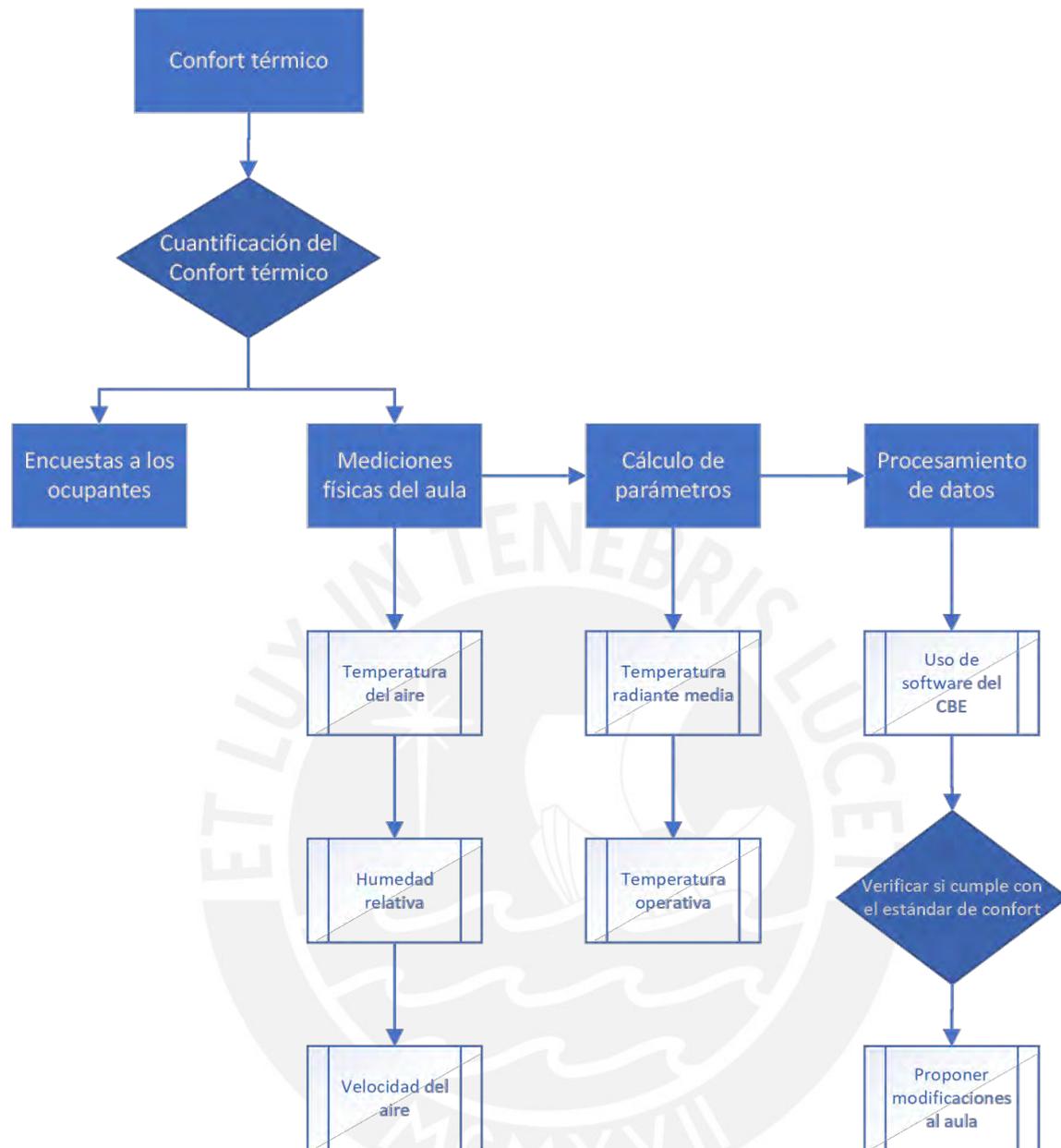


Figura 9. Metodología de trabajo para confort térmico.

### 3.4. Ventilación

Para cuantificar la ventilación se utilizó de referencia las renovaciones de aire por hora (ACH) o tasa de renovación de aire. En adición, para que esta variable sea representativa, la medición se llevó a cabo en un salón típico del pabellón de secundaria ubicado en el primer piso. Las pautas que sirvieron como guía para este procedimiento están basadas en la Guía para Ventilación de Aulas de España y la Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en Aulas de la Universidad de Harvard (Allen et al., 2020).

Antes de empezar con el trabajo práctico se utilizó la Fórmula 17 para determinar las ACH necesarias (ACH objetivo) para que la ventilación no solo sea adecuada, sino que reduzca la posibilidad de contagio de enfermedades de transmisión aérea como el COVID-19. Se tuvo en cuenta las dimensiones del aula, el número de personas y el parámetro de tasa de ventilación. Si bien la ASHRAE indica una cantidad de 5 l/s-persona en aulas con niños mayores de 9 años, se tomó una cantidad de 14 l/s-persona según sugiere la Guía para Ventilación en Aulas de España para reducir notablemente los contagios de enfermedades aéreas (2020). Adicionalmente, la guía de Harvard considera a cualquier cantidad por encima de 6 ACH como ideal.

$$ACH = A \times B \times 3600 \frac{s}{hora} \times \frac{0.001 \frac{m^3}{litro}}{C} \quad \dots \text{Fórmula 17}$$

Donde:

A: Tasa de ventilación por persona en l/s-persona

B: Número de personas en el aula

C: Volumen del aula en m<sup>3</sup>

Una vez definida la cantidad óptima de ACH (ACH objetivo) para el colegio, se procedió a determinar cuántas ACH brinda de acuerdo a su configuración actual (ACH real). Para lograr esto, se aumentó la concentración de CO<sub>2</sub> en el aula completamente cerrada y luego, se determinó la variación de concentración de este contaminante en el tiempo. Cabe resaltar que este procedimiento sin otras fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> como lo son la presencia de ocupantes, fuentes de combustión, etc. Asimismo, se registraron por lo menos 4 mediciones distintas, pues estas correspondieron a distintas horas del día para obtener un valor de ACH representativo.

Con respecto a las configuraciones de ventilación natural, Aldawoud y Salameh (2020) describen 3 disposiciones que facilitan el flujo de aire según la apertura de ventanas (Ver Figura 10).

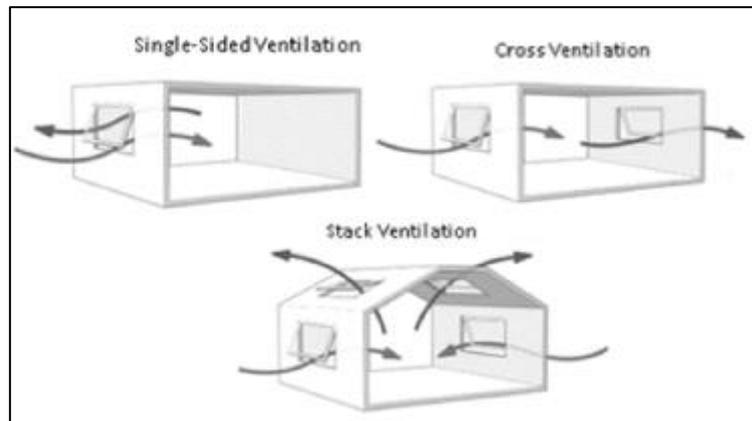


Figura 10. Tipos de ventilación natural según configuración de ventanas: ventilación de un solo lado, ventilación cruzada y ventilación tipo chimenea.

Del mismo modo, la Guía de Ventilación de España (2020) señala dos configuraciones tomando en cuenta la apertura de ventanas y puertas (Ver Figura 11). De las configuraciones señaladas se evaluó la ventilación cruzada; ya que, es la única factible debido a la configuración física del salón.

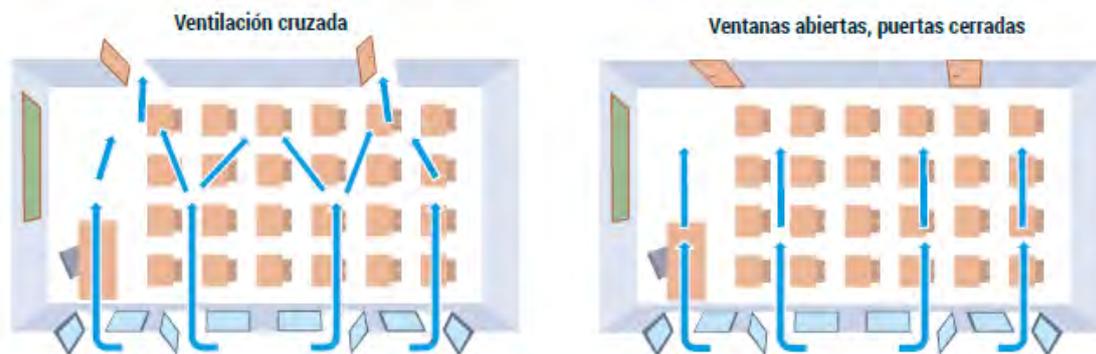


Figura 11. Tipos de ventilación natural en aula según configuración de puertas y ventanas: ventilación cruzada y ventilación de un solo lado.

Fuente: Guía para la ventilación de aulas.

En primer lugar, se utilizó un medidor de  $\text{CO}_2$  que facilitó determinar la cantidad de este contaminante en el exterior. En total se realizaron dos medidas: antes y después del procedimiento en el aula. De esta forma, el promedio de las dos concentraciones es el equivalente a la concentración de  $\text{CO}_2$  en el exterior. Una cantidad promedio de este parámetro es 420 ppm, según lo detallado en la Guía de Ventilación de España (2020).

En segundo lugar, el medidor de CO<sub>2</sub> se colocó en el centro del aula a una distancia aproximadamente de 1 m del suelo.

En tercer lugar, se incrementó la concentración de CO<sub>2</sub> hasta que el medidor marcó 2 000 partes por millón (ppm) o se estabilizó en una cantidad mayor a esta concentración. Esto con las ventanas y puertas cerradas. Allen et al. (2020) recomienda que, ante la ausencia de ocupantes en el aula, es válido usar el hielo seco (forma sólida de CO<sub>2</sub>) como fuente emisora en el salón.

En cuarto lugar, una vez que el hielo seco elevó la concentración del contaminante en mención a 2 000 ppm o más, se cerró la fuente emisora y se estableció de inmediato la configuración de ventilación natural a probar en la medición. Para este caso se abrieron ventanas y puerta (ventilación cruzada).

En quinto lugar, se dejó disminuir la concentración del contaminante hasta la concentración de inicio de la medición. Se debe tomar como punto notable, el valor de la concentración cuando esta se aproxime a la concentración exterior más el 37% del exceso inicial de CO<sub>2</sub> (C<sub>2</sub>).

Para calcular el exceso inicial de CO<sub>2</sub> se utilizó la Fórmula 18:

$$\text{Exceso de CO}_2 = \text{concentración CO}_2 \text{ int.} - \text{concentración CO}_2 \text{ ext.} \quad \dots \text{ Fórmula 18}$$

La concentración de CO<sub>2</sub> interior se refiere a la mayor concentración alcanzada dentro del aula (C<sub>1</sub>), una vez operativa la fuente emisora. Mientras que, la concentración exterior suele variar entre 400 y 420 ppm de CO<sub>2</sub>.

Los datos que recolecte el sensor de CO<sub>2</sub> se dispusieron para graficar en el eje de las abscisas el tiempo; en tanto que, en el eje de ordenadas se dispondrán las distintas concentraciones. Es así como en el gráfico se pudo identificar la concentración inicial (C<sub>1</sub>), la concentración final (C<sub>2</sub>) y sus respectivos tiempos (t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>) para poder hallar el valor de ACH real con la Fórmula 19.

$$ACH = \frac{-1 \times \ln\left(\frac{C_2 - C_e}{C_1 - C_e}\right)}{t_2 - t_1} \quad \dots \text{ Fórmula 19}$$

Donde:

Ce: Concentración exterior de CO<sub>2</sub> en ppm

C2: Concentración de CO<sub>2</sub> cuando se alcance el valor de concentración exterior más el 37% del exceso inicial en ppm

C1: Concentración inicial de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 2 000 ppm

t1: Tiempo correspondiente a C1 en horas

t2: Tiempo correspondiente a C2 en horas

Estos pasos se repitieron en distintas horas del día (10:05 am, 11:15 am, 12:30 pm y 2:30 pm) para comparar los resultados (ACH real promedio de las 4 mediciones) con el valor de ACH objetivo. Se debe tomar en cuenta la recomendación de disminuir la cantidad de estudiantes por aula para poder lograr el valor de ACH objetivo. Otra opción a considerar es la ampliación de las dimensiones de las ventanas.

Algunas limitaciones de este procedimiento se relacionan con el hecho de que no todas las zonas del aula pueden catalogarse como bien mezcladas. Entonces, pudo ocurrir que el área central estuviera correctamente ventilada; mientras que, las esquinas pudieron constituir zonas estancadas sin un correcto flujo del aire.

Otro aspecto importante se relaciona a la calidad del aire interior, debido a que, dependiendo de las actividades que realicen los estudiantes dentro del aula el riesgo de contagio de infecciones agudas del tracto respiratorios podría aumentar. Es decir que, a pesar de aplicar la ventilación cruzada, actividades que impliquen, por ejemplo, el alzar la voz favorecería al desplazamiento de partículas virulentas.

Finalmente, el procedimiento en mención pudo verse afectado por condiciones meteorológicas o de fuentes contaminantes externas. Por lo que debe tratarse de escoger un día típico con condiciones estándar.

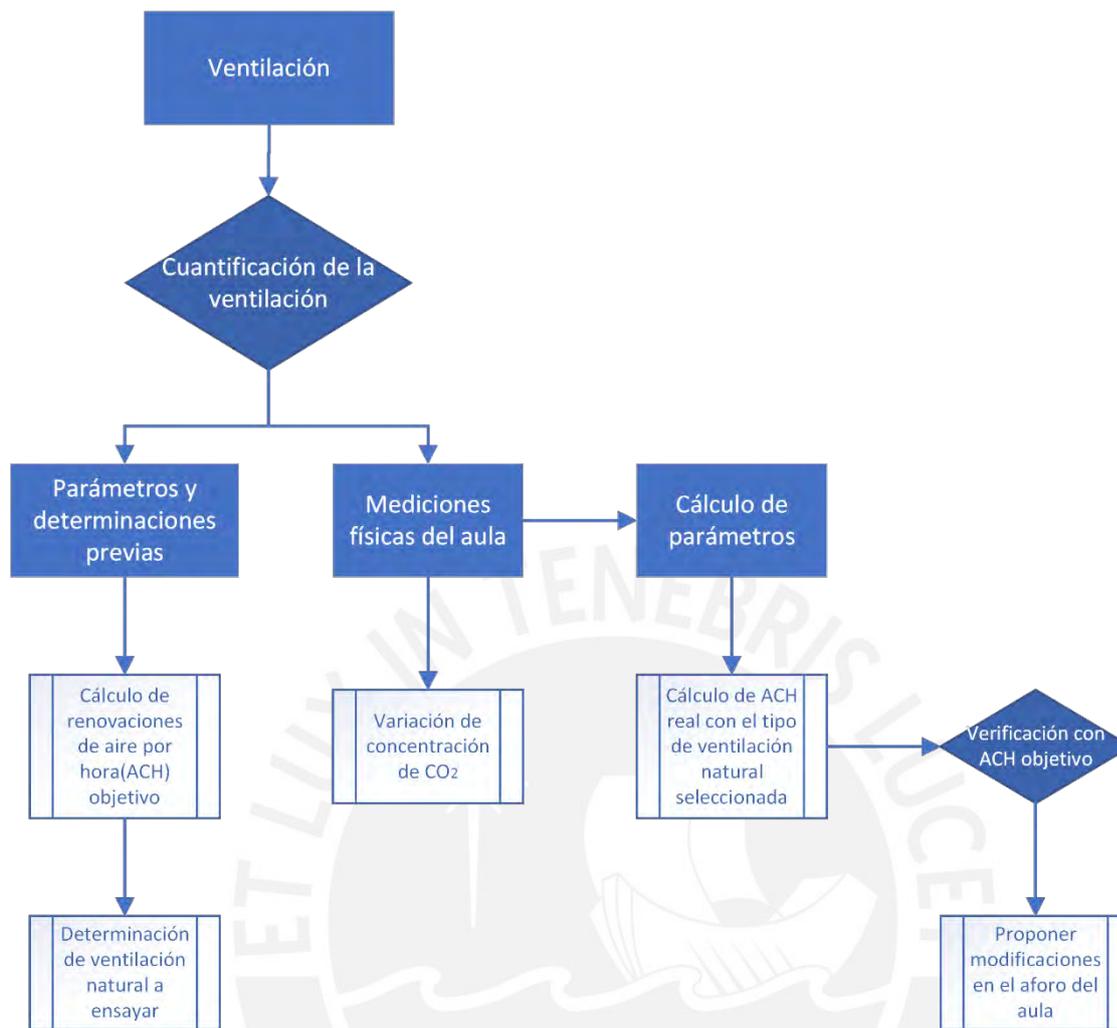


Figura 12. Metodología de trabajo para Ventilación

#### 4. Aspectos generales de la institución educativa

La congregación Salesiana arribó al Perú en el año 1891 y adquirió su primer local en el distrito de Breña en 1897; por ese entonces ubicado en las afueras de la ciudad de Lima. A comienzos de siglo XX, el distrito de Breña se convirtió en una zona urbana como parte de la expansión natural de la capital; es así como en 1917 comienza a funcionar en un local de adobe y quincha la escuela secundaria. No obstante, en 1918 comienza la construcción de un nuevo local hecho de albañilería y concreto, cuya etapa de remodelación se extendería hasta 1940. En 1964 se construyó la Escuela Parroquial de Varones “María Auxiliadora” (actual edificio de educación primaria), la cual se fusiona con el anterior edificio descrito en 1990. Es aquí cuando se adoptó el nombre de colegio Salesiano “San Francisco de Sales”. Posteriormente, se edificaría el coliseo del colegio en 1996 y se iniciarían las últimas reformas al edificio de primaria en 2011 (Centro Salesiano de Comunicación, 2021). En la Figura 13 se ve la transformación del local del Colegio Salesiano.



Figura 13. Evolución estructural del colegio Salesiano en el año 1910, 1939 y 2017.

Fuente: Colegio Salesiano San Francisco de Sales.

En la actualidad, esta institución educativa cuenta con educación primaria y secundaria exclusivamente para varones. Asimismo, posee un área bruta de aproximadamente 27 000 m<sup>2</sup> y dos entradas principales: La primera en la Av. Brasil (entrada a secundaria) y la segunda en la Av. Huaraz (entrada a primaria). Además, posee los siguientes límites (Ver Figura 14):

- Al norte limita con la Basílica de María Auxiliadora y la inspectoría Salesiana
- Al sur limita con la Jr. Don Bosco

- Al oeste limita con el Jr. Huaraz
- Al este limita con la Av. Brasil



Figura 14. Ubicación del colegio Salesiano en Breña.

La presente investigación se enfocó únicamente al sector de secundaria (Ver Figura 15), debido a que su conjunto de edificios está aislado al de primaria. Además, el edificio del sector primaria recientemente ha sido remodelado con mejor tecnología y equipos ahorradores, por lo que no requiere de modificaciones en primera instancia. Aparte de ello, los servicios de agua y luz están separados, por lo que existen medidores exclusivos para el sector de secundaria, lo que facilitó el análisis de consumo energético e hídrico.



Figura 15. Área delimitada de estudio: sector de secundaria.

El área total del predio de secundaria es de 18 600 m<sup>2</sup> mientras que el área total techada es de 8 700 m<sup>2</sup>. Está conformado por 4 pabellones de aulas (Ver Figura 17), 1 área

administrativa, 1 comedor, 2 baños, 2 losas deportivas y un campo de fútbol. Se precisa que todos los edificios cuentan con una altura de 2 pisos.

Con respecto a las aulas, cada una posee un área de 68 m<sup>2</sup> (Ver Figura 16), lo que resulta un total 1 156 m<sup>2</sup> de área construida destinado a salones. Todas las aulas son típicas y cuentan con una computadora de uso exclusivo del docente, un proyector, un ventilador de techo, ventanas y una sola puerta de entrada.



*Figura 16.* Vista externa e interna de un aula típica.



*Figura 17.* Dos de los pabellones de aulas.

Existen 2 servicios higiénicos, uno de ellos más grande y con mayor cantidad de aparatos sanitarios. En estos baños están instalados urinarios, inodoros y lavamanos (Ver Figura 18). Además, alrededor de los patios están ubicados dos conjuntos de lavamanos y un par de bebederos.



*Figura 18.* Baños de secundaria.

El resto de área construida es dedicada a diversos rubros como salones de cómputo, auditorios, sala de profesores, sala de banda, sala de deportes, laboratorio, comedor y oficinas administrativas. Además, existen las áreas recreativas como las losas deportivas que abarcan un área total de 3 155 m<sup>2</sup>. Finalmente, las áreas verdes correspondientes a jardinería y al campo de fútbol abarcan 1 350 y 4 600 m<sup>2</sup> respectivamente.

El año de análisis definido para realizar el estudio de caso es el 2019, debido a que representa las condiciones normales antes de la pandemia provocada por el COVID-19. Entonces, todos los datos recolectados para esta tesis, como recibos de agua y luz corresponden a dicho año. En adición, para el capítulo de confort térmico y ventilación se buscará simular la estancia regular de alumnos y personal.

Los datos con respecto a la población de análisis fueron extraídos del censo de 2019, en el que se reportó que el número de alumnos en la secundaria fue de 622; mientras que se contó con 29 docentes. Esta cantidad se dividió en 17 aulas, con un promedio de 37 alumnos en cada una (Estadística de la Calidad Educativa [ESCALE], 2020). Cabe resaltar que el personal administrativo fue excluido de la población debido a que no representa una cantidad significativa.

## 5. Análisis de energía eléctrica, recursos hídricos e interacción infraestructura-usuario

### 5.1. Energía eléctrica

#### 5.1.1. Análisis de consumo eléctrico

Para la evaluación de la demanda de energía eléctrica de la institución educativa se registraron los distintos medidores pertenecientes al predio en cuestión (Ver Tabla 9). Luego, se hicieron las gestiones para conseguir las lecturas de los medidores asociados con la Av. Brasil pues son los correspondientes al área de estudio presentada en la Figura 15.

Tabla 9. Listado de medidores de la institución educativa

Dirección del recibo	Número de suministro	Sección
Av. Brasil 328	367990	Administrativa
Av. Brasil 328	2364212	Secundaria
Av. Brasil 328	1850449	Secundaria
Av. Huaraz 1045	337561	Primaria
Av. Huaraz s/n	282015	Coliseo

Nota: Elaboración propia.

Debido a la ausencia de documentos oficiales que indiquen con certeza el área que abarca cada medidor ubicado en la Av. Brasil, se trabajó con los datos del medidor de la Av. Huaraz correspondiente al pabellón de primaria. Es así que, se utilizaron los datos del edificio de primaria (ver Figura 19, medidor colindante con la Av. Huaraz) con el motivo de encontrar un ratio representativo del consumo eléctrico con relación al área techada. Las lecturas de la Tabla 10 se sintetizan en la Figura 20 que muestra el consumo energético a lo largo del año previo al inicio de pandemia.



Figura 19. Vista en planta del pabellón de primaria (izquierda) y un pabellón representativo de secundaria (derecha).

Tabla 10. Consumo de energía eléctrica para el pabellón de primaria en el año 2019

Mes	Consumo (kWh)
Enero	110
Febrero	400
Marzo	700
Abril	800
Mayo	800
Junio	1 160
Julio	820
Agosto	770
Setiembre	1 000
Octubre	850
Noviembre	1 540
Diciembre	500

Nota: Datos extraídos de recibos de electricidad del colegio Salesiano. Ver Anexo 1.

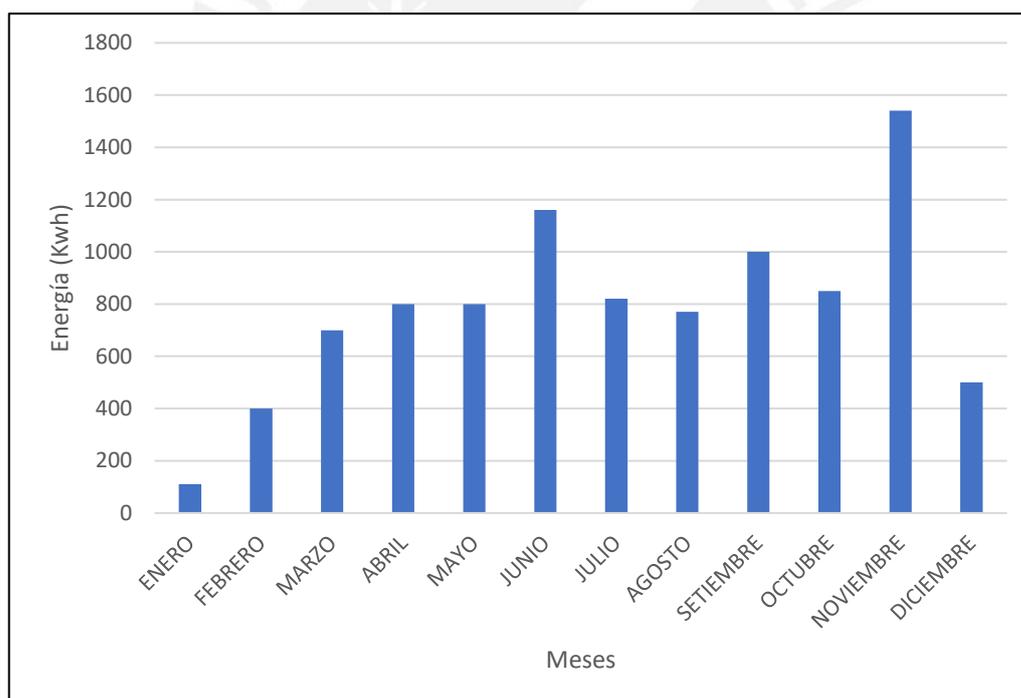


Figura 20. Consumo de energía eléctrica para el pabellón de primaria en el año 2019.

Como es de esperarse, los meses de mayor consumo son los correspondientes al año escolar que abarca desde el mes de marzo hasta comienzos de diciembre. En este sentido, el mes de noviembre presenta el valor máximo de energía con un pico de 1 160 kWh. Debido a que se espera un consumo en proporciones iguales durante el año escolar, lo más probable es

que los valores pico de junio, noviembre y septiembre se deban a pérdidas instrumentales. Por otro lado, el mes de enero correspondiente al periodo de vacaciones, representa el valor mínimo de consumo energético que es 110 kWh.

De la Figura 20 se puede obtener un consumo promedio anual (CP) que al dividirse con el área construida arroja una ratio de consumo eléctrico en kWh por m<sup>2</sup>.

Si bien el consumo promedio para el edificio de primaria es de 788 kW h, se opta por tomar un valor conservador de 1 000 kWh para el cálculo de la ratio (Ver Tabla 11). Entre otros motivos, debido a la ausencia de comparación entre equipos eléctricos de ambas sedes. No obstante, es más probable que los aparatos eléctricos, principalmente luminarias, de la edificación primaria representen un consumo menor al ser más modernos.

Tabla 11. Cálculo de ratio de consumo eléctrico para la institución educativa.

Consumo mensual promedio (kWh)	Consumo mensual promedio conservador (kWh)	Área techada parcial (m <sup>2</sup> )	Número de pisos	Área techada total (m <sup>2</sup> )	Ratio (kWh/m <sup>2</sup> )
788	1 000	900	3	2 700	0.37

Nota: Elaboración propia

La ratio obtenida para el edificio de primaria es de 0.37 kWh/m<sup>2</sup>. Es así, que, mediante la elaboración de un cuadro de área construida para el área de secundaria (Ver Tabla 12 y Figura 21), se puede estimar el consumo de este pabellón mediante el producto de estos dos valores.



Figura 21. Sectorización del área de estudio.

Tabla 12. Cálculo de área techada para la sección de estudio.

Sector	Descripción	Área techada parcial (m <sup>2</sup> )	Número de pisos	Área techada total (m <sup>2</sup> )
1	Aulas*	700	2	1 400
2	Aulas**	700	2	1 400
3	Aulas	700	2	1 400
4	Aulas	700	2	1 400
5	Comedor***	600	2	1 200
6	Salón de orquestina****	300	2	600
7	Oficinas Administrativas	650	2	1 300

Nota: Elaboración propia.

\*Sector considera una sala de profesores.

\*\*Sector considera una sala de cómputo.

\*\*\*Sector considera servicios higiénicos.

\*\*\*\* Sector considera servicios higiénicos.

$$\text{Area techada total} = 8700 \text{ m}^2$$

$$\text{Consumo mensual para secundaria} = 8700 \times 0.37 = 3222 \text{ kWh}$$

Una vez obtenido el consumo mensual de 3 222 kW h se puede distribuir de manera uniforme en los 30 días de un mes. De esta manera se obtiene el cálculo de la demanda de energía eléctrica al día. Debe notarse que, de esta demanda total se busca generar por lo menos un 30% de energía cuya fuente sea renovable.

$$\text{Consumo diario de energía} = \frac{3222}{30} = 107.5 \text{ kWh}$$

$$30\% \text{ de energía diaria demanda} = 0.3 \times 107.5 = 32.2 \text{ kWh}$$

Nótese que el sistema propuesto debe cumplir por lo menos con abastecer una demanda energética promedio de 32.2 kWh por día.

### 5.1.2. Propuesta sostenible de consumo eléctrico

Para mejorar el desempeño energético del colegio se propone el uso de paneles fotovoltaicos aislados. Se ha seleccionado el techo del pabellón 2 (Ver Figura 22) para la disposición del sistema fotovoltaico. El espacio disponible por cada techo es de aproximadamente 60 m de largo y 10 m de ancho. Debido a que no se encuentra ningún otro dispositivo instalado en estos lugares, el área neta puede disponerse sin ningún problema.



Figura 22. Área disponible para la implementación de sistemas fotovoltaicos de 600 m<sup>2</sup> (Sector 2)

Para iniciar con el diseño del sistema fotovoltaico, el consumo a trabajar debe transformarse a su equivalente en corriente directa que es la que producen los paneles. Asimismo, se debe seleccionar un voltaje operativo del sistema, tomando en cuenta que, los comerciales suelen ser 12 V, 24 V o 48 V. Así, con la Fórmula 1, se puede encontrar el Requerimiento diario de carga de corriente directa del sistema fotovoltaico en Ah. Nótese la conversión de unidades de kWh a Wh y la elección de 48 V como voltaje operativo de sistema.

$$R_{dc} = \frac{32.2 \times 1000}{48 \times 0.95} = 702 \text{ Ah}$$

Debido a que algunos componentes del sistema requieren energía para funcionar como los reguladores de carga y batería, se suele incrementar el valor obtenido en el paso previo entre 20% y 30%. Esto para considerar las pérdidas provocadas por estos componentes adicionales. De esta manera, se usa la Fórmula 2 para hallar el requerimiento de carga total.

$$R_{dc\ total} = 1.2 \times 702 = 842\ Ah$$

De forma paralela se debe considerar un valor apropiado para la irradiación (kWh/m<sup>2</sup>) en el área de estudio. Este depende de la geográfica del lugar y permite cuantificar las horas de sol equivalente o ESH, por sus siglas en inglés, que no son más que la irradiación que se recibe en un día promedio (kWh/m<sup>2</sup>/día).

A continuación, se detalla tres formas distintas de hallar la irradiación diaria, para las cuales se debe tener en cuenta las coordenadas geográficas de la institución educativa.

Latitud: 12°03'46.19" S

Longitud: 77°02'37.46" O

### ***Software Meteonorm***

Se debe ingresar al presente software con la latitud y longitud de la institución educativa. Consecuentemente el programa arroja la Tabla 13 de valores mensuales de irradiación.

*Tabla 13. Valores de irradiación mensual en la institución educativa*

<b>Mes</b>	<b>Gh (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
Enero	212
Febrero	187
Marzo	214
Abril	191
Mayo	171
Junio	143
Julio	160
Agosto	164
Setiembre	173
Octubre	194
Noviembre	192
Diciembre	209

*Nota: Datos extraídos del programa Meteonorm.*

Después, se procesa la información para obtener la irradiación por día (Ver Tabla 14), teniendo en cuenta el número de días de cada mes. De esta manera se calcula el valor de 6.06 kWh/m<sup>2</sup> día para la irradiación promedio diaria según el software METEONORM (Gh prom 1).

*Tabla 14. Valores de irradiación por día en la institución educativa*

Mes	Gh (kWh/m <sup>2</sup> )	Días	Gh (kWh/m <sup>2</sup> día)	Gh prom 1 (kWh/m <sup>2</sup> día)
Enero	212	31	6.84	6.06
Febrero	187	28	6.68	6.06
Marzo	214	31	6.9	6.06
Abril	191	30	6.37	6.06
Mayo	171	31	5.52	6.06
Junio	143	30	4.77	6.06
Julio	160	31	5.16	6.06
Agosto	164	31	5.29	6.06
Setiembre	173	30	5.77	6.06
Octubre	194	31	6.26	6.06
Noviembre	192	30	6.40	6.06
Diciembre	209	31	6.74	6.06

*Nota: Elaboración propia*

### **Software Global Solar Atlas**

Se debe ingresar al presente software con la latitud y longitud de la institución educativa. Consecuentemente el programa arroja el valor de 1717.9 kWh/m<sup>2</sup> día para la irradiación anual promedio. Es así que, para obtener la irradiación promedio diaria según el software GLOBAL SOLAR ATLAS (Gh prom 2) se divide este último valor estimado entre la cantidad de días del año.

$$Gh \text{ prom } 2 = \frac{1717.9}{365.25} = 4.7 \frac{kWh}{m^2 \text{ día}}$$

### **Atlas de Energía Solar del Perú**

En su sección de anexos, el documento en mención presenta un mapa de irradiación diaria promedio del cual se puede extraer para la ciudad de Lima el valor para la irradiación promedio diaria según el Atlas de Energía Solar del Perú (Gh prom 3).

$$Gh_{prom 3} = 5.25 \frac{Kwh}{m^2 \text{ dia}}$$

De esta manera, los datos extraídos se pueden reunir en el Figura 23 que se presenta a continuación.

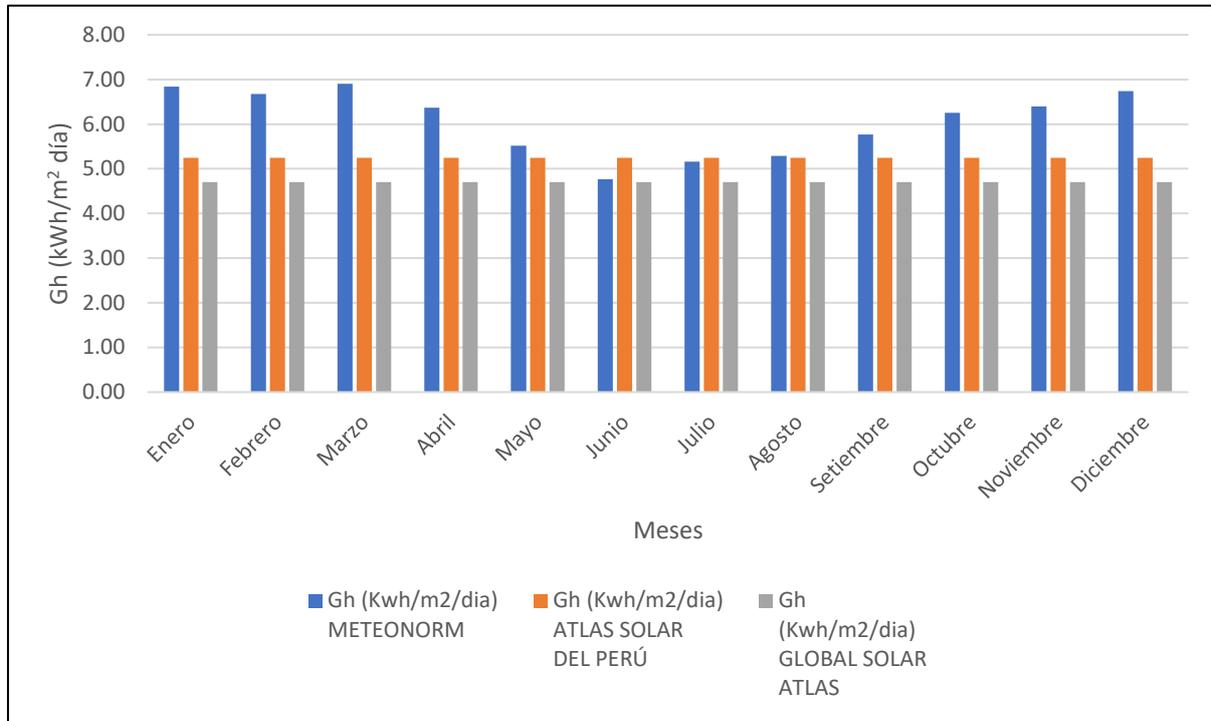


Figura 23. Irradiación diaria en la institución educativa.

Nótese que, para los meses de verano, el valor de irradiación es mayor que para los meses de invierno. Se alcanza un valor pico de 6.84 Kwh en enero, mientras que el software Global Atlas muestra un valor promedio de 4.7. Al ser este último el valor más bajo, se toma como referencia para el diseño con propósito conservado (Ver Fórmula 3).

Luego, con la  $ESH = 4.7$ , mediante la Fórmula 4 se puede encontrar el requerimiento diario total de corriente directa que el sistema fotovoltaico debe proporcionar.

$$RC_{dc total} = \frac{842}{4.7} = 179 A$$

Entonces se debe seleccionar un modelo comercial que posea valores apropiados de voltaje y de corriente generada en su máxima potencia, que permitan establecer un sistema fotovoltaico distribuido que pueda encajar en el área destinada.

Para fines prácticos se toma el modelo distribuido por la empresa Novum Solar, de la marca Jinko Solar, modelo “CHEETAH” que posee las siguientes características según la Tabla 15 (Ver Anexo 2). Se elige este modelo y marca debido a su comercialidad, pues el producto se puede comprar inclusive en la página de internet del distribuidor.

Tabla 15. Valores de diseño del panel Jinko Solar Cheetah

Características	Valores
Potencia máxima (Pmax)	400 W
Tensión a potencia máxima (Vmpp)	41.7 V
Corriente a potencia máxima (Impp)	9.6 A
Longitud (l)	2.008 m
Ancho (a)	1.002 m

Nota: Datos extraídos de Ficha técnica del panel Jinko Solar Cheetah.

Para el cálculo de paneles en paralelos se aplica la Fórmula 5.

$$\# PP = \frac{179}{9.6} = 19$$

Para el cálculo de paneles en serie se aplica la Fórmula 6.

$$\# PS = \frac{48}{41.7} = 2$$

En lo sucesivo, se calcula el número de paneles como la multiplicación de los dos valores antes obtenido. Lo que proporciona un valor de 38 paneles solares. De aquí se desprende que la potencia nominal del sistema es 15 kW, que se obtiene de multiplicar el número de paneles y la potencia máxima (Pmax) de cada uno de ellos.

Cabe resaltar que el valor de irradiancia suele aumentar si es que se toma el ángulo de inclinación óptimo de inclinación con respecto a la horizontal que se obtiene con la Fórmula 7.

$$\alpha_{opt} = 3.7 + (0.69 \times |12|) = 12^\circ$$

Se debe observar que, si bien el ángulo óptimo es de 12°, es más práctico tomar un valor de 15° para facilitar la limpieza de los módulos y evitar que el panel pierda eficiencia. Otro

punto importante, es orientar los paneles hacia el norte. Esto debido a que, en el caso de los países ubicados en el hemisferio sur, el sol se encuentra hacia el norte más días del año (Alvarez, 2017).

Además, se aplican la Fórmula 8, Fórmula 9 y Fórmula 10 para encontrar la distancia mínima entre dos soportes de paneles.

$$h = 2.008 \operatorname{sen} (15^\circ) = 0.55 \text{ m}$$

$$d = \frac{0.55}{\operatorname{tg} (61 - 12)} = 0.5 \text{ m}$$

$$D \text{ min} = 0.5 + 2.008 \cos(12^\circ) = 2.44 \text{ m}$$

Se observa que la distancia mínima entre la parte inferior de dos paneles consecutivos es de 2.44 m, lo que denota la inferencia de que 45 cm debe ser el espaciamiento entre las filas de los respectivos módulos. Esto considerando que la longitud del panel es de 2 m.

Para el dimensionamiento del banco de baterías, se debe utilizar la Fórmula 11 para calcular la capacidad del banco de baterías. Se debe considerar que el porcentaje de la demanda de consumo eléctrico es equiparable a un uso residencial. Por tanto, el tiempo de autonomía de las baterías suele ser menor a 5 días (Smets, et al., 2015). Además, para no disminuir el tiempo de vida de las baterías, se sugiere que estas utilicen solo el 80% de lo que se acumula (Profundidad de descarga).

$$C_{bb} = \frac{842 \times 2}{0.8} = 2105 \text{ Ah}$$

Con esta cantidad determinada, se procede a utilizar la Fórmula 12 y Fórmula 13 para encontrar el número de baterías en serie y en paralelo. Para este diseño esquemático se sugieren utilizar las baterías solares de tipo plomo con electrolito en gel modelo RITAR 12V-260Ah DG GEL, cuyo voltaje es de 12 V y su carga individual es de 260 Ah (Ver Anexo 3).

$$\# BS = \frac{48}{12} = 4$$

$$\# BP = \frac{2105}{260} = 8$$

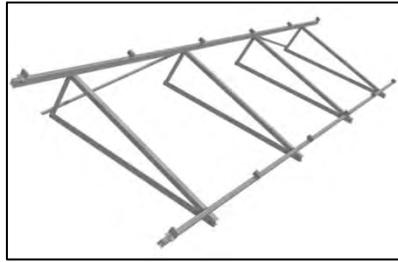
Entonces se requiere como mínimo 32 baterías para implementar el sistema fotovoltaico. Como los fabricantes recomiendan no realizar conexiones mixtas de más de 8 baterías (Novum Solar, 2021), se sugiere trabajar con 4 grupos que contengan 4 baterías en serie y 2 en paralelo.

Si bien esta investigación no profundiza el aspecto económico, este diseño esquemático tendría como mínimo una inversión de 220 dólares por panel y 550.85 dólares por batería según la información presentada en la página web del distribuidor en el año 2021 (Novum Solar, 2021). Por lo que la inversión aproximada sería de 26 000 dólares. Como se aprecia, el costo de baterías suele ser el gasto más elevado en una instalación mediana como la presentada. En este sentido se podría contemplar la instalación de un sistema conectado a la red, que prescinde de baterías y de controladores de carga. No obstante, debido a que el sistema de abastecimiento eléctrico peruano no presenta un marco legislativo vigente para la micro generación (Proyecto de Ley 719-2021-CR), se han cuantificado la cantidad de baterías necesarias para que el sistema fotovoltaico trabaje con autonomía.

En adición, como se precisó en el acápite de metodología este diseño esquemático no considera la selección del inversor, controlador de cargas, cableado y las respectivas protecciones del sistema. Aun así, a continuación, se detallan ciertas recomendaciones para los elementos que complementan el arreglo fotovoltaico como lo son el sistema de sujeción, el controlador de carga, el inversor y el cableado eléctrico.

#### *Sistema de sujeción*

Para darle la inclinación de  $15^\circ$  a los 38 paneles es indispensable la instalación de un soporte metálico para superficie plana (Ver Figura 24). Estos suelen encontrarse en el mercado fabricados de aluminio y con una inclinación regulable o fija. Para la elección adecuada se debe tener en cuenta las dimensiones del panel y si la disposición de estos es horizontal o vertical. Se recomienda usar el sistema de sujeción de 2 paneles horizontales anclados al techo con ángulo fijo de  $15^\circ$  para el presente caso. Además de notar que un sistema más cercano al suelo puede acarrear menor gasto. La marca AUTOSOLAR brinda los dispositivos en mención a un precio aproximado de 135 dólares según la información publicada en su página web en el año 2021 (AUTOSOLAR,2021). Para el presente arreglo se precisan de 19 soportes para dos paneles.



*Figura 24.* Sistema de sujeción para paneles verticales

*Fuente:* AUTOSOLAR, 2021.

### *Controlador de carga*

Es conveniente el uso de reguladores de carga para evitar que las baterías se sobrecarguen o se descarguen de manera total (Ver Figura 25), puesto esto podría incurrir con severidad en el tiempo de vida de estas. Asimismo, es necesario que estos dispositivos puedan soportar la corriente de cortocircuito establecida por el panel seleccionado.

Para la selección del controlador de carga se debe tomar en cuenta que el número de ramas en paralelo de paneles es 19. Además de que la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ) de cada panel seleccionado es de 10.36 A como se aprecia en su ficha técnica. De esta manera, se multiplican ambos valores para poder obtener la intensidad mínima que requiere el controlador. Para este caso en particular resultan ser 246 amperios. En el mercado se pueden encontrar reguladores con intensidades que oscilan entre 10 A y 100 A. Debido a esto, será necesario contar con aproximadamente 3 controladores de carga para el arreglo fotovoltaico presentado. En la página de Novum Solar se encuentran estos dispositivos con un precio promedio de 1000 dólares según la información publicada en su página web en el año 2021 (NOVUM SOLAR, 2021).



*Figura 25.* Controlador de Carga SmartSolar de 100 A de corriente.

*Fuente:* Novum Solar, 2021.

## *Inversor*

Para la selección del inversor central, se debe tener en cuenta la potencia total del arreglo fotovoltaico. Al considerar una eficiencia del 95%, que es típica de este aparato, se puede encontrar la potencia de carga (Smets et al., 2015). Esta potencia se ha de comparar con las potencias comerciales de los inversores en el mercado. Como se conoce que la potencia nominal del arreglo es aproximadamente 15 kW, se recomienda el uso de un inversor monofásico (Ver Figura 26). Estos garantizan un mayor tiempo de vida de los aparatos electrónicos y replican la corriente proporcionada por la red (Escobedo, 2018). Debido a la cantidad de paneles en el arreglo es poco probable que se necesite más de un inversor para este sistema.



*Figura 26.* Inversor Fronius monofásico con rangos de potencia entre 3.8 y 15 kW.

Fuente: NOVUM SOLAR, 2021.

## *Cableado*

Para el cableado del sistema se recomienda uso del cable fotovoltaico o cable PV. Este debe conectar los paneles entre sí en paralelo o en serie. Luego, las conexiones deben desembocar primero en una caja combinadora, que es el elemento donde se regula el voltaje y amperaje que ingresará al inversor por cada cadena de paneles. En esta es común que se albergue el supresor de picos, así como también los fusibles. Desde este punto el cableado debe llegar al controlador de cargas y a las baterías a cargar con corriente directa. Después, el cableado se dirige al inversor, pasando por la respectiva protección. Una vez que la corriente continua haya sido transformada en alterna, se debe proseguir hasta las conexiones de los aparatos a abastecer.

Se recomienda que los cables fotovoltaicos sean conductores de cobre en calibres de 12, 10 u 8 AWG. Mientras que, los cables alimentadores sean conductores de aluminio con un calibre 1/0 AWG. En adición se sugiere que el voltaje de estos varíe entre 1 y 2 kV (ANIXTER, 2020).

Como sugerencia adicional, se plantea la colocación de conectores MC4 o conectores glándulas. Estos dispositivos se ubican en la interfaz del cableado y el dispositivo que conectan para evitar el acceso de agua, polvo o inclusive, vapores de gases al sistema que podrían interferir con su función (RBJLABS, 2020).

Finalmente, se puede estimar la cantidad anual de CO<sub>2</sub> que dejará de emitirse al medio ambiente (CO<sub>2</sub> NE), considerando que 1 kWh de electricidad es equivalente a 0.331 kg de CO<sub>2</sub> (Vazquez et al., 2015). Para este fin se debe tener como referencia que del consumo mensual de 3 222 kWh se mantendrá constante cada mes y que de este valor el 30% será proveniente de energía limpia. De este modo, anualmente se dejarían de emitir aproximadamente 4 toneladas de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

$$CO_2 NE = 3222 \frac{kWh}{mes} \times 12 meses \times 0.3 \times 0.331 \frac{kg}{kWh} = 3839 kg de CO_2$$

Se adjunta a continuación un esquema del sistema fotovoltaico propuesto (Ver Figura 27). Por otra parte, en la Figura 28 se distingue un detalle de perfil donde se observa el soporte y el ángulo de inclinación del panel. Finalmente, en los anexos se puede apreciar de mejor manera una vista en planta en escala 1/200 (Ver Anexo 16).

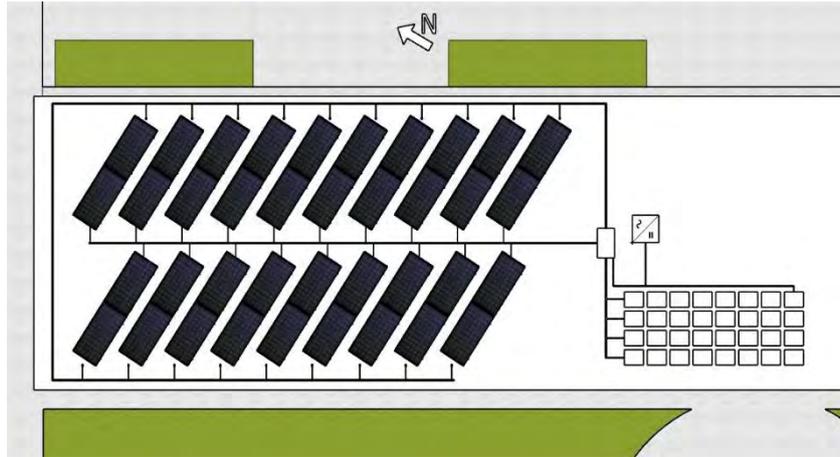


Figura 27. Vista en planta de los 38 paneles y 32 baterías en el pabellón 2 de secundaria.

Nota: Elaboración propia.



Figura 28. Detalle de soportes del panel con inclinación de 15°.

Nota: Elaboración propia.

## 5.2. Recursos hídricos

### 5.2.1. Análisis de consumo hídrico

Para el análisis del consumo hídrico del colegio Salesiano se recolectó información sobre el volumen de agua potable consumido en todos los meses del año 2019. Estos datos fueron brindados por parte de la administración del colegio mediante los recibos de agua de la empresa Sedapal, cuyo medidor está ubicado en la Av. Brasil N°328.

En este inciso se detallará la información obtenida de cada uno de los factores de análisis y se calculará el gasto real de todos los aparatos sanitarios, en base a los gastos probables estipulados en la Norma IS. 010.

#### *Consumo hídrico en el 2019*

Con la recolección de recibos, se obtuvo un consumo hídrico mensual exacto del pabellón de secundaria del colegio. El volumen de agua potable registrado por la empresa de servicio es detallado en la Tabla 16 y representado por el Figura 29.

*Tabla 16. Consumo mensual de agua.*

Mes	Consumo (m <sup>3</sup> )
Enero	1 029
Febrero	989
Marzo	992
Abril	1 450
Mayo	1 311
Junio	847
Julio	930
Agosto	873
Setiembre	1 068
Octubre	1 101
Noviembre	1 150
Diciembre	1 240

*Nota: Datos extraídos de recibos de agua del colegio Salesiano. Ver Anexo 5 y Anexo 6*

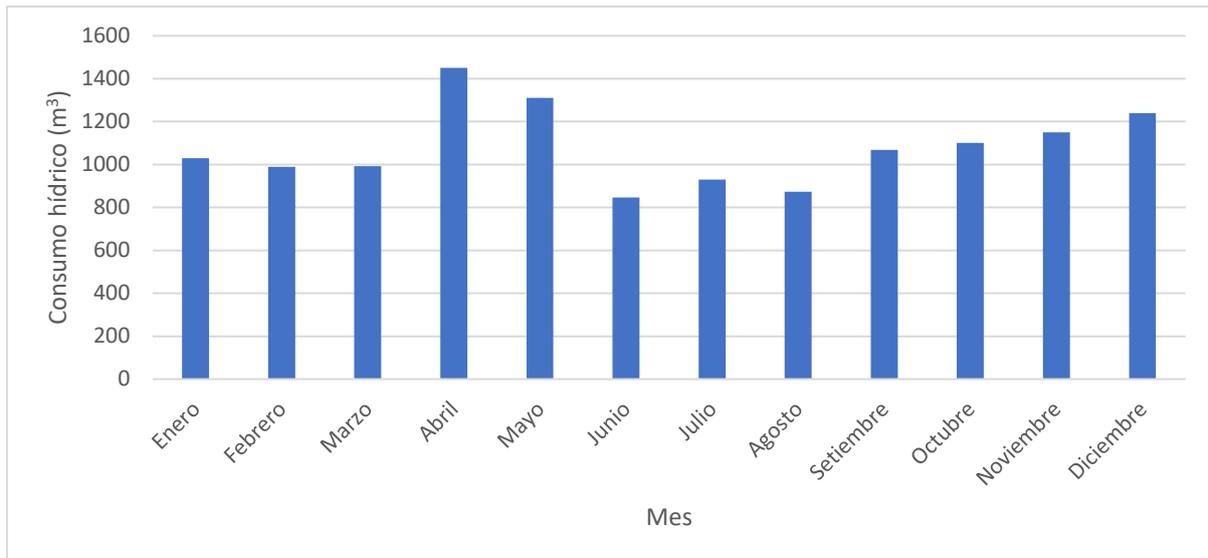


Figura 29. Consumo hídrico en el 2019.

De la gráfica, se detectan picos en los meses de abril y mayo con un 1 450 m<sup>3</sup> y 1 311 m<sup>3</sup> respectivamente, los cuales pueden deberse principalmente al mal funcionamiento de los aparatos sanitarios ocasionados por el mal uso y operación. Por otro lado, los meses de enero y febrero presentan consumos cercanos a 1 000 m<sup>3</sup>, ya que, a pesar de ser periodos no escolares, durante estos meses se riega con mayor frecuencia el campo de futbol debido a actividades deportivas durante las vacaciones.

#### *Aparatos sanitarios*

El colegio cuenta con dos ambientes de servicios higiénicos, además de dos conjuntos de lavaderos y un par de bebederos, los cuales están localizados en la Figura 30.



Figura 30. Ubicación de los baños, lavaderos y bebederos.

Los aparatos sanitarios de cada baño serán detallados en la Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19.

Tabla 17. Aparatos sanitarios del Baño 01

Aparato	Cantidad	Características	Observaciones
Inodoro	2	Fluxómetro marca Trébol (presión)	6 L
Lavamanos	7	Marca Vainsa, llave temporizada	-
Urinario	5	Marca Trébol	3.8 L

Nota: Elaboración propia.



Figura 31. Lavamanos y urinarios del Baño 01.

Tabla 18. Aparatos sanitarios del Baño 02

Aparato	Cantidad	Características	Observaciones
Inodoro	16	Fluxómetro marca Trébol (presión)	6 L
Lavamanos	16	Marca Helvex	-
Urinario	18	Marca Trébol	3.8 L

Nota: Elaboración propia.

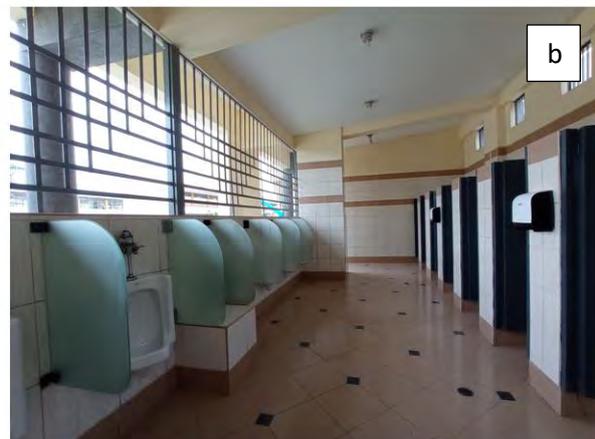
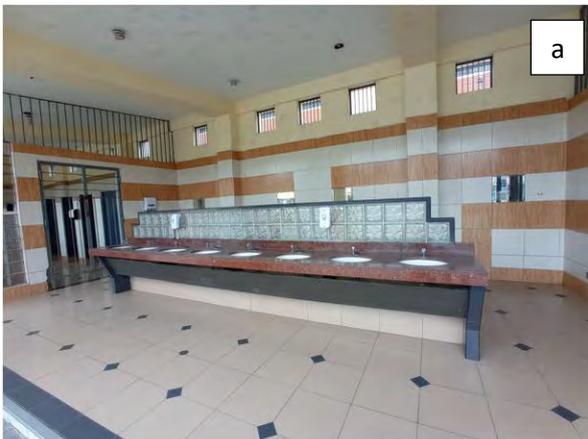


Figura 32. Lavamanos (a) y urinarios del Baño 02 (b).

A continuación, se presentan los detalles cuantitativos y cualitativos de los otros aparatos sanitarios externos a los servicios higiénicos.

*Tabla 19. Aparatos sanitarios exteriores*

<b>Aparato</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Características</b>
Bebederos	2	Llave de botón tipo pato
Lavadero 01	5	Llave temporizada
Lavadero 02	10	Llave temporizada

*Nota: Elaboración propia.*



*Figura 33. Bebederos (a), lavadero 01 (b) y lavadero 02 (c, d).*

### *Agua para riego de áreas verdes*

El colegio también cuenta con jardines en varias zonas del pabellón de secundaria; así como un estadio de fútbol de césped natural (Ver Figura 34). Como tal, necesitan ser regadas con frecuencia debido a la ausencia de lluvias en Lima, por lo que representa un consumo hídrico considerable. Estas zonas serán localizadas a continuación.



Figura 34. Ubicación de áreas verdes.

Los detalles sobre el área de cada uno serán expuestos en la tabla siguiente.

Tabla 20. Áreas verdes

Áreas verdes	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )	Área parcial (m <sup>2</sup> )
Jardín 01 y 02	15	8.4	126
Jardín central	4	105	420
Jardín administración	1	515	515
Estadio	1	4 650	4 650

Nota: Elaboración propia.

### Usuarios

La cantidad de personas o usuarios que hacen uso de la infraestructura escolar y a la vez consumen el recurso hídrico se obtuvo del censo realizado por el Ministerio de educación, denominado ESCALE, abreviatura de “Estadística de la calidad educativa” (MINEDU, 2019).

Los usuarios han sido agrupados en las categorías de personal administrativo, personal docente y alumnado (Ver Tabla 21). Aunque es posible que más usuarios hagan uso del agua potable, dicha cantidad sería despreciable dado la gran masa del alumnado considerado.

Tabla 21. Cantidad de usuarios del colegio Salesiano.

Usuarios	Cantidad
Personal administrativo	50
Personal docente	29
Alumnado	622
<b>TOTAL</b>	<b>701</b>

Nota: Datos obtenidos de ESCALE (MINEDU, 2019)

Entonces, esta cantidad de usuarios permite aproximar un consumo mensual de la institución educativa mediante la tabla de dotación de agua para locales institucionales de la norma IS. 010 (Ver Tabla 22).

Tabla 22. Dotación de agua para locales institucionales

Tipo de local institucional	Dotación diaria por persona
Alumnado y personal no residente	50 L
Alumnado y personal residente*	200 L

Nota: Extraído de la norma de Instalaciones Sanitarias IS. 010.

\* Aplicable a residencias estudiantiles, donde el alumnado vive en la institución.

Al considerarse personal no residente, se contará con una dotación diaria de 50 L por persona, por lo que se calcula lo siguiente:

$$\text{Consumo diario} = 50 \times 701 = 35\,050 \text{ L}$$

$$\text{Consumo mensual} = 35\,050 \times 30 = 1\,051\,500 \text{ L}$$

$$\text{Consumo mensual} = 1\,051.5 \text{ m}^3$$

Dicho valor es muy cercano al consumo mensual promedio ( $1\,081.67 \text{ m}^3$ ), por lo que se verifica la influencia de la cantidad de usuarios en el consumo hídrico del colegio.

#### *Cálculo de consumo de aparatos sanitarios*

En primer lugar, se necesita conocer el porcentaje de consumo hídrico de los aparatos sanitarios en la institución educativa. Para ello, es imprescindible calcular el consumo de cada uno de ellos tomando como referencia los establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones IS. 010 (Anexo 2). Sin embargo, también se debe considerar la probabilidad de gasto, por lo que se utilizará el método Hunter del Anexo 3 para determinar dicho consumo. Entonces, con el conjunto de aparatos y sus respectivos gastos probables, se calcula el

porcentaje de consumo que aportan al consumo total de un periodo de tiempo específico (Ver Tabla 23).

Tabla 23. Consumo estimado de aparatos sanitarios según método de Hunter

Aparato	Cantidad	UG/aparato	UG	Consumo (l/s)	Consumo diario (l/día) *
Inodoro 02	16	8	128	1.9	6 840
Lavamanos 02	16	2	32	0.79	2 844
Urinario 02	18	5	90	1.56	5 616
Inodoro 01	2	8	16	0.46	1 656
Lavamanos 01	7	2	14	0.42	1 512
Urinario 01	5	5	25	0.64	2 304
Bebederos	2	1	2	0.1	360
Lavatorios Kiosco	5	2	10	0.43	1 548
Lavatorios estadio	10	2	20	0.54	1 944

Nota: \* Se considera 1 hora de uso diario de cada aparato sanitario debido al tiempo disponible en la entrada, descansos y salida del colegio.

UG: Unidades de gasto

Para el agua destinada al riego de áreas verdes, se considera el consumo estimado en la norma IS 010 que dicta 2 litros/m<sup>2</sup>/día. Este valor se multiplicará por los 30 días del mes; sin embargo, este producto se adoptará únicamente a las áreas verdes correspondientes a los jardines, mientras que para el estadio solo se consideran 4 días de riego al mes debido a su riego semanal.

Como el área de jardinería comprende un total de 1 061 m<sup>2</sup> de áreas verdes, entonces el gasto diario se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Gasto en riego diario} = 1061 \times 2$$

$$\text{Gasto en riego diario} = 2\,122 \text{ L/día}$$

El área del estadio de fútbol es de 4 650 m<sup>2</sup>, por lo que su gasto mensual se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Gasto en riego mensual} = 4650 \times 2 \times 4 = 37\,200 \text{ L/mes}$$

Con los gastos obtenidos, se calcula el porcentaje de aporte en la Tabla 24 y se muestra en la Figura 35.

Tabla 24. Porcentaje de consumo hídrico de aparatos sanitarios.

Aparatos	Consumo diario (l/día)	Consumo mensual(l/mes)	% de consumo
Inodoro 02	6 840	205 200	24.44%
Lavamanos 02	2 844	85 320	10.16%
Urinario 02	5 616	168 480	20.07%
Inodoro 01	1 656	49 680	5.92%
Lavamanos 01	1 512	45 360	5.40%
Urinario 01	2 304	69 120	8.23%
Bebederos	360	10 800	1.29%
Lavatorios quiosco	1 548	46 440	5.53%
Lavatorios estadio	1 944	58 320	6.95%
Riego jardines	2 122	63 660	7.58%
Riego estadio	9300	37 200	4.43%
<b>Total</b>	<b>36 046</b>	<b>839 580</b>	<b>100%</b>

Nota: Elaboración propia

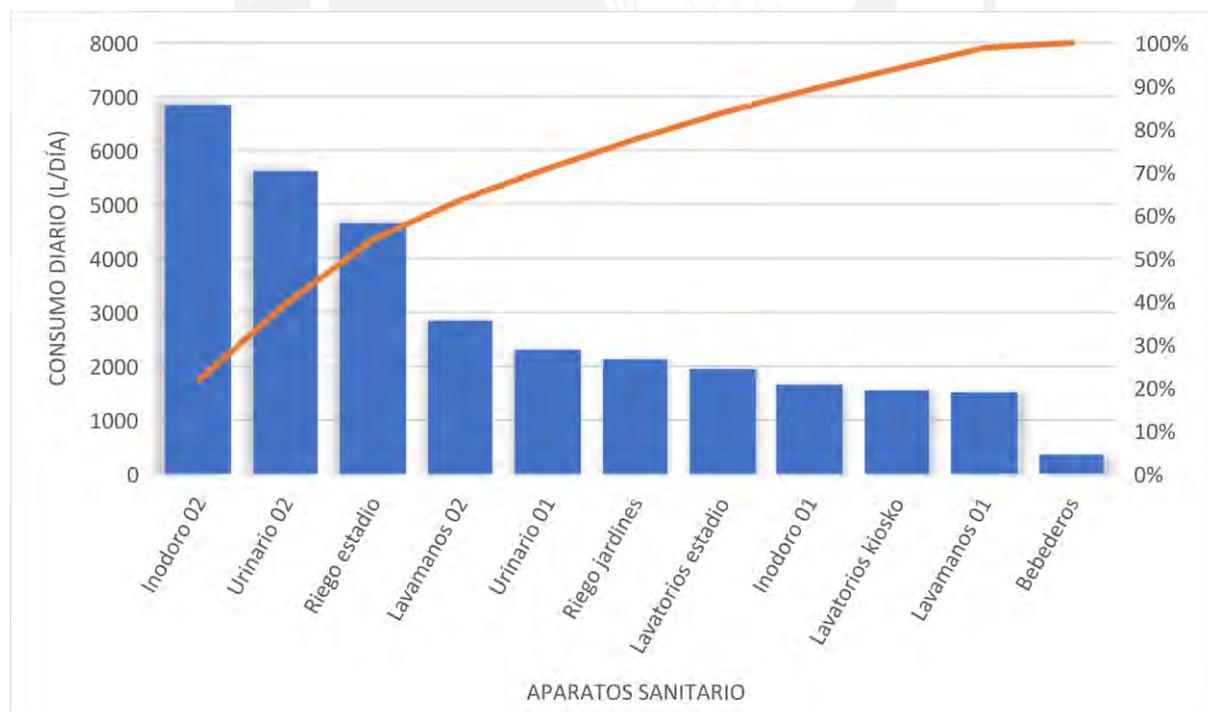


Figura 35. Consumo hídrico de los aparatos sanitarios.

Fuente: Elaboración propia.

### **5.2.2. Propuesta sostenible de consumo hídrico**

#### *Sistemas de tratamiento de aguas grises*

A continuación, se analizarán dos alternativas de tratamiento de aguas grises: Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y una Planta de tratamiento de aguas grises:

El humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es un sistema que imita a los humedales naturales y ofrece un tratamiento eficiente que remueve contaminantes. De esta manera, luego de procesos biológicos, se degradan las sustancias orgánicas por lo que se impide la regeneración de microorganismos y emisión de malos olores. Ello conlleva a una optimización del recurso hídrico ya que es un sistema adecuado para almacenar agua tratada por periodos de tiempo prolongados (Valencia, 2019).

La importancia de que el flujo sea subsuperficial radica en las necesidades, nivel de tratamiento y condiciones del lugar. Ya que el agua será reciclada únicamente para vaciar inodoros, urinarios y riego de áreas verdes, y el clima cálido por las mañanas de Lima puede ocasionar proliferación de mosquitos, se escoge el flujo subsuperficial que además es horizontal por las condiciones de espacio de instalación en el colegio.

La planta comprende de un tratamiento primario y otro secundario. El primario se realiza mediante un tanque de sedimentación o trampa de grasas para eliminar sólidos suspendidos, grasas y aceites antes de ingresar al humedal. Luego se distribuye uniformemente en la superficie del humedal artificial, que consiste en una cama de sustrato compuesto por material permeable, como arena o grava, en la que se cultivan plantas acuáticas.

El tratamiento secundario es el biológico, a medida que el agua gris fluye a través del sustrato del humedal, se producen procesos biológicos naturales en los cuales las plantas y los microorganismos presentes en el sustrato y las raíces de las plantas degradan y metabolizan los contaminantes orgánicos presentes en el agua gris, convirtiéndolos en nutrientes o productos menos contaminantes. El sustrato del humedal actúa como un filtro natural que retiene sólidos suspendidos y partículas en el agua gris a medida que esta fluye a través de la cama de sustrato. Los microorganismos y las raíces de las plantas también pueden oxidar y adsorber ciertos contaminantes, como nutrientes y metales, ayudando a purificar el agua gris.

Posteriormente, y luego de pasar a través del sustrato del humedal, el agua gris tratada puede ser desinfectada mediante procesos como la exposición a la radiación ultravioleta (UV) o la dosificación de cloro para eliminar microorganismos patógenos antes de su reutilización. El agua tratada será bombeada y almacenada en un tanque elevado ubicado en el 3er piso del pabellón del comedor (Ver Figura 36).



Figura 36. Esquema de ubicación del humedal artificial.

La ventaja de este sistema radica en que es un proceso natural por lo que no requiere de aparatos susceptibles a un mantenimiento por personal especializado, como lo es el siguiente sistema que se detallará líneas abajo.

Sin embargo, dado que el tratamiento depende de las plantas, y estas a su vez del ambiente, contaminación, humedad, entre otros factores; la calidad y eficiencia del tratamiento es variable. En este sentido, para una edificación como una institución educativa, lo ideal es trabajar con un sistema con eficiencia y calidad uniforme durante su funcionamiento. Por ello, a continuación, se analiza la siguiente opción para tratar las aguas grises.

El otro sistema posible de implementar en la institución educativa es una planta de tratamiento de aguas grises (PTAG). Esta planta debe ser capaz de reciclar 20 m<sup>3</sup>/día de aguas grises provenientes de los lavamanos. El tratamiento consiste en cinco procesos en total, para que finalmente se obtenga agua apta para su reutilización en inodoros, urinarios y riego de áreas verdes.

Las aguas grises se recopilan en un tanque como punto de inicio del tratamiento. En primer lugar, se agrega un coagulante y un oxidante al agua gris en dosis controladas a través de un dosificador. El coagulante ayuda a agrupar las partículas suspendidas y los contaminantes en el agua, mientras que el oxidante ayuda a eliminar los microorganismos y los compuestos orgánicos.

En segundo lugar y después de la dosificación de coagulante y oxidante, el agua gris se dirige a un sedimentador, donde las partículas coaguladas se asientan en el fondo del sedimentador debido a la gravedad, formando lodos o lodos sedimentados. El agua tratada en el sedimentador se bombea mediante dos electrobombas de 1 HP para alimentar el agua tratada hacia los filtros automáticos. El trabajo de las electrobombas es gobernado por un tablero eléctrico de control.

En tercer lugar, el agua tratada se pasa a través de un filtro de arena, que retiene las partículas suspendidas restantes y los sólidos sedimentados en el agua. Viene con cuarzo de diversa granulometría y actúan como un medio filtrante que atrapa las impurezas.

En cuarto lugar, después de pasar por el filtro de arena, el agua tratada fluye a través de un filtro de carbón activado, que adsorbe compuestos orgánicos, cloro residual y otros contaminantes que puedan quedar en el agua. También puede aplicarse un filtro pulidor adicional de microfiltración para eliminar las partículas más pequeñas y asegurar una alta calidad del agua tratada antes de la desinfección final.

En quinto lugar, se agrega cloro al agua tratada a través de un dosificador para eliminar los microorganismos remanentes y asegurar que el agua sea segura para su uso. De esta manera, el agua tratada y desinfectada se almacena en un tanque de agua tratada desde donde se puede distribuir para su posterior reutilización en inodoros, urinarios y riego de áreas verdes.

Dado las dimensiones de aproximadamente 20 m<sup>2</sup> de esta PTAG, es factible su instalación en la zona libre al lado del Baño 01 (ver Figura 37). Su funcionamiento es práctico y requiere la adquisición de los equipos como los filtros, bombas, tuberías y cisternas para su operación (ver Figura 38). En el Perú existen empresas dedicadas al suministro, instalación y mantenimiento de dichos equipos, por lo que este sistema es accesible.



Figura 37. Localización de la PTAG.

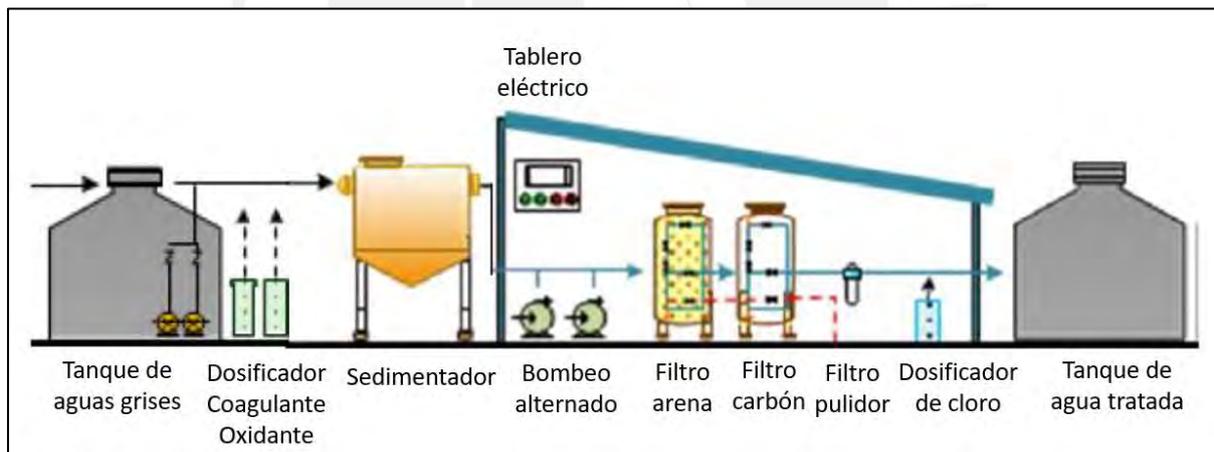


Figura 38. Diagrama de flujo de la PTAG.

Fuente: Adaptado de Aquafil Water Technologies.

Entonces, luego de analizar ambas propuestas, se optó por la planta de tratamiento de aguas grises (PTAG). La principal razón de esta elección radica en la tecnología empleada y la menor área que ocupa; además de ser menos susceptible a fallas en comparación con un humedal, cuyos componentes naturales y biológicos pueden ser tan variables que, de fallar, sería complejo hallar el defecto.

### Estimación de aguas grises a tratar

Conocidos los porcentajes de consumo de todos los aparatos sanitarios y el utilizado para riego obtenido de la Tabla 24, se puede calcular el consumo real compatibilizando dichos porcentajes con el consumo diario promedio.

El consumo diario promedio se obtiene del consumo mensual promedio hallado anteriormente.

$$\text{Consumo diario promedio} = \frac{1\ 081\ 667}{30} = 36\ 056\ L$$

De esta forma, se elaboró la Tabla 25 donde se describe el consumo diario de cada aparato.

Tabla 25. Consumo diario de aparatos sanitarios

Aparatos	Porcentaje de consumo	Consumo diario (L)
Inodoro 02**	24.44%	8 812
Lavamanos 02*	10.16%	3 664
Urinario 02**	20.07%	7 235
Inodoro 01**	5.92%	2 133
Lavamanos 01*	5.40%	1 948
Urinario 01**	8.23%	2 968
Bebederos	1.29%	464
Lavatorios quiosco*	5.53%	1 994
Lavatorios estadio*	6.95%	2 505
Riego jardines**	7.58%	2 734
Riego estadio**	4.43%	1 598
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>36 056</b>

Nota: Elaboración propia.

\* Aparatos cuyas aguas residuales son grises y aptas para tratamiento.

\*\* Aparatos que pueden ser dotados de aguas grises tratadas o recicladas.

Los bebederos no son considerados como fuente de aguas grises debido a su lejanía respecto al conjunto de aparatos sanitarios y a su bajo consumo hídrico. Entonces, como las aguas grises provienen de todos los lavamanos y lavatorios de la institución educativa, se obtiene una fuente de 10 111 litros diarios.

$$\text{Fuente de aguas grises} = 3664 + 1948 + 1994 + 2505 = 10\ 111\ L$$

### *Distribución de aguas grises tratadas*

Los aparatos donde se puede utilizar el agua tratada son los inodoros, urinarios y en el riego de jardines y del estadio. Sin embargo, esto implica un consumo diario de 25 480 litros, por lo que no se puede satisfacer la demanda total. Entonces, se debe escoger una distribución adecuada de las aguas grises tratadas que puedan consumir menos que la demanda diaria 10 111 litros.

$$\text{Consumo potencial de aguas grises} = 8812 + 7235 + 2133 + 2968 + 2734 + 1598$$

$$\text{Consumo potencial de aguas grises} = 25\,480\text{ L}$$

En consecuencia, la distribución más eficiente consiste en proveer de agua tratada a los urinarios e inodoros del baño 01, y al riego de jardines y del estadio. Estos demandan una cantidad total de 9 433 litros, menor que la que se espera tratar.

$$\text{Consumo de aguas grises tratadas} = 2133 + 2968 + 2734 + 1598 = 9\,433\text{ L}$$

Esta distribución es considerada eficiente debido a que aprovechan mejor las aguas grises generadas de los lavamanos y lavaderos. Además, como el tanque de almacenamiento de las aguas tratadas estará ubicado en el techo de la edificación donde se encuentra el baño 01, se optimiza la instalación de tuberías para la alimentación de sus inodoros y urinarios.

En resumen, se presenta la Tabla 26 en el que se exponen los gastos hídricos de la institución educativa para cada aparato sanitario, en el caso normal del año 2019 y, por otro lado, el caso propuesto con un sistema de tratamiento de aguas grises.

Tabla 26. Consumos diarios normales y con sistema de tratamiento de aguas grises.

Aparatos	Consumo diario normal (L)	Consumo diario propuesto (L)
Inodoro 02	8 812	8 812
Lavamanos 02	3 664	3 664
Urinario 02	7 235	7 235
Inodoro 01	2 133	0
Lavamanos 01	1 948	1 948
Urinario 01	2 968	0
Bebederos	464	464
Lavatorios quiosco	1 994	1 994
Lavatorios estadio	2 505	2 505
Riego jardines	2 734	0
Riego estadio	1 598	0
<b>Total</b>	<b>36 056</b>	<b>26 622</b>

Nota: El consumo diario propuesto se da en el caso de implementación del sistema de tratamiento de aguas grises. Elaboración propia.

Entonces se procede a calcular el ahorro de agua potable:

$$\text{Ahorro diario} = 36056 - 26622 = 9433 \text{ L}$$

$$\text{Ahorro mensual} = 9433 \times \frac{30 \text{ días}}{1000 \text{ L}} = 283 \text{ m}^3$$

$$\% \text{ de ahorro mensual} = \frac{283}{1082} = 26.2\%$$

Extrapolando los datos, se obtiene un ahorro mensual de 283 m<sup>3</sup> de agua potable, lo cual representa un 26.2% del consumo hídrico mensual.

#### *Implementación de aparatos sanitarios ahorradores*

Pese al ahorro de agua debido a la reutilización de aguas grises, es posible buscar mayor eficiencia en el consumo energético mediante el uso de aparatos y equipos sanitarios ahorradores. Estos aparatos sanitarios son capaces de ahorrar agua mediante sistemas de presión o trabajo en seco. Este es el caso de los urinarios secos, los cuales no hacen uso de agua, por lo que su eficiencia hídrica es máxima.

La razón del uso de esta clase de aparatos radica en la falta de reutilización de las aguas grises en el baño 02, el cual posee 16 inodoros y 18 urinarios. Sin embargo, se presenta la

alternativa de los urinarios mas no de los inodoros, debido a que estos últimos actualmente son considerados aparatos ahorradores ya que son del tipo fluxómetro de 4.8 litros.

El modelo de urinario que se plantea es el denominado “Urinario seco Mojave” de la marca Helvex, el cual cuenta con un sistema TDS2: Tecnología drena y sella - Doble esfera (ver Figura 40), por lo que no requiere de agua. Esto quiere decir que se puede reducir a cero el consumo hídrico de los 18 urinarios del baño 02. Este urinario se muestra en la siguiente figura:



Figura 39. Urinario seco Mojave – Helvex  
Fuente: Helvex S.A.



Figura 40. Funcionamiento del sistema TDS2  
Fuente: Helvex Perú (2021). Facebook.

Entonces, el ahorro hídrico total de la institución educativa se incrementaría al implementar los urinarios secos, por lo que se elaboró la siguiente tabla en la que se exponen los gastos diarios proyectados con la implementación de la planta de tratamiento de aguas grises y los urinarios secos.

Tabla 27. Consumo diario normal existente y propuesto con PTAG y urinarios secos

<b>Aparatos</b>	<b>Consumo diario normal (L)</b>	<b>Consumo diario propuesto (L)</b>
Inodoro 02	8 812	8 812
Lavamanos 02	3 664	3 664
Urinario 02	7 235	0
Inodoro 01*	2 133	0
Lavamanos 01	1 948	1 948
Urinario 01	2 968	0
Bebedores	464	464
Lavatorios quiosco	1 994	1 994
Lavatorios estadio	2 505	2 505
Riego jardines*	2 734	0
Riego estadio*	1 598	0
<b>Total</b>	<b>36 056</b>	<b>19 387</b>

*Nota: El consumo diario propuesto se da en el caso de implementación del sistema de tratamiento de aguas grises y de los urinarios secos en el baño 02. Elaboración propia.*

*\*El consumo de estos aparatos es nulo debido a que el agua utilizada es reciclada, proveniente del tratamiento de aguas grises.*

Entonces se procede a calcular el ahorro de agua potable:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro diario} &= 36056 - 19837 = 16\,669 \text{ l} \\ \text{Ahorro mensual} &= 16669 \times \frac{30 \text{ días}}{1000 \text{ L}} = 500 \text{ m}^3 \\ \% \text{ de ahorro mensual} &= \frac{500}{1082} = 46.2\% \end{aligned}$$

Extrapolando los datos, se obtiene un ahorro mensual de 500 m<sup>3</sup> de agua potable, lo cual representa un 46.2% del consumo hídrico mensual. Para mayor detalle de la PTAG a implementar ver Anexo 15.

### 5.3. Interacción infraestructura-usuario

#### 5.3.1. Análisis de ventilación y confort térmico

##### *Ventilación*

Para el análisis de la ventilación, como se explicó en la sección de metodología se realizó la cuantificación de la cantidad de ACH objetivo de un aula típica ubicada en el primer piso pabellón 4 (Ver Figura 41). Como se puede apreciar en la Figura 42 las aulas son amplias y poseen las siguientes medidas internas:

- Altura (h) = 3 m
- Largo (l) = 7.9 m
- Ancho (A) = 7.8 m
- Volumen (C) = 184.86 m<sup>3</sup>



Figura 42. Ubicación del aula típica utilizada para el análisis de ventilación.



Figura 41. Vista interior del aula donde se realizan las mediciones.

Adicionalmente se debe considerar que la cantidad promedio de personas en el aula es de 38, cantidad definida en el capítulo 4. Esta cifra considera el número promedio de estudiantes y el profesor asignado.

Con la definición de estos parámetros se utiliza la Fórmula 17 para calcular el ACH objetivo. Debe estimarse el valor la tasa de ventilación igual a 5 l/s-persona según lo indicado en el estándar internacional ASHRAE.

$$ACH = 5 \times 38 \times 3600 \times \frac{0.001}{184.86} = 4 ACH$$

Como el valor obtenido es inferior a lo recomendado por la guía de Harvard, se mantiene el valor de ACH objetivo como 6.

Utilizando la Fórmula 17 también se puede considerar una tasa de ventilación de 14 l/s\*persona según recomienda la Guía para Ventilación en Aulas de España para reducir notablemente los contagios de enfermedades aéreas.

$$ACH = 14 \times 38 \times 3600 \times \frac{0.001}{184.86} = 11 ACH$$

Como esta cantidad es superior a la mencionada en cualquier otro estándar relatado en la sección de revisión de literatura se toma como valor de ACH objetivo.

De acuerdo a las configuraciones de la puerta y las ventanas en el aula se pudo establecer la ventilación cruzada pertinente que nos permita superar el ACH objetivo. Esta consistió en la apertura de los elementos descritos a continuación.

La puerta del salón típico tiene dimensiones de 1.1 x 2.15 m y se presentan dos hileras distintas de ventanas. Estas son de tipo persiana y se distribuyen en los laterales del salón. La pared adyacente a la puerta contiene 8 ventanas cercanas al techo, con una dimensión de 1.15 x 0.6 m (Ver Figura 43, Figura 44 y Figura 45). Mientras que las ventanas del lado opuesto son las más amplias y de dos tipos distintos (8 de cada tipo). Las del primer tipo se encuentran en la zona media de la pared y son de 0.55 x 1.15 m. Por otro lado, las del segundo tipo, se encuentran en la zona superior cercana al techo y son de 0.55 x 0.75 m (Ver Figura 46). Cabe resaltar que existen ventanas que no permiten el flujo de aire que no han sido consideradas para este análisis.



*Figura 43.* Vista exterior de ventanas de 1.15 x 0.6 m adyacentes al lado de la puerta de 1.1 x 2.15 m.



*Figura 44.* Vista interior de puerta y ventanas de 1.15 x 0.6 m.



*Figura 45.* Vista interior de ventanas de 1.15 x 0.6 m adyacentes al lado de la puerta.



*Figura 46.* Vista interior de ventanas tipo 1 de 0.55 x 1.15 m y tipo 2 de 0.55 x 0.75 m opuestas al lado de la puerta.

Para la medición del ACH real se registraron medidas de la concentración de CO<sub>2</sub> exterior para cada medición independiente (Ver Tabla 28).

Tabla 28. Concentración exterior de CO<sub>2</sub> para medición de ACH

Medición	Concentración exterior de CO <sub>2</sub> (ppm)
1	402
2	404
3	400
4	402

Nota: Elaboración propia

Como se observa, todas las concentraciones se encuentran en el rango señalado en la metodología entre 400 y 420 ppm; por lo que se consideran como válidas.

Luego de colocar el medidor en el centro del aula por encima de una carpeta convencional (h=1 m) y de establecer una concentración de 2000 ppm o mayor a esta en el aula con ayuda del hielo seco, se realizaron 4 ensayos donde se midió la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> con la puerta y ventanas abiertas. Enseguida se muestran la Figura 47, Figura 48 y Figura 49 que son evidencia del procedimiento llevado a cabo.



Figura 47. Colocación del medidor de CO<sub>2</sub> en el centro del salón a una altura aproximada de 1 metro.



*Figura 48. Disposición del hielo seco en la nevera para la obtención del CO<sub>2</sub>.*



*Figura 49. Descomposición del hielo seco para la emisión de CO<sub>2</sub>.*

Para la ejemplificación de este paso y los sucesivos se muestran cálculos típicos para la primera medición llevada a cabo a las 10: 05 am. En total se registraron 4 mediciones distintas realizadas a las 10: 05 am, 11:15 am, 12:30 pm y 2:30 pm. De estas se obtuvo un ACH real independiente para cada una, que finalmente permitió calcular un valor promedio para ser comparado con el ACH objetivo de 11.

En la Tabla 29 se muestran las lecturas de tiempo y concentración de CO<sub>2</sub> para el primer ensayo. Nótese que se alcanza un pico de 3 033 ppm. Asimismo, el Figura 50 permite observar la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo y obtener los parámetros necesarios para aplicar la Fórmula 17 y Fórmula 19 que permiten calcular el ACH real.

Tabla 29. Concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 1)

Minutos	Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)
0	10:05:00	402
1	10:06:00	1 270
2	10:07:00	1 514
3	10:08:00	1 644
4	10:09:00	1 755
5	10:10:00	1 921
6	10:11:00	2 435
7	10:12:00	3 033
8	10:13:00	2 898
9	10:14:00	2 765
10	10:15:00	2 543
11	10:16:00	2 266
12	10:17:00	2 084
13	10:18:00	1 821
14	10:19:00	1 640
15	10:20:00	1 478
16	10:21:00	1 355
17	10:22:00	1 145
18	10:23:00	1 021
19	10:24:00	903
20	10:25:00	823
21	10:26:00	698

22	10:27:00	602
23	10:28:00	534
24	10:29:00	432
25	10:30:00	409

Nota: Elaboración propia

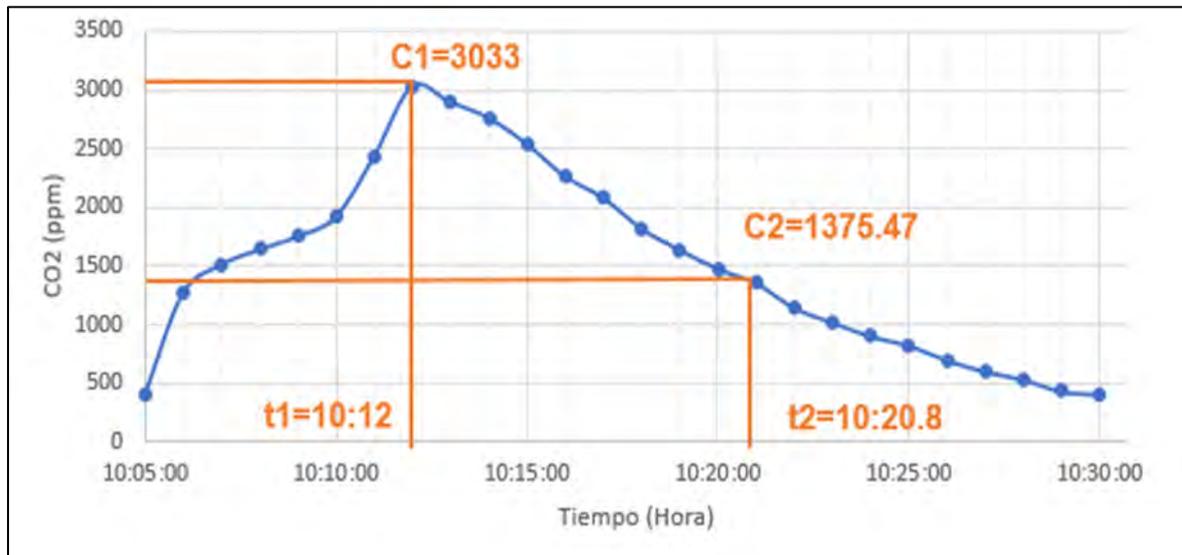


Figura 50. Concentración de  $CO_2$  en el tiempo (Ensayo 1).

De la Figura 50 se denota que el valor máximo de  $CO_2$  es de 3 033 ppm (C1) y se alcanza a los 7 minutos de haberse iniciado la apertura de la fuente emisora. Además, mediante la Fórmula 18 se obtiene la concentración exterior más el 37% del exceso inicial (C2).

$$\text{Exceso de } CO_2 = 3033 - 402 = 2631 \text{ ppm}$$

$$37\% \text{ Exceso de } CO_2 = 0.37 * 2631 = 973.47 \text{ ppm}$$

$$C2 = 402 + 973.47 = 1375.47 \text{ ppm}$$

Para obtener el tiempo en el cual se da esta concentración se puede utilizar una interpolación lineal con los datos obtenidos en la Tabla 29.

$$\frac{t2 - 16}{16 - 15} = \frac{1375.47 - 1355}{1355 - 1478}$$

$$t2 = 15.834 \text{ s}$$

Luego se puede establecer una tabla que resume los parámetros descritos para las 4 mediciones.

Tabla 30. Parámetros para el cálculo de ACH real.

Medición	Concentración Inicial C1(ppm)	Concentración Final C2 (ppm)	t1 (min)	t2 (min)
1	3 033	1 375.47	7	15.834
2	2 671	1 242.79	6	14.544
3	2 052	1 011.24	5	13.618
4	2 501	1 178.63	8	16.169

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 30 se puede observar que las concentraciones iniciales rondan en el orden de magnitud de 2 500 ppm y que se requirió un promedio de 6.5 minutos con fuente de emisión abierta para llegar a estas. En adición, un tiempo promedio en que se llegó a la concentración C2 fue de 15 minutos.

Con respecto a la primera medición, se pueden usar los parámetros establecidos en la Fórmula 19. Nótese la conversión de minutos a horas para el tiempo.

$$ACH = \frac{-1 \times \ln\left(\frac{1375.47 - 402}{3033 - 402}\right)}{(15.834 - 7)/60} = 6.75$$

A continuación, se muestra la Tabla 31 que registra los valores de ACH para cada medición.

Tabla 31. Renovación de aire por hora (ACH) real

Medición	ACH real
1	6.753
2	6.982
3	6.922
4	7.303

Nota: Elaboración propia.

Debido a la poca dispersión se puede tomar como valor representativo al promedio de estas 4 cantidades.

$$ACH_{prom} = \frac{6.753 + 6.982 + 6.922 + 7.303}{4} = 6.99 \text{ ACH}$$

Entonces se puede afirmar que en un aula típica de la institución educativa se presenta un ACH igual a 7.

Para observar los registros y gráficos de las tres mediciones restantes a las que se hace mención, se debe observar del Anexo 7 al Anexo 12.

### **Confort térmico**

Para el análisis del confort térmico se realizaron diversas mediciones dentro un aula típica. Desde planta y varias alturas del piso al techo, se deben tomar medidas representativas de temperatura del aire, temperatura radiante media, temperatura radiante del plano, humedad relativa, velocidad del aire y radiación direccional.

Las lecturas de humedad, temperatura, velocidad del aire se muestran en el Anexo 13. A continuación, se muestra el promedio de estas medidas que servirán de datos de entrada

- Temperatura del aire: 22.2 °C
- Velocidad del aire: 0.05 m/s
- Humedad: 67%

### *Cálculo de temperatura radiante media*

En primer lugar, se registraron las temperaturas de las superficies del aula típica en el Anexo 14, dando como resultado una temperatura promedio para cada superficie detallada en la siguiente tabla.

*Tabla 32. Temperaturas superficiales promedio.*

<b>Superficie</b>	<b>T promedio (°C)</b>
Este	20.9
Oeste	20.5
Sur	19.9
Norte	20.0
Techo	20.6
Piso	20.1

*Nota: Este, oeste, sur y norte son los nombres designados a las cuatro paredes del aula acorde a su orientación.*

Entonces, se procede a elegir los factores y coeficientes de la Figura 7 y Figura 8 para el caso de una persona sentada y superficies verticales y horizontales. Además, se toma a la persona ubicada al centro del salón para definir los valores de “a”, “b” y “c” de la Fórmula 15.

Luego, se hallan los factores de ángulos mediante la Fórmula 15, y como la suma de estos debe ser la unidad, se escalan los factores proporcionalmente. De esta forma, se puede aplicar la Fórmula 14, que resulta en una temperatura radiante media de 20.3°C.

Tabla 33. Coeficientes para el cálculo de la TRM.

Superficie	Temp. superficial °C	Fmax	A	B	C	D	E
Este	20.9	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Oeste	20.5	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Sur	19.9	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Norte	20.0	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Techo	20.6	0.116	1.396	0.13	0.951	0.08	0.055
Piso	20.1	0.116	1.396	0.13	0.951	0.08	0.055

Nota: Este, oeste, sur y norte son los nombres designados a las cuatro paredes del aula acorde a su orientación.

Tabla 34. Factores de ángulos de las superficies del aula

Superficie	a/c	b/c	t	y	Factor de ángulo	Factor escalado
Este	2.026	0.263	1.558	0.845	0.023	0.067
Oeste	2.026	0.649	1.558	0.879	0.045	0.130
Sur	1.975	0.759	1.550	0.886	0.049	0.142
Norte	1.975	0.759	1.550	0.886	0.049	0.142
Techo	3.292	1.625	1.824	1.262	0.070	0.204
Piso	13.000	6.500	3.086	2.186	0.108	0.315

Nota: Los valores de a, b y c son tomados para una persona ubicada al centro del salón.

Finalmente, se aplica la Fórmula 14 para el cálculo de la temperatura radiante media:

$$TRM = 20.9 \times 0.067 + 20.5 \times 0.13 + 19.9 \times 0.142 + 20 \times 0.142 + 20.6 \times 0.204 + 20.1 \times 0.315$$

$$TRM = 20.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para verificar este valor, se usará el *CBE MRT Calculator*, en el cual se colocarán las dimensiones y temperaturas correspondientes para cada superficie del aula en un modelado 3D. Así, se puede conocer la temperatura radiante media en cualquier punto dentro del aula.

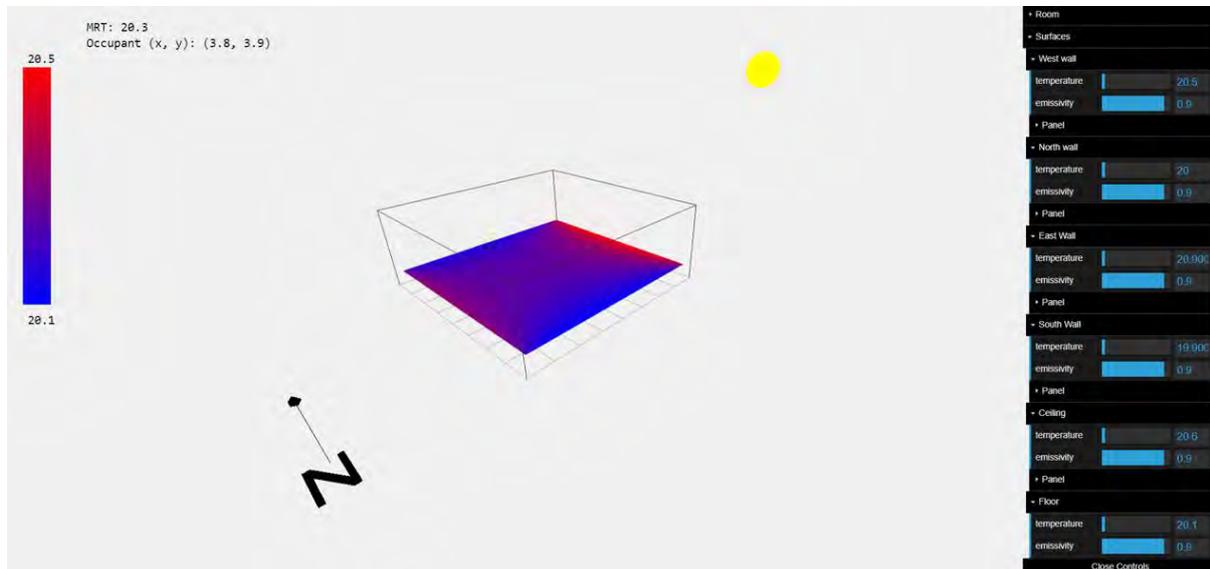


Figura 51. Modelado 3D del aula para el cálculo de la temperatura radiante media.

Fuente: *CBE MRT Calculator*.

De la Figura 51 se verifica que para la posición central de una persona (coordenadas 3.8 y 3.9 m) se obtiene una temperatura radiante media de 20.3 °C.

#### *Cálculo de la temperatura operativa*

Mediante el uso de la Fórmula 16 se calculó la temperatura operativa del aula.

$$t_o = (22.2 + 20.3)/2$$

$$t_o = 21.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### *Otros factores a tener en cuenta*

La ASHRAE 55 también considera otros factores como el nivel de ropa y la tasa metabólica. El nivel de ropa es definido por la ASHRAE como “clo: unidad que expresa el aislamiento térmico proporcionado por prendas y conjuntos de ropa, donde 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>·°C/W (0,88 pies<sup>2</sup>·h·°F/Btu)”. El nivel de ropa depende de la vestidura de los alumnos en el aula, que en este caso consiste en el uniforme escolar compuesto de un pantalón, una camisa y una casaca. El factor designado para estas prendas es de 0.96 clo.

Por otro lado, también se define a la tasa metabólica como “met: unidad que describe la energía generada dentro del cuerpo debido a la actividad metabólica, definida como  $58,2 \text{ W/m}^2$  ( $18,4 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2$ ), que es igual a la energía producida por unidad de superficie de una persona promedio sentada en reposo. El área de superficie de un promedio persona mide  $1,8 \text{ m}^2$  ( $19 \text{ ft}^2$ )”. Esto tiene que ver con la actividad que realiza el usuario de un ambiente y el gasto de energía que genera. Para los estudiantes, que realizan una actividad de lectura y escritura, sin mayor movimiento (sentados), se le asigna un factor de tasa metabólica de 1.0 met.

### Evaluación del confort térmico

Se procede a insertar los parámetros antes definidos en la herramienta de confort térmico de la CBE. Se aplicará el método PMV, el cual está dirigido a satisfacer la sensación térmica de los ocupantes. El programa nos permite presentar tres gráficos con distintas variables en sus ejes y con un rango de aceptabilidad de confort térmico acorde a la norma ASHRAE 55-2020 para cada uno de ellos. Dichos gráficos se presentan como figuras extraídas del programa de la CBE a continuación.

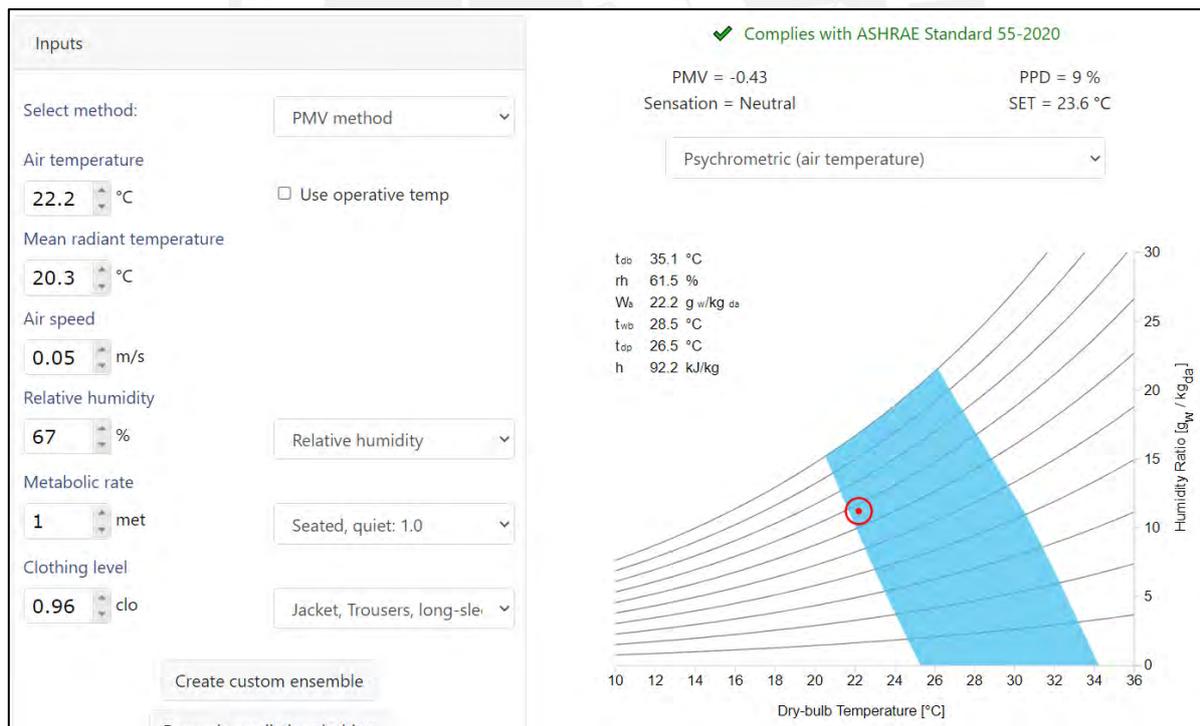


Figura 52. Gráfico psicrométrico (temperatura del aire).

Fuente: Extraído de CBE Thermal Comfort Tool.

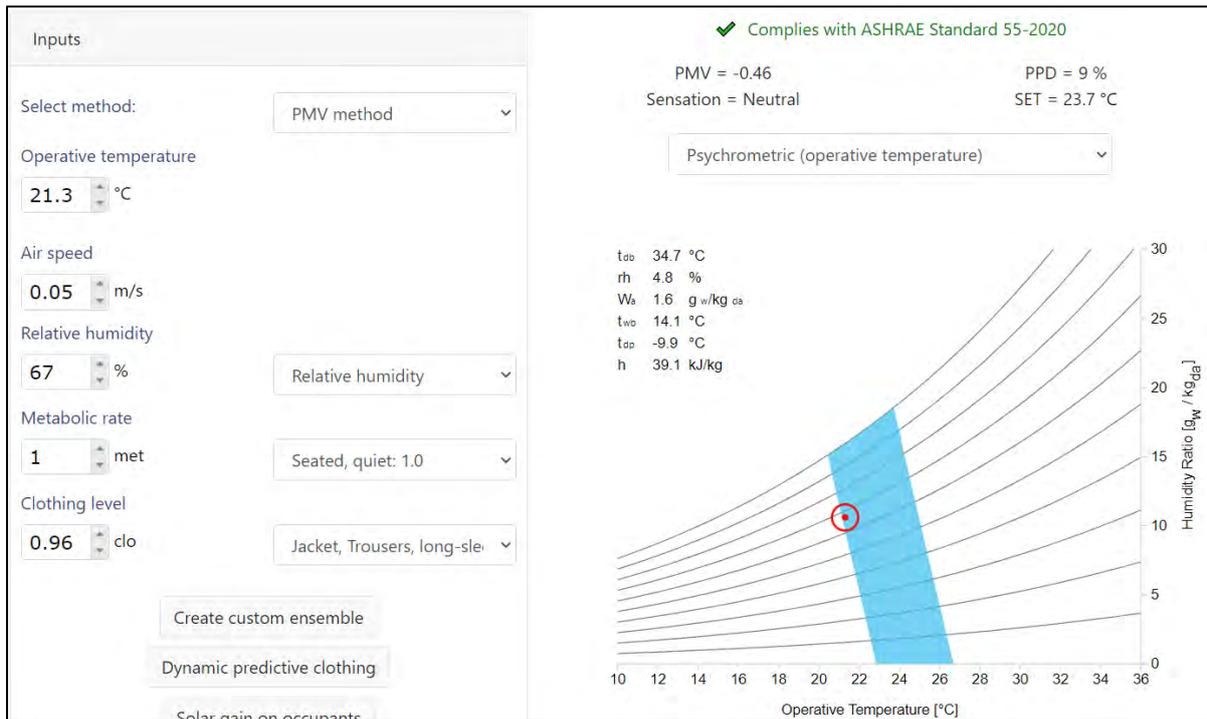


Figura 53. Gráfico psicrométrico (temperatura operativa).

Tomado de CBE Thermal Comfort Tool.



Figura 54. Gráfico de humedad relativa vs. temperatura del aire

Tomado de CBE Thermal Comfort Tool.

Como se puede apreciar en las tres figuras anteriores, el aula típica cumple con el estándar de la ASHRAE 55-2020 de confort térmico, ya que los valores de temperatura del aire, temperatura operativa y humedad se encuentran dentro del rango aceptable por la norma. En consecuencia, no sería necesario realizar cambio alguno a los salones correspondiente a este apartado. Cabe resaltar que los valores

### 5.3.2. *Propuesta sostenible de ventilación y confort térmico*

#### *Ventilación*

Como se denota en la Fórmula 17, el volumen del aula es difícil de cambiar y la tasa de ventilación provienen de estándares reputados. Por lo que la variable a manejar es la de la cantidad de personas. Es así que disminuyendo la cantidad de personas en el aula el ACH real puede decrecer hasta posicionarse menor o igual al ACH objetivo.

Podemos observar que el ACH real se encuentra por debajo del ACH objetivo hallado con anterioridad. Por lo tanto, se recomienda disminuir el número de estudiantes en el salón. Para este fin se utiliza la fórmula 11, donde la incógnita es el número de ocupantes en el salón, y el ACH debe ser 7.

$$7 ACH = 14 \times B \times 3600 \times \frac{0.001}{184.86}$$

$$B = 25.675 \text{ personas}$$

De esta manera, se puede afirmar que el aforo de un salón típico debe ser reducido de 38 a 25 personas para garantizar la no propagación de contaminantes en el ambiente. Así como también, la de enfermedades que se transmiten vía aérea.

Tomando en cuenta las medidas del salón, señaladas con anterioridad, se presenta la siguiente distribución en comparación con la existente en el año 2019. De las vistas en planta (Ver Figura 55 y Figura 56) se puede ver que de seguirse esta propuesta habría una separación de estudiantes de 1.3 m en el eje horizontal y 1.6 m en el eje vertical.

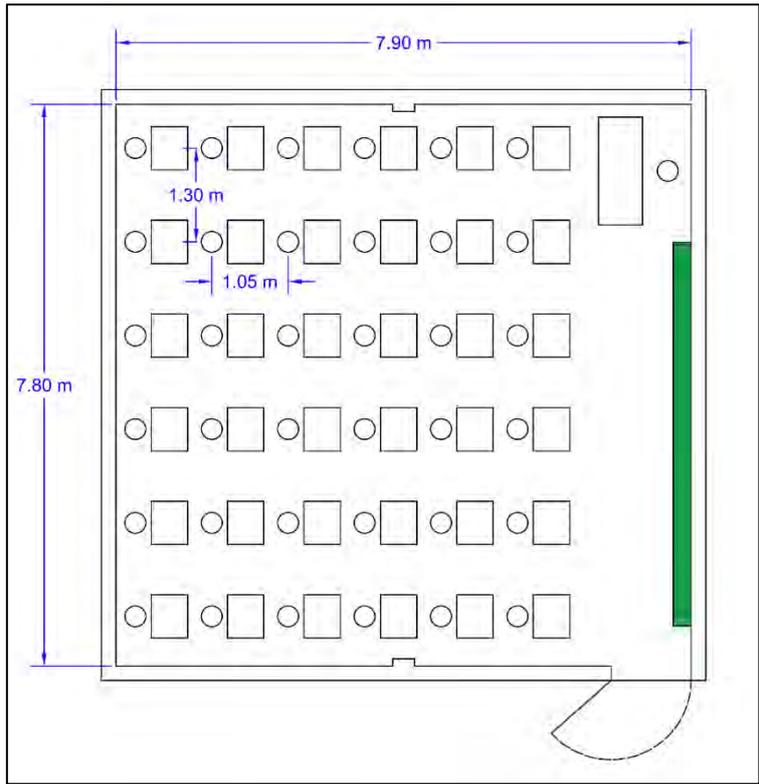


Figura 55. Distribución de carpetas en el año 2019.

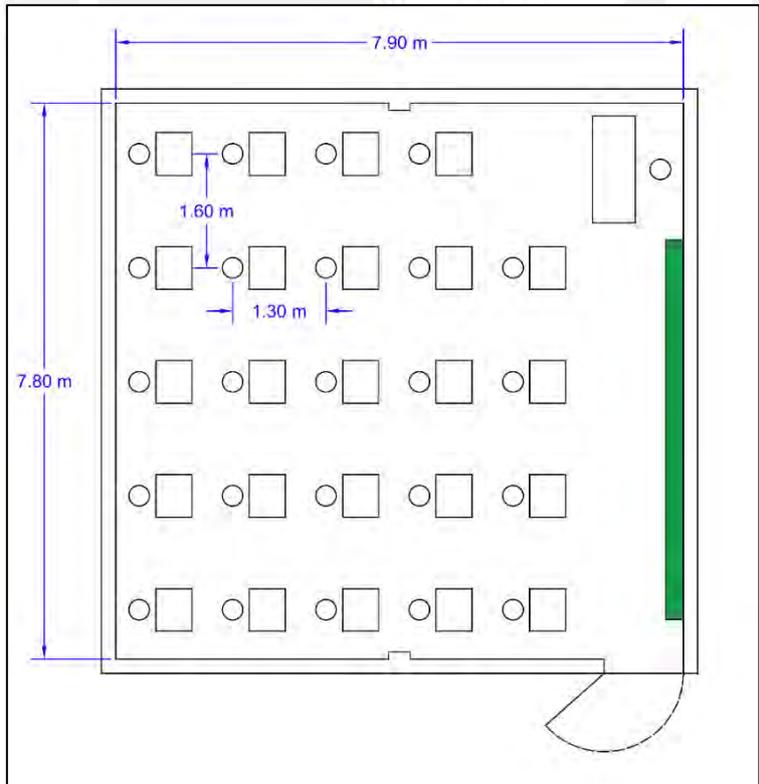


Figura 56. Distribución de carpetas propuesta.

## 6. Discusión y conclusiones

### 6.1. Discusión de resultados

#### *Energía Eléctrica*

Un factor relevante a determinar para el diseño esquemático del sistema fotovoltaico es la irradiación promedio diaria en la zona de Lima, la cual se calculó en base a dos softwares en línea: Meteonorm, Global Solar Atlas y el Atlas de Energía Solar del Perú. Para fines de un diseño conservador se trabajó con el valor menor que resultó ser de 4.7 kWh/m<sup>2</sup>-día; lo que se puede interpretar como 4.7 horas de iluminación solar en un día promedio en Lima (Smets et al., 2015).

El diseño esquemático presentado contempla el uso de baterías y controladores de carga. Sin embargo, al considerar que el sistema está diseñado para abastecer un porcentaje menor de la demanda energética, no se presentaría el problema de que el sistema entregue más energía de la que se requiera en la institución educativa. Por tal motivo, de ser necesaria una menor inversión inicial, se podría prescindir de estos elementos en un inicio.

Si bien los sistemas fotovoltaicos no requieren de un mantenimiento exhaustivo, los elementos que conforman este tienen un tiempo de vida específico. Por ejemplo, las baterías tienen un tiempo de vida limitado y se deben cambiar según las especificaciones del fabricante. Al momento de implementar los paneles se debe contemplar la limpieza regular de los mismos para que no acumule el polvo y puedan funcionar correctamente. Además, se debe tener cuidado de que ningún agente genere una sombra permanente en algún panel.

El área destinada a la implementación del sistema fotovoltaico abarca 250 m<sup>2</sup> de un total de 600 m<sup>2</sup> disponibles del techo de un pabellón de secundaria. Al contar con mayor espacio libre de los techos del resto de pabellones, se puede aumentar la cantidad de paneles fotovoltaicos para cubrir una mayor demanda en el futuro.

La principal limitación a tomar en cuenta para el diseño efectuado en la presente tesis es la imposibilidad de conseguir los recibos de consumo de energía eléctrica del área de estudio. Si bien la utilización de una ratio aproximada es suficiente para un diseño esquemático, poseer cifras exactas de la demanda energética permitiría la elaboración de un diseño definitivo.

Se podría profundizar en un análisis económico que daría luz definitiva para la selección de un sistema autónomo, conectado a la red o híbrido. Principalmente, se debe tomar en cuenta el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

### ***Recursos Hídricos***

Las aguas residuales incluyen tanto a las aguas negras como a las aguas grises. Sin embargo, aunque es posible tratar las aguas residuales para su posterior reutilización, se optó por tratar únicamente a las aguas grises debido a su menor complejidad de funcionamiento y mantenimiento de la planta.

Cabe resaltar que el colegio ya contaba con aparatos sanitarios considerados como ahorradores, como los inodoros con fluxómetros y lavamanos con botón. De esta manera, se redujo ligeramente el consumo hídrico, pero no lo suficiente para lograr un consumo considerablemente menor que el estimado por medio de la dotación de agua de la norma IS. 010.

Más allá de la eficiencia de los aparatos sanitarios, es importante educar a los alumnos en temas de ahorro del agua, ya que existen malos hábitos como manipular los caños y palancas de urinarios e inodoros, los cual genera desperdicios y malgasto de nuestro recurso hídrico.

El diseño de la red de distribución de las aguas reutilizables puede variar y reducir sus dimensiones o cantidad de puntos de salida si se cuentan con mangueras más largas para poder regar una mayor área de jardines desde un único punto de salida de agua.

Se puede ahondar en un análisis económico que permita establecer la relación costo – beneficio de la implementación de la PTAG y urinarios secos, considerando diferentes factores como el valor de compra, costo de operación y mantenimiento, y ahorro en el consumo de agua.

### ***Interacción Infraestructura Usuario***

Es conveniente realizar mediciones de ACH una vez los estudiantes hayan retornado a clases presenciales para verificar la medida del ACH real con el ACH objetivo.

En el aula donde se realizaron las mediciones de la concentración de CO<sub>2</sub> para hallar el ACH real, se encontraron algunas ventanas atascadas, lo que imposibilitó su apertura, por lo que se sugiere arreglarlas para ventilar de manera adecuada el salón cuando sea necesario.

Además, la medición de los parámetros fue ejecutada en el mes de octubre de 2021, durante la estación de primavera y entre las 10:00 y 15:00 horas del día; por lo que se sugiere tomar las medidas durante las otras estaciones y horarios para un mejor análisis.

Si bien el ACH objetivo para los fines específicos de esta tesis fue de 11, el ACH real de 7 bastaría para las condiciones exigidas en un entorno exento de las normativas de distanciamiento social a raíz del COVID 19.

## **6.2. Conclusiones**

El colegio Salesiano presenta un consumo eléctrico diario promedio de 107.5 kWh y un consumo de agua potable mensual promedio de 1 082 m<sup>3</sup>. Además, en cuanto a la relación infraestructura – usuario, un aula típica de la institución posee un ACH real de 7 y se considera que tiene un confort térmico adecuado según el estándar ASHRAE 55-2020. Se propone la implementación de un sistema fotovoltaico capaz de cubrir el 30% y hasta el 66% de la demanda energética en condiciones óptimas. A su vez, se plantea la instalación de una PTAG y urinarios secos, lo que produciría un ahorro del 46.2% del consumo de agua potable. Se recomienda la reducción del aforo en las aulas de 38 a 25 personas para una ventilación y confort térmico idóneos.

La demanda de energía total diaria en el área de estudio de la Institución Educativa (Sección de secundaria) es de 107.5 kWh. En consecuencia, el sistema fotovoltaico planteado debe satisfacer el 30% de dicha demanda diaria como mínimo, equivalente a 32.2 kWh. En este contexto, se recomienda que el sistema autónomo planteado se destine a cubrir con la demanda energética del laboratorio de computación o los aparatos electrónicos de la sección administrativa. En un futuro se podría realizar una visita a la Institución Educativa para realizar el conteo específico de los aparatos electrónicos ubicados en los espacios mencionados. De esta manera, con datos de los fabricantes, se podría estimar la energía y potencia requeridas de manera más precisa.

Para cubrir como mínimo con el 30% de la demanda energética diaria, se plantea el diseño esquemático que consiste en la instalación de 38 paneles de la marca JINKO SOLAR, modelo CHEETAH con una potencia pico de 400 W; 32 baterías de la marca RITAR, modelo DC12-260 con una carga de 260 Ah. El costo aproximado de la implementación de estos elementos es de 26 000 dólares americanos. Para complementar el sistema fotovoltaico es

pertinente considerar un inversor central o inversores que puedan trabajar a una potencia un poco mayor que 15.2 kW. Asimismo, se debe contemplar la instalación de controladores de carga que soporten la intensidad de corto circuito del sistema ( $I_{sc}$ ) que es de 246 A. En condiciones óptimas, los paneles son capaces de suministrar 15.2 kW de potencia y 71 kWh de energía diaria si consideramos 4.7 de horas de sol equivalente en Lima. Esta cifra de energía representa el 66% del consumo diario del área de estudio de la Institución Educativa.

En cuanto a los recursos hídricos, para el cálculo del consumo real de cada aparato sanitario fue necesario estimar este valor mediante las unidades de gasto y el método de Hunter descritos en la Norma Técnica IS.010. De esta forma, se obtuvo el consumo teórico de cada aparato sanitario, incluido el agua de riego, resultando en un consumo mensual de 840 m<sup>3</sup>. Además, se utilizó el parámetro de la dotación de agua para instituciones educativas de la misma norma para obtener otro estimado de consumo mensual, cuyo valor es de 1 052 m<sup>3</sup> de agua potable. El consumo mensual más cercano al real promedio es el obtenido con la dotación de agua para instituciones educativas, mientras que el más lejano es el obtenido mediante el método de Hunter. Esta diferencia puede deberse a la inexactitud de frecuencia de uso de los aparatos sanitarios; sin embargo, el valor acorde a la dotación de instituciones educativas es similar al consumo mensual real promedio de 1 082 m<sup>3</sup>, por lo que dicho valor estimado puede considerarse acertado debido a su diferencia de 2.85%.

El colegio Salesiano genera un total de 10 100 litros de aguas grises diariamente, lo que representa un 28% de las aguas residuales. La Planta de Tratamiento de Aguas Grises (PTAG) propuesta tiene la capacidad de tratar este caudal, del cual 9 433 litros serán reutilizados diariamente en los inodoros y urinarios del Baño 01, y en el riego de áreas verdes como jardines y estadio de fútbol. El agua tratada restante se almacenará en el tanque elevado y, en el caso que se abastezca por completo, se regará con mayor frecuencia el estadio de fútbol. Además, el consumo de los urinarios del Baño 02 se reduce a cero dado que estos serán reemplazados por urinarios secos que no emplean agua. De esta forma, mediante la implementación de la PTAG y de los urinarios secos es factible reducir el consumo hídrico mensual promedio de 1 082 m<sup>3</sup> a 582 m<sup>3</sup>, lo que significa un 46.2% de ahorro hídrico para el colegio Salesiano.

Con respecto a la ventilación y según el estándar internacional ASHRAE 62.1-2019, las renovaciones de aire por hora (ACH) deben ser como mínimo 6 en aulas educativas. Sin embargo, debido al contexto de la pandemia por el COVID 19 se busca que en un retorno a

clases presenciales se reduzca al mínimo la posibilidad de contagios de enfermedades de transmisión aérea. Para ello se optó por seguir las recomendaciones de la Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas, publicada por la Universidad de Harvard; y la Guía para ventilación en aulas propuesta por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Estas indican que las aulas deben considerar una tasa de ventilación de 14 l/s por persona para el cálculo del ACH objetivo, el cual garantiza una baja posibilidad de contagio de enfermedades de transmisión aérea. Para un aula típica de la Institución Educativa se requiere de un ACH objetivo de 11, considerando un aforo de 38 personas. Una vez realizadas las mediciones en el aula, se determinó que la ventilación cruzada proporciona 7 ACH, lo cual es un valor inferior al ACH objetivo.

Para la evaluación del confort térmico de las aulas de la Institución Educativa se siguieron los lineamientos del estándar ASHRAE 55-2020, mediante el uso de la herramienta *CBE Thermal Comfort Tool*, desarrollada por la Universidad de Berkeley. Este procedimiento consistió en realizar mediciones de temperatura, humedad y velocidad del aire en un aula típica. Entonces se registró que la temperatura del aire es de 22°C, la velocidad del aire es de 0.05 m/s, la humedad es 67%, la temperatura radiante media es de 20.3°C, la temperatura operativa es de 21.3°C, la tasa metabólica es de 1 met y el factor de vestimenta de 0.96 clo. Estos parámetros fueron insertados a la herramienta mencionada, dando como resultado que las aulas cumplen con el estándar ASHRAE 55-2020 y se presenta un confort térmico adecuado.

La propuesta presentada pretende mejorar el confort térmico y disminuir los contagios de enfermedades de transmisión aérea, por lo que se sugiere la reducción del aforo de 38 a 25 personas, para reducir el ACH objetivo e igualarlo con el ACH real. La distribución de carpetas planteadas para cumplir con la premisa anterior se traduce en un espaciamiento mínimo de 1.3 metros entre alumnos. Se debe considerar que, el confort térmico depende de la ventilación; ya que, si no existiera un flujo de aire, no se podría cumplir con el estándar antes mencionado. En consecuencia, se deben abrir puertas y ventanas para asegurar una adecuada ventilación y garantizar el bienestar de los ocupantes dentro de la infraestructura.

## 7. Referencias

2030 WRG (2020). *Valuing water, enabling change*. The 2030 Water Resources Group 2020 Annual Report November 2020. Recuperado de [https://www.2030wrg.org/wp-content/uploads/2020/12/WRG-Annual-Report\\_2020\\_Web.pdf](https://www.2030wrg.org/wp-content/uploads/2020/12/WRG-Annual-Report_2020_Web.pdf)

AUTOSOLAR (2021). *Sección energía solar*. <https://autosolar.pe/>

Aldawoud A. y Salameh T. (2020). *Natural Ventilation to Improve the Thermal Performance of Schools in UAE*, pp. 1-4.

Allen J., Spengler J., Jones E., y Cedeno-Laurent J. (2020). *Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas*. Recuperado de Harvard Healthy Buildings program: <https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2020/10/Harvard-Healthy-Buildings-program-How-to-assess-classroom-ventilation-10-30-2020-ES.pdf>

Alvarez, D. (2017). *Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca-Ecuador* [Tesis para optar al Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14458>

Almeida, R., Peixoto de Freitas V., & Delgado J. (2015). *School Buildings Rehabilitation Indoor Environmental Quality and Enclosure Optimization*. Portugal. Editorial: Springer.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2019). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (Norma núm. 62.1) <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>

ANIXTER (2020). *¿Qué es el cable fotovoltaico (FV/PV)?* Recuperado de [https://www.anixter.com/es\\_la/resources/literature/wire-wisdom/pv-wire.html](https://www.anixter.com/es_la/resources/literature/wire-wisdom/pv-wire.html)

Barbarán, J. (2019). *Mitigación de los impactos ambientales de un edificio existente mediante la mejora de la gestión del agua y energía*. [Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7608>

BREEAM. *How BREEAM Certification Works?* (2021). Recuperado de <https://bregroup.com/products/breeam/how-breeam-works/>

BREEAM. *¿POR QUÉ CERTIFICAR CON BREEAM?* (2023). Recuperado de <https://breeam.es/sobre-breeam/>

Broecker, W. S. (1975). Climatic change: Are we on the brink of a pronounced global warming? *Science*, 189(4201), 460–463. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.460>

Calixtro, P. (2020). *El ahorro del agua y las Edificaciones Sostenibles*. EcoArquitect. <https://ecoarquitect.com/ahorro-agua-edificaciones-sostenibles-ahorro/>

Carranza, R.A. (2012). *Edificio Sustentable de oficinas para venta* (Tesis de Maestría, Lima, Perú). Recuperado de <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/145311>

Chávez, F. (2002). *Zona variable de confort térmico* (Tesis doctoral). Capítulo 2, 36. Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6104>

Cherca, J. (2014). *Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO2 en el poblado rural La Gramita de Casma* [Tesis para optar al Título de Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería] – 110p.

Colegio Salesiano San Francisco de Sales. (2021). *Historia*. Recuperado de <https://www.colegiosalesiano.edu.pe/historia/>

Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (2021). *Sistema de calificación LEED*. Recuperado de <https://www.usgbc.org/leed>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [UNFCCC]. (2021). *¿Qué es el Acuerdo de París?* Recuperado de <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>

Dirección General de Industria, Energía y Minas [DGPEM] (2016). *Calidad de aire interior de Madrid*. Recuperado de <https://www.fenercom.com/publicacion/guia-de-calidad-del-aire-interior-2016/>

Edificios EDGE (2021). *¿Qué es Edge?* Recuperado de <https://edgebuildings.com/about/about-edge/?lang=es>

Elkhapery, B., Kianmehr, P., & Doczy, R. (2021). *Benefits of retrofitting school buildings in accordance to LEED v4*. Journal of Building Engineering, 33, 101798. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101798>

Escobedo, R. (2018). *Implementación de un sistema fotovoltaico para un laboratorio de cómputo en el colegio nacional “Coloso y Emblemático Jaén de Bracamoros-Jaén- Cajamarca* [Tesis para optar al Título de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. ALICIA. Recuperado de <https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/>

Estadística de la Calidad Educativa. (2020). *Ficha de Datos de Colegio Salesiano “San Francisco de Sales”*. Recuperado de [http://escale.minedu.gob.pe/PadronWeb/info/ce?cod\\_mod=0337311&anexo=0](http://escale.minedu.gob.pe/PadronWeb/info/ce?cod_mod=0337311&anexo=0)

Fisk, William J. (2017). *The ventilation problem in schools; literature review*, pp. 1-28. [doi: 10.1111/ina.12403](https://doi.org/10.1111/ina.12403)

Godínez, G. (2018). *Diseño de un reflector Fresnel de foco lineal para aplicaciones de calor de procesos* [Tesis para optar al Título de Magíster en Optomecatrónica, Centro de Investigaciones en Óptica]. CIO Repositorio. Recuperado de <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/772/1/17422.pdf>

Hay, W. W. (2013). *Experimenting on a Small Planet. Experimenting on a Small Planet*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28560-8>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (S.a.). *La radiación solar y su paso por la atmósfera*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2019). *Compendio Estadístico*. Recuperado de [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1690/COMPENDIO2019.html](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1690/COMPENDIO2019.html)

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2018). *Sistema de Monitoreo y Seguimiento de los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Presidencia del Consejo de Ministros. Recuperado de <http://ods.inei.gob.pe/ods/>

International Renewable Energy Agency (2020). *Renewable capacity statistics 2020*. Recuperado de <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>

Kahhat, R. (2020). *Solar Energy Thermal* [Diapositiva de PowerPoint]. Paideia PUCP Sustainable Energy.

Kahhat, R. (2020). *Solar Energy Photovoltaic* [Diapositiva de PowerPoint]. Paideia PUCP Sustainable Energy.

Lecca, E. R., y Lizama, E. C. R. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*. *Industrial Data*, 17(1), 71–80. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>

Loret de Mola, A. y Quijandría, J. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*. Recuperado del sitio de internet del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú: <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/343>

MIDAGRI (2021). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos>

Minguillón, M.C., Querol, X., Felisi, J.M., y Garrido, T. (2020). *Guía para ventilación en aulas*. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura. Recuperado de [https://www.csic.es/sites/default/files/guia\\_para\\_ventilacion\\_en\\_aulas\\_csic-mesura.pdf](https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf)

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021). *La Autoridad Nacional del Agua*. <https://www.ana.gob.pe/contenido/la-autoridad-nacional-del-agua>

Ministerio de Educación (2008). *Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos*. Recuperado de

[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CA00550ABD/\\$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CA00550ABD/$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf)

Ministerio de Salud de Chile (2019). *Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo* (Decreto Supremo N° 594). Recuperado de [https://www.hidronor.cl/pdf/DecretoSupremo\\_594.pdf](https://www.hidronor.cl/pdf/DecretoSupremo_594.pdf)

Ministerio de Ambiente (2012). Perú: *Informe País 20 años después de Río*. Resumen Ejecutivo, junio 2012. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/peru-informe-pais-20-anos-despues-rio-resumen-ejecutivo>

Ministerio de Energía y Minas (2022). *Anuario estadístico de electricidad 2022* Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/3600118-anuario-estadistico-de-electricidad-2021>

Monreal, J. (2012). Diseño de un concentrador solar lineal tipo Fresnel de baja entalpía para calor de procesos [Tesis para optar al Título de Maestro en Ingeniería Energética, Universidad Veracruzana]. Repositorio del Instituto de Energías Renovables. Recuperado de <https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/Tesis/7.pdf>

Naciones Unidas (2012). *El futuro que queremos. Resolución aprobada por la Asamblea General el 27 de julio de 2012*. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/764Future-We-Want-SPANISH-for-Web.pdf>

NOVUM SOLAR (2021). Equipos solares. Recuperado de <https://novumsolar.com/>

Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía [osman] (2011). *Calidad del aire interior*. Recuperado del sitio de Internet de Consejería de salud y familia de Osman: <https://www.osman.es/project/calidad-del-aire-interior-guia/>

Olson, S.L., y Kellum, S. (2003). *The Impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools*. Recuperado del sitio de Internet Leonardo Academy: <http://www.leonardoacademy.org/>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [Osinerghmin], 2019. Energías Renovables: Experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética. Lima: Ministerio de Energía y Minas.

Organización de las Naciones Unidas, Desarrollo y Cooperación Económica Internacional. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Recuperado de [https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf](https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf)

Padrón, A. y Cantú, P. (2009). *El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables*. Revista Cultura Científica y Tecnológica (CULCYT). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3238576>

Parsons, K. (2006). Human Thermal Environments. Segunda edición. pp. 96-100. [DOI:10.1201/b16750](https://doi.org/10.1201/b16750)

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (2019). *No dejar a nadie atrás*. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Recuperado de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

RBJLABS (2020). *Conectores MC4*. Recuperado de <https://rbjlab.com/paneles-solares/conectores-mc4-que-son-como-conectarlos/>

Reglamento Nacional de Edificaciones (2020). *Condiciones Generales de Diseño* (Norma núm. A.010). Recuperado de [www3.vivienda.gob.pe](http://www3.vivienda.gob.pe)

Reglamento Nacional de Edificaciones (2023). *Instalaciones de Ventilación* (Norma núm. EM. 030). Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-la-norma-tecnica-em030-instalaciones-de-ventilaci-resolucion-ministerial-no-232-2020-vivienda-1887042-2/>

Ros, R. M. (2004). Efemérides en matemáticas: El tránsito de Venus para determinar la distancia Tierra-Sol. Revista 100cias@uned, 7, 87–98.

[http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:revista100cias-2004-numero7-5100/Transito\\_de\\_Venus.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:revista100cias-2004-numero7-5100/Transito_de_Venus.pdf)

Rosales Villa, D. E. (2018). *Evaluación del confort térmico en la universidad de la costa en la ciudad de Barranquilla*. Recuperado de <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/844>

Smets, A., Jager, K., Olindo, I., Van Swaaij, R., y Zeman. M. (2015). *PV modules*. Solar Energy (pp. 259-277). Inglaterra: UIT Cambridge

Smets, A., Jager, K., Olindo, I., Van Swaaij, R., y Zeman. M. (2015). *PV system design*. Solar Energy (pp. 357-393). Inglaterra: UIT Cambridge

Smets, A., Jager, K., Olindo, I., Van Swaaij, R., y Zeman. M. (2015). *Semiconductor junctions*. Solar Energy (pp. 111-137). Inglaterra: UIT Cambridge

Spiegler, C., & Cifuentes, J. (2016). *Definición e información de Energías Renovables*. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/1/DEFINICION%20E%20INFORMACION%20DE%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>

Tester, J. W. (2012). *Sustainable energy: Choosing among options*. Cambridge, MA: MIT Press

Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia [EIA] (2021). *Conceptos Básicos*. Recuperado de <https://www.eia.edu.co/conceptos-basicos/>

US Department of Health and Human Services (2021). *Mask Use and Ventilation Improvements to Reduce COVID-19 Incidence in Elementary Schools — Georgia, November 16–December 11, 2020. pp 1-7. Vol. 70 / No. 21.*

U.S. Energy Information Administration. (2021). *Solar explained*. United States Department of Energy. Recuperado de <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/where-solar-is-found.php>

U.S. Green Building Council (2021). *Public LEED Project Directory*. Recuperado de <https://www.usgbc.org/projects>

Valencia, F. (2019). Ecoeficiencia en el uso del agua, su reutilización y manejo de residuos sólidos en la institución educativa estatal almirante Miguel Grau el pedregal distrito de Majes - Caylloma – Arequipa. [Tesis para optar al Título de Ingeniero Sanitario,

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10194>

Valdiviezo, P. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP* [Tesis para optar al Título de Ingeniero Mecánico, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. [Recuperado de https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/155277](https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/155277)

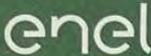
Vázquez I., Reyna J., García S. y Kahhat R. (2015). *Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes?* pp. 108-116.

Venegas, C. (2017). *Diseño y construcción de un concentrador lineal Fresnel* [Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio USM. Recuperado de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23305>



8. Anexos

Anexo A. Energía eléctrica



Enel Distribución Perú S.A.A.  
R.U.C. N° 20269985900  
Calle General López Rojas #201  
Urb. Mzranga San Miguel - Lima - Lima

000366000



23095

PAG. 1 de 1



Número de cliente  
**0337561**

Dirección: HUARAZ 1045 BRENA - BREÑA

Fecha de emisión: 29/OCT/2019

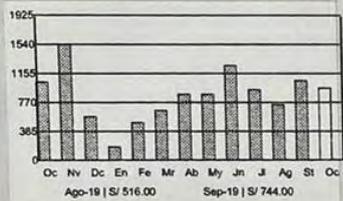
R.U.C.:  
N° de Medidor: 01763786  
3 Hilos

Ruta: 88-206-2200-91  
N° de Recibo: D-19091665

**OCTUBRE 2019**

USUARIO / USUARIA  
**CEP SALESIANO**

**CONSUMO HISTÓRICO KWH**



**DETALLE DEL CONSUMO**

Lectura Actual (26/10/2019) **10095**

Lectura Anterior (24/09/2019) **10047**

Precio Unitario S/. kWh **0.5346**

Factor 20      Consumo kWh 960

**TOTAL A PAGAR**

S/\*\*\*\*\*662.00

Usted está al día 😊

**VENCIMIENTO** 13/NOV/2019

**DATOS DEL SUMINISTRO**

Alimentador **PA-10**

Potencia Contratada **36.50 KW**

Medidor **TRIFÁSICO - Electromecánico**

Conexión **Subterráneos**

Tensión **220 V - BT**

Sector Típico **1 (SE0005)**

Pliego Tarifario **Lima**

Tarifa **BT5B**

Sistema Eléctrico **Lima Norte**

Tipo de Conexión **C2.2**

**MENSAJES AL CLIENTE**

El total a pagar incluye: Recargo FOSE (Ley 27510) S/ 18.92.  
Categoría: No Residencial, Nro de lote(s): 1  
**CARGO EN CUENTA BANCARIA**

**DETALLE DE IMPORTES**

Reposic. y Mant. de Conex	1.54
Cargo Fijo	2.70
Cargo por Energía	513.22
Alumbrado Público	33.60
Servicio Postal	3.00
<b>SUBTOTAL Mes Actual</b>	<b>554.06</b>
I.G.V.	99.73
<b>TOTAL Mes Actual</b>	<b>653.79</b>
Aporte Ley N° 28749	8.06
Redondeo Mes Anterior	0.17
Redondeo Mes Actual	-0.02

**PAGA CON VISA**



Ahora paga tu recibo de luz con cualquier tarjeta **VISA** ingresando a [www.enel.pe](http://www.enel.pe)



0033756150000620013112019042611000000002



**TÜV Rheinland**  
CERTIFIED

- ✓ ISO 9001:2015 - CALIDAD DEL SERVICIO
- ✓ ISO 50001:2011 - EFICIENCIA ENERGÉTICA
- ✓ OHSAS 18001:2017 - SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO
- ✓ ISO 14001:2015 - GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Fonocliente 517-1717 | [www.enel.pe](http://www.enel.pe) | [fonocliente@enel.com](mailto:fonocliente@enel.com) | **DESCÁRGATE EL APP ENEL PERÚ**

Anexo 1. Recibo de luz del pabellón de primaria

## Cheetah HC 72M

### 380-400 Vatios

MÓDULO MONO PERC MEDIA CÉLULA

---

Tolerancia positiva 0/+3%

---

- Media Célula
- Mono PERC 72 Células



### PERC



## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS



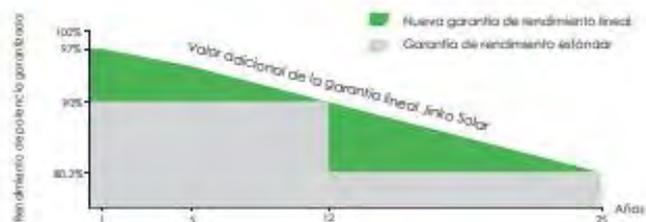
- 
**Célula Solar 5 bus bar**  
 La célula solar 5 bus bar adapta una nueva tecnología para mejorar la eficiencia de los módulos, ofrece un mejor aspecto estético, lo que es perfecta para su instalación en las tejadas.
- 
**Alta eficiencia**  
 Alta eficiencia de conversión del módulo (hasta 19,88%) gracias a una nueva tecnología de producción.
- 
**Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID)**  
 El excelente rendimiento Anti-PID garantiza una degradación limitada de la potencia del módulo.
- 
**Rendimiento con baja irradiación lumínica**  
 El avanzado cristal y el texturizado de la superficie de la célula fotovoltaica permiten un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.
- 
**Resistencia en condiciones climatológicas adversas**  
 Certificado para soportar rachas de viento (2400 Pascal) y cargas de nieve (5400 Pascal).
- 
**Resistencia en condiciones ambientales extremas**  
 Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD.

## GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 Años de garantía del producto \* 25 Años de garantía potencial lineal

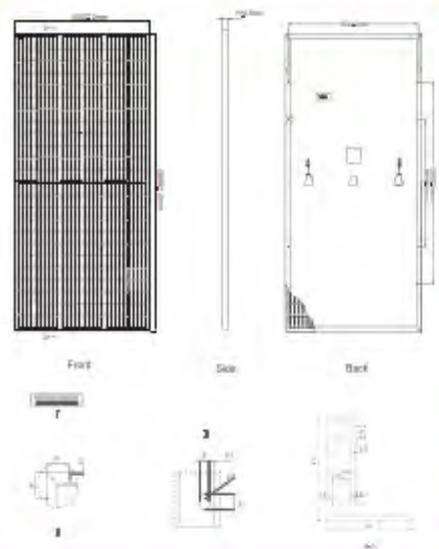


- Fábrica con certificado ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001
- Productos con certificación IEC61215 IEC61730, UL1703

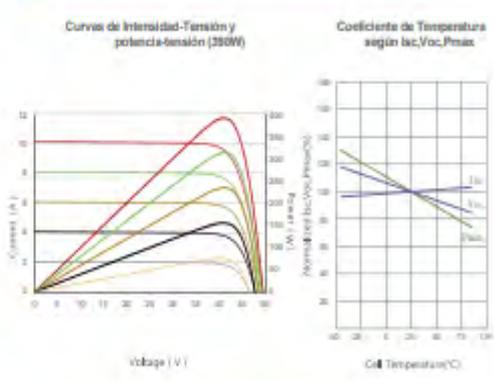


Fuente: US. Novum Solar, 2021. <https://novumsolar.com/equipos/paneles-solares-jinko-solar-cheetah/>

### Dibujos técnicos



### Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



### Características mecánicas

Tipo de Célula	Mono PERC 158.75x158.75mm
Nº de Media-Células	144 (6x24)
Dimensiones	2008x1002+40mm (79.06x39.45x1.57 pulgadas)
Peso	22.5 kg (49.6 libras)
Vidrio Frontal	3.2mm, Alta Transmisión Bajo contenido en hierro, Vidrio templado
Estructura	Alación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TUV 1x4.0mm² Área de 250mm. Círculo 145mm. 0 longitud Personalizada

### Embalaje

[ Dos cajas = Un pwr ]  
 25pcs/caja / 52pcs/caja, 572pcs/40HQ Contenedores

## ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM380M-72H		JKM385M-72H		JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmax)	380Wp	288Wp	385Wp	290Wp	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp
Tensión en punto Pmáx. VMPP (V)	40.5V	38.6V	40.8V	38.8V	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.8V
Corriente en el Pmáx. IMPP (A)	9.39A	7.42A	9.44A	7.48A	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.68A
Tensión en circuito abierto VOC (V)	46.0V	47.5V	46.1V	47.7V	46.3V	48.0V	46.5V	48.2V	46.8V	48.5V
Corriente de cortocircuito ISC (A)	9.75A	7.88A	9.92A	7.95A	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A
Eficiencia de módulo (%)	18.89%		19.14%		19.38%		19.63%		19.88%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C→+85°C									
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)									
Valores máximos recomendables de los fusibles	20A									
Tolerancia de Potencia Nominal	0→+3%									
Coeficiente de Temperatura de Pmax	-0.37%/°C									
Coeficiente de Temperatura de Voc	-0.29%/°C									
Coeficiente de Temperatura de Isc	0.048%/°C									
Temperatura Operacional Nominal de célula (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀️ Radiación 1000W/m<sup>2</sup> 📱 Célula módulo 25°C 🌫️ AM=1.5

NOCT: ☀️ Radiación 800W/m<sup>2</sup> 📱 Ambiente Módulo 20°C 🌫️ AM=1.5 🌬️ Velocidad del viento 1m/s

\* Tolerancia de medición de potencia: ± 3%

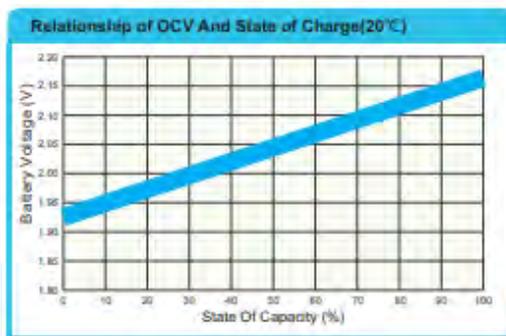
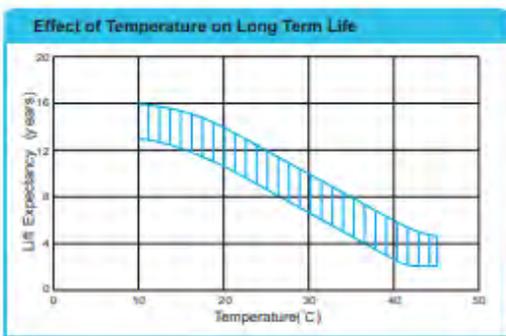
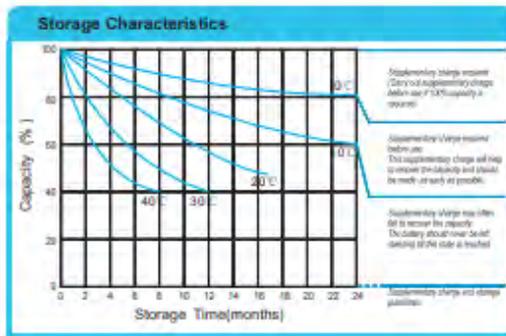
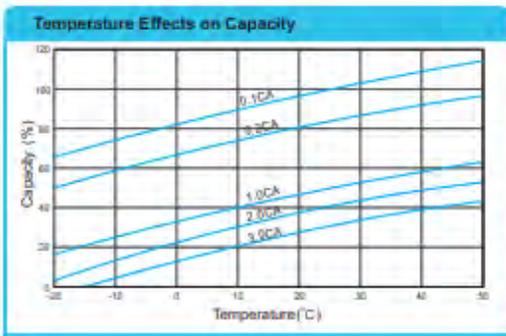
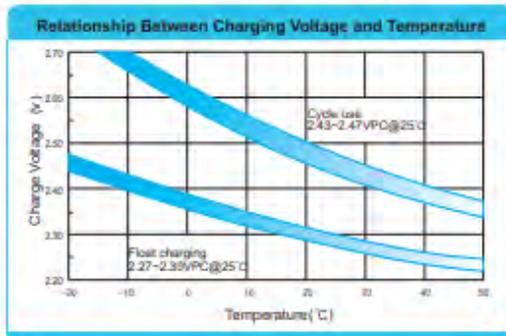
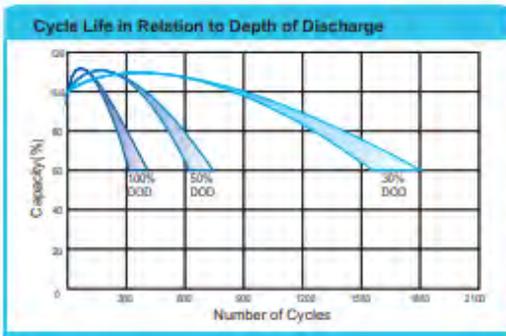
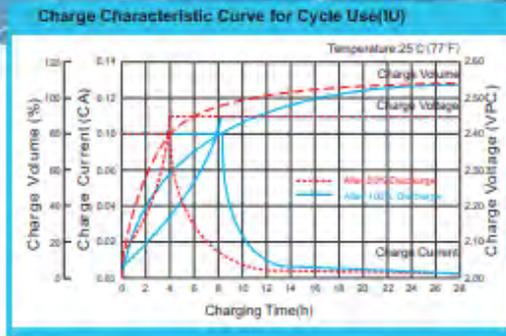
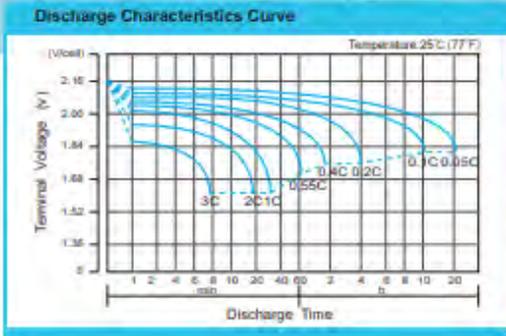
The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-JKM-PERC-400M-72H\_v1.0\_rev2016

## Anexo 2. Ficha técnica de módulo fotovoltaico Jinko Solar Cheetah

Fuente: US. Novum Solar, 2021. <https://novumsolar.com/equipos/paneles-solares-jinko-solar-cheetah/>



# DC12-260(12V260Ah)



SHENZHEN RITAR POWER CO.,LTD.  
URL: [www.ritarpower.com](http://www.ritarpower.com)

Add: 10th Floor, Tower C, 1st Building, Software Industry Base, No.41, Xuefu Road, Nanshan District, Shenzhen, Guangdong, China 518057  
Tel: +86-755-33081688/83475380 Fax: +86-755-83475180 E-mail: [sales@ritarpower.com](mailto:sales@ritarpower.com) Version 17A-0

## Anexo 3. Ficha técnica de batería RITAR 12V-260Ah DG GEL

Fuente: Autosolar, 2021. <https://autosolar.pe/baterias-de-gel-12v/bateria-ritar-12v-260ah-dg-gel>



# Anexo B. Recurso hídrico

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

Suministro N°  
3039117-1

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 07/01/2019  
Período de consumo: 06/12/2018 - 05/01/2019  
Ref. de cobro: 30391172821  
N° de recibo: 00022897-11001201901  
Mes facturado: Enero 2019  
Fecha de vencimiento: 30/01/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	5826	6857	1029

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,308.78
	1000 a más	5,753.488

Concepto: Volumen de Agua Potable 1,029.00 m3 5,526.78  
Servicio de Alcantarillado 5,04 5,04  
Carga Fijo 1,659.54 1,659.54  
I.G.V. 8,108.54 x 18% 1,459.54  
Redondeo del mes anterior -0.08  
Redondeo del mes siguiente 9,358.00

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*9,568.00

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 06/12/2018  
Período de consumo: 05/01/2019 - 05/02/2019  
Ref. de cobro: 30391172449  
N° de recibo: 02075596-11051201902  
Mes facturado: Febrero 2019  
Fecha de vencimiento: 15/03/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	6857	7646	989

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,308.78
	1000 a más	5,753.488

Concepto: Volumen de Agua Potable 989.00 m3 5,301.04  
Servicio de Alcantarillado 5,04 5,04  
Carga Fijo 1,390.97 1,390.97  
I.G.V. 7,777.50 x 18% 1,399.97  
Redondeo del mes anterior -0.08  
Redondeo del mes siguiente 9,177.00

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*9,177.00

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

Suministro N°  
3039117-1

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 07/09/2019  
Período de consumo: 06/08/2019 - 06/09/2019  
Ref. de cobro: 30391172521  
N° de recibo: 13408209-11001201909  
Mes facturado: Septiembre 2019  
Fecha de vencimiento: 27/09/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	14249	15317	1068

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,394.252
	1000 a más	5,787.276

Concepto: Volumen de Agua Potable 1,068.00 m3 5,787.52  
Servicio de Alcantarillado 2,727.37 2,727.37  
Carga Fijo 5,04 5,04  
I.G.V. 8,519.93 x 18% 1,533.59  
Redondeo del mes anterior 0.05  
Redondeo del mes siguiente 10,063.50

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*10,053.50

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 07/10/2019  
Período de consumo: 06/09/2019 - 07/10/2019  
Ref. de cobro: 30391172822  
N° de recibo: 15773015-11001201910  
Mes facturado: Octubre 2019  
Fecha de vencimiento: 15/11/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	15317	16418	1101

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,394.252
	1000 a más	5,787.276

Concepto: Volumen de Agua Potable 1,101.00 m3 5,978.49  
Servicio de Alcantarillado 2,817.35 2,817.35  
Carga Fijo 5,04 5,04  
I.G.V. 8,600.85 x 18% 1,548.15  
Redondeo del mes anterior 0.07  
Redondeo del mes siguiente 10,385.00

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*10,385.00

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

Suministro N°  
3039117-1

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 06/12/2018  
Período de consumo: 05/01/2019 - 05/02/2019  
Ref. de cobro: 30391172449  
N° de recibo: 02075596-11051201902  
Mes facturado: Febrero 2019  
Fecha de vencimiento: 15/03/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	6857	7646	989

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,308.78
	1000 a más	5,753.488

Concepto: Volumen de Agua Potable 989.00 m3 5,301.04  
Servicio de Alcantarillado 5,04 5,04  
Carga Fijo 1,390.97 1,390.97  
I.G.V. 7,777.50 x 18% 1,399.97  
Redondeo del mes anterior -0.08  
Redondeo del mes siguiente 9,177.00

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*9,177.00

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 07/09/2019  
Período de consumo: 06/08/2019 - 06/09/2019  
Ref. de cobro: 30391172521  
N° de recibo: 13408209-11001201909  
Mes facturado: Septiembre 2019  
Fecha de vencimiento: 27/09/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	14249	15317	1068

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,394.252
	1000 a más	5,787.276

Concepto: Volumen de Agua Potable 1,068.00 m3 5,787.52  
Servicio de Alcantarillado 2,727.37 2,727.37  
Carga Fijo 5,04 5,04  
I.G.V. 8,519.93 x 18% 1,533.59  
Redondeo del mes anterior 0.05  
Redondeo del mes siguiente 10,063.50

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*10,053.50

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

Suministro N°  
3039117-1

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
AV BRASIL 328  
CERCADO  
BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015  
OC.: AV TINGO MARIA 800 LIMA (CERC. LIMA)

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 07/09/2019  
Período de consumo: 06/08/2019 - 06/09/2019  
Ref. de cobro: 30391172521  
N° de recibo: 13408209-11001201909  
Mes facturado: Septiembre 2019  
Fecha de vencimiento: 27/09/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	14249	15317	1068

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,394.252
	1000 a más	5,787.276

Concepto: Volumen de Agua Potable 1,068.00 m3 5,787.52  
Servicio de Alcantarillado 2,727.37 2,727.37  
Carga Fijo 5,04 5,04  
I.G.V. 8,519.93 x 18% 1,533.59  
Redondeo del mes anterior 0.05  
Redondeo del mes siguiente 10,063.50

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*10,053.50

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**INFORMACION GENERAL**

Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
Dirección del suministro: AV BRASIL 328 - CERCADO  
Distrito: BRENA  
Tipo de facturación: Mensual  
Frecuencia de facturación: Mensual  
Tarifa: COMERCIAL  
Categoría: NO RESIDENCIAL  
Unidad de Uso: 1  
Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**

Fecha de emisión: 07/10/2019  
Período de consumo: 06/09/2019 - 07/10/2019  
Ref. de cobro: 30391172822  
N° de recibo: 15773015-11001201910  
Mes facturado: Octubre 2019  
Fecha de vencimiento: 15/11/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):
AF18000420	15317	16418	1101

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5,394.252
	1000 a más	5,787.276

Concepto: Volumen de Agua Potable 1,101.00 m3 5,978.49  
Servicio de Alcantarillado 2,817.35 2,817.35  
Carga Fijo 5,04 5,04  
I.G.V. 8,600.85 x 18% 1,548.15  
Redondeo del mes anterior 0.07  
Redondeo del mes siguiente 10,385.00

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*10,385.00

Con la aplicación SEDAPAL Móvil tendrás información de tu servicio a la mano. Descarga gratis en: Google Play, App Store

**EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA**

Para tus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**sedapal** C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO Suministro N° 3039117-1  
 AV BRASIL 328 CERCADO BRENA  
 RUC.: 20139537166 Sector: 015  
 OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC LIMA)

www.sedapal.com.pe  
 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima  
 Autopista Ramiro Prialé 210 El Aguajón - Lima RUC: 20169192336

Fecha de emisión: 08/03/2019 Período de consumo: 05/02/2019 - 07/03/2019  
 Ref. de cobro: 30391172496 N° de recibo: 03643454-11001201903  
 Mes facturado: Brena Fecha de vencimiento: 28/03/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**  
 Medidor: Anterior: Actual: Consumo (m3):  
 AF18000420 7846 8638 992

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**  
 Concepto: Importe:  
 Volumen de Agua Potable 992.00 m3 5,317.12  
 Servicio de Alcantarillado 2,479.03  
 Cargo Fijo 5.04  
 I.G.V. 7,801.17 a 18% 1,404.21  
 Redondeo del mes anterior 0.04  
 Redondeo de consumo (m3) 0.02  
 Consumo del mes 9,205.40

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*9,205.40

Con RCD N° 061-2018-SUNASS-CO publicada el 04/01/2018, se modificaron los siguientes artículos del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Suministro:  
 • Art. 29 - Causales de terminación.  
 • Art. 42 - Sanciones generales para los usuarios.  
 • Art. 48 - Recupero del consumo no facturado por manipulación del medidor.  
 • Art. 102 - Medidor de conexión domiciliar.  
 • Art. 113 - Cierre de los servicios de agua potable y alcantarillado por incumplimiento de la conexión.  
 • Art. 115 - Levantamiento de la Conexión.  
 Mejor información en [www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

**EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO DE AGUA**

Para sus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**sedapal** C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO Suministro N° 3039117-1  
 AV BRASIL 328 CERCADO BRENA  
 RUC.: 20139537166 Sector: 015  
 OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC LIMA)

www.sedapal.com.pe  
 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima  
 Autopista Ramiro Prialé 210 El Aguajón - Lima RUC: 20169192336

Fecha de emisión: 08/04/2019 Período de consumo: 07/03/2019 - 08/04/2019  
 Ref. de cobro: 30391172496 N° de recibo: 0521112-11001201904  
 Mes facturado: Brena Fecha de vencimiento: 29/04/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**  
 Medidor: Anterior: Actual: Consumo (m3):  
 AF18000420 8638 10288 1450

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**  
 Concepto: Importe:  
 Volumen de Agua Potable 1,450.00 m3 7,947.95  
 Servicio de Alcantarillado 3,705.00  
 Cargo Fijo 5.04  
 I.G.V. 11,657.99 a 18% 2,098.44  
 Redondeo del mes anterior 0.02  
 Redondeo de consumo (m3) 0.05  
 Consumo del mes 13,756.40

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*13,756.40

Con RCD N° 061-2018-SUNASS-CO publicada el 04/01/2018, se modificaron los siguientes artículos del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Suministro:  
 • Art. 29 - Causales de terminación.  
 • Art. 42 - Sanciones generales para los usuarios.  
 • Art. 48 - Recupero del consumo no facturado por manipulación del medidor.  
 • Art. 102 - Medidor de conexión domiciliar.  
 • Art. 113 - Cierre de los servicios de agua potable y alcantarillado por incumplimiento de la conexión.  
 • Art. 115 - Levantamiento de la Conexión.  
 Mejor información en [www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

**EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO DE AGUA**

Para sus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**sedapal** C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO Suministro N° 3039117-1  
 AV BRASIL 328 CERCADO BRENA  
 RUC.: 20139537166 Sector: 015  
 OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC LIMA)

www.sedapal.com.pe  
 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima  
 Autopista Ramiro Prialé 210 El Aguajón - Lima RUC: 20169192336

Fecha de emisión: 27/06/2019 Período de consumo: 07/05/2019 - 08/06/2019  
 Ref. de cobro: 30391172496 N° de recibo: 09463119-11001201906  
 Mes facturado: Brena Fecha de vencimiento: 15/07/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**  
 Medidor: Anterior: Actual: Consumo (m3):  
 AF18000420 11599 12446 847

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**  
 Concepto: Importe:  
 Volumen de Agua Potable 847.00 m3 4,539.92  
 Servicio de Alcantarillado 2,116.85  
 Cargo Fijo 5.04  
 I.G.V. 6,661.61 a 18% 1,159.09  
 Redondeo del mes anterior 0.02  
 Redondeo de consumo (m3) 0.02  
 Consumo del mes 7,860.70

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*7,860.70

Con RCD N° 061-2018-SUNASS-CO publicada el 04/01/2018, se modificaron los siguientes artículos del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Suministro:  
 • Art. 29 - Causales de terminación.  
 • Art. 42 - Sanciones generales para los usuarios.  
 • Art. 48 - Recupero del consumo no facturado por manipulación del medidor.  
 • Art. 102 - Medidor de conexión domiciliar.  
 • Art. 113 - Cierre de los servicios de agua potable y alcantarillado por incumplimiento de la conexión.  
 • Art. 115 - Levantamiento de la Conexión.  
 Mejor información en [www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

**EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO DE AGUA**

Para sus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**sedapal** C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO Suministro N° 3039117-1  
 AV BRASIL 328 CERCADO BRENA  
 RUC.: 20139537166 Sector: 015  
 OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC LIMA)

www.sedapal.com.pe  
 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima  
 Autopista Ramiro Prialé 210 El Aguajón - Lima RUC: 20169192336

Fecha de emisión: 23/05/2019 Período de consumo: 06/04/2019 - 07/05/2019  
 Ref. de cobro: 30391172496 N° de recibo: 07842725-11001201905  
 Mes facturado: Mayo 2019 Fecha de vencimiento: 14/06/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**  
 Medidor: Anterior: Actual: Consumo (m3):  
 AF18000420 10288 11599 1311

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**  
 Concepto: Importe:  
 Volumen de Agua Potable 1,311.00 m3 7,148.56  
 Servicio de Alcantarillado 3,332.48  
 Cargo Fijo 5.04  
 I.G.V. 10,486.08 a 18% 1,887.49  
 Redondeo del mes anterior 0.05  
 Redondeo de consumo (m3) 0.02  
 Consumo del mes 12,373.80

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*12,373.80

Con RCD N° 061-2018-SUNASS-CO publicada el 04/01/2018, se modificaron los siguientes artículos del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Suministro:  
 • Art. 29 - Causales de terminación.  
 • Art. 42 - Sanciones generales para los usuarios.  
 • Art. 48 - Recupero del consumo no facturado por manipulación del medidor.  
 • Art. 102 - Medidor de conexión domiciliar.  
 • Art. 113 - Cierre de los servicios de agua potable y alcantarillado por incumplimiento de la conexión.  
 • Art. 115 - Levantamiento de la Conexión.  
 Mejor información en [www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

**EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO DE AGUA**

Para sus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**sedapal** C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
 AV BRASIL 328 CERCADO BREÑA  
 RUC.: 20139537166  
 Sector: 015  
 OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC LIMA) - 424-0661

Ministerio N° 3039117-1  
 RECEPCION  
 15 JUL 2019

**INFORMACION GENERAL**  
 Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
 Dirección del suministrador: AV BRASIL 328 - CERCADO BREÑA  
 Tipo de facturación: Mensual  
 Lectura: COMERCIAL  
 Unidad de Uso: 1  
 Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**  
 Fecha de emisión: 08/07/2019  
 Ref. de cobro: 30391172506  
 Mes facturado: Julio 2019  
 Fecha de vencimiento: 26/07/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**  
 Medidor: AF18000420  
 Anterior: 12446  
 Actual: 13376  
 Consumo (m3): 930

**DETALLE DE FACTURACION**  
 Concepto: Volumen de Agua Potable 930.00 m3 4,984.80  
 Servicio de Alcantarillado 2,324.07  
 Cargo Fijo 5.04  
 I.G.V. 7,313.91 x 18% 1,316.50  
 Redondeo del mes anterior 0.02  
 Redondeo del mes posterior -0.03  
 Consumo del mes 8,630.40

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*8,630.40

Gracias por la puntualidad en sus pagos

**MENSAJES**  
 El 1% de la facturación mensualmente por los conceptos de agua potable, alcantarillado y cargo fijo se destina al Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE), para la conservación, restauración o uso sostenible de los ecosistemas que proveen de agua.

**EVOLUCION DE SU CONSUMO DE AGUA**  
 m³  
 2250  
 2000  
 1750  
 1500  
 1250  
 1000  
 750  
 500  
 250  
 0  
 Ju Ag St Cv Nv Dc En Fb Mz Ab My Jh Ju

Para sus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

**sedapal** C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
 AV BRASIL 328 CERCADO BREÑA  
 RUC.: 20139537166  
 Sector: 015  
 OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC LIMA) - 424-0661

Ministerio N° 3039117-1  
 RECEPCION  
 15 AGO 2019

**INFORMACION GENERAL**  
 Titular de la conexión: C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
 Dirección del suministrador: AV BRASIL 328 - CERCADO BREÑA  
 Tipo de facturación: Mensual  
 Lectura: COMERCIAL  
 Unidad de Uso: 1  
 Actividad: COLEGIO PARTICULAR

**INFORMACION DE PAGO**  
 Fecha de emisión: 08/07/2019  
 Ref. de cobro: 30391172506  
 Mes facturado: Agosto 2019  
 Fecha de vencimiento: 28/08/2019

**LECTURA DE MEDIDOR**  
 Medidor: AF18000420  
 Anterior: 13376  
 Actual: 14249  
 Consumo (m3): 873

**DETALLE DE FACTURACION**  
 Concepto: Volumen de Agua Potable 873.00 m3 4,679.26  
 Servicio de Alcantarillado 2,181.63  
 Cargo Fijo 5.04  
 I.G.V. 6,865.95 x 18% 1,233.87  
 Redondeo del mes anterior 0.03  
 Redondeo del mes posterior -0.05  
 Consumo del mes 8,101.80

Importe total a pagar: S/ \*\*\*\*8,101.80

Gracias por la puntualidad en sus pagos

**MENSAJES**  
 El 1% de la facturación mensualmente por los conceptos de agua potable, alcantarillado y cargo fijo se destina al Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE), para la conservación, restauración o uso sostenible de los ecosistemas que proveen de agua.

**EVOLUCION DE SU CONSUMO DE AGUA**  
 m³  
 2250  
 2000  
 1750  
 1500  
 1250  
 1000  
 750  
 500  
 250  
 0  
 Ag St Cv Nv Dc En Fb Mz Ab My Jh Ju Ag

Para sus consultas y requerimientos llámanos al 317 8000 de Aquafono

Anexo 5. Recibos de agua del año 2019.



www.sedapal.com.pe  
 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado  
 de Lima  
 Autopista Ramiro Prialé 210  
 El Agustino - Lima  
 RUC: 20100152356

C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO  
 AV BRASIL 328  
 CERCADO  
 BRENA

RUC.: 20139537166

Sector: 015

OC.: AV TINGO MARIA 600 LIMA (CERC. LIMA)



**INFORMACIÓN GENERAL**

Titular de la conexión:  
**C.E.N.E. PARROQUIAL SALESIANO SAN FRANCISCO**

Dirección del suministro:  
**AV BRASIL 328 - CERCADO**

Distrito:  
**BRENA**

Tipo de facturación: **LECTURA** Frecuencia de facturación: **Mensual**

Tarifa: **COMERCIAL** Categoría: **NO RESIDENCIAL**

Unidad de Uso: **1** Tipo de descarga: **NO DOMESTICO**

Actividad:  
**COLEGIO PARTICULAR**

**INFORMACIÓN DE PAGO**

Fecha de emisión: **24/01/2020** Período de consumo: **07/12/2019 - 07/01/2020**

Ref. de cobro: **30391172555** N° de recibo: **01629828-11001202001**

Mes facturado: **Enero 2020** Fecha de vencimiento: **14/02/2020**

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Estructura Tarifaria (30/09/2019)

Tarifa	Rango	Agua	Alcant.
COMERCIAL	0 a 1000	5.438	2.592
	1000 a mas	5.834	2.780

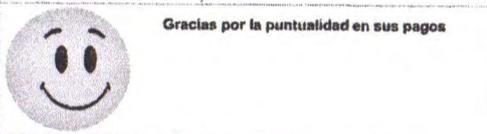
Horario de abastecimiento  
 Código : BRE003 00  
 Frecuencia: DIARIO  
 De : 00:00 hrs.  
 Hasta : 24:00 hrs.  
 Diámetro Conex: 50 mm.

**DETALLE DE FACTURACIÓN**

Concepto:	Importe:
Volumen de Agua Potable 1,229.00 m3	6,773.99
Servicio de Alcantarillado	3,228.62
Cargo Fijo	5.04
I.G.V. 10,007.65 x 18%	1,801.38
Redondeo del mes anterior	0.02
Redondeo del mes actual	-0.05
Consumo del mes	11,809.00

*Este recibo será cargado en su Cuenta Bancaria*

Importe total a pagar: **S/ \*\*\*11,809.00**



Con la aplicación **SEDAPAL Móvil** tendrás **información de tu servicio a la mano.**

Descarga gratis en:

**MENSAJES**

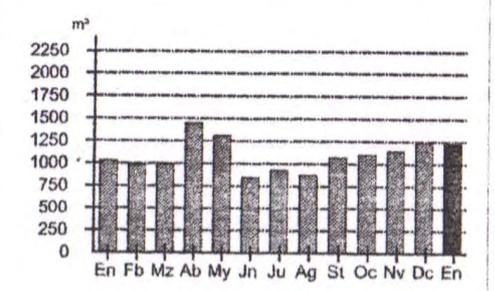
El 1% de lo facturado mensualmente por los conceptos de agua potable, alcantarillado y cargo fijo se destina al Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE), para la conservación, restauración o uso sostenible de los ecosistemas que proveen de agua.

El monto de su recibo destinado al MRSE es: S/ \*\*\*\*\*100.08

El acoso sexual en el trabajo también es violencia. Llama al 1819, línea gratuita de orientación legal y psicológica. [trabajasinacoso.trabajo.gob.pe](http://trabajasinacoso.trabajo.gob.pe)

Adeudar 2 recibos de agua, origina la desafiliación del servicio cargo en cuenta. Si no esta de acuerdo con el monto a debitarse, puede suspenderlo llamando al Banco o Sedapal al 3173000 anexo 2819. Plazo 48 horas antes del vencimiento.

**EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA**



Para tus consultas y requerimientos llámanos al **317 8000 de Aquafono**

Impreso por: Enotria S.A. RUC 20100117526

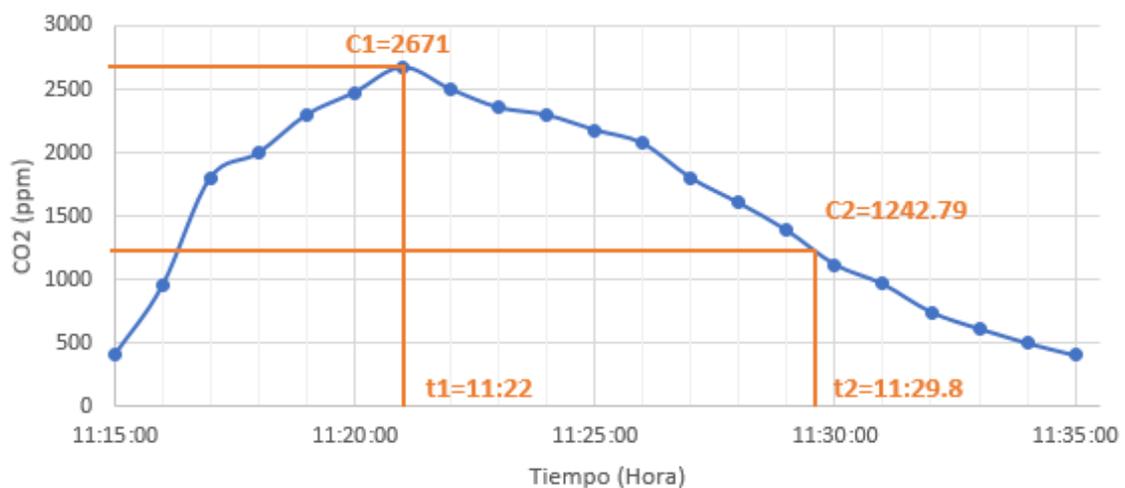
Anexo 6. Recibo de agua de enero 2020, con la evolución del consumo de agua del 2019.

### Anexo C. Interacción infraestructura-usuario

Anexo 7. Tabal de concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 2)

Minutos	Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)
0	11:15:00	404
1	11:16:00	950
2	11:17:00	1 800
3	11:18:00	1 996
4	11:19:00	2 296
5	11:20:00	2 472
6	11:21:00	2 671
7	11:22:00	2 499
8	11:23:00	2 355
9	11:24:00	2 296
10	11:25:00	2 178
11	11:26:00	2 073
12	11:27:00	1 801
13	11:28:00	1 604
14	11:29:00	1 389
15	11:30:00	1 120
16	11:31:00	966
17	11:32:00	746
18	11:33:00	614
19	11:34:00	500
20	11:35:00	405

Nota: Elaboración propia

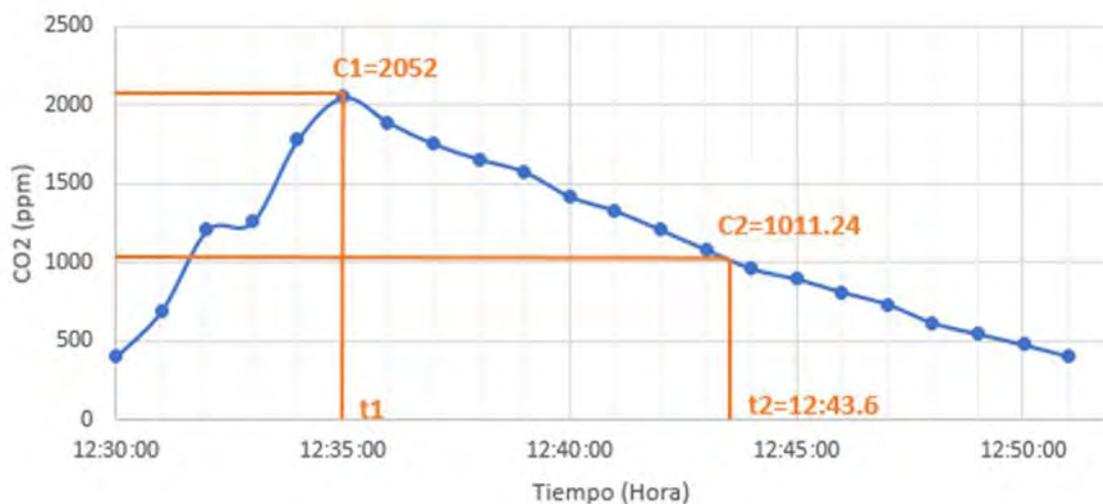


Anexo 8. Gráfico de concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 2).

Anexo 9. Tabla de concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 3)

Minutos	Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)
0	12:30:00	405
1	12:31:00	698
2	12:32:00	1 210
3	12:33:00	1 260
4	12:34:00	1 786
5	12:35:00	2 052
6	12:36:00	1 893
7	12:37:00	1 756
8	12:38:00	1 661
9	12:39:00	1 580
10	12:40:00	1 422
11	12:41:00	1 333
12	12:42:00	1 210
13	12:43:00	1 086
14	12:44:00	965
15	12:45:00	899
16	12:46:00	815
17	12:47:00	738
18	12:48:00	619
19	12:49:00	550
20	12:50:00	481
21	12:51:00	406

Nota: Elaboración propia

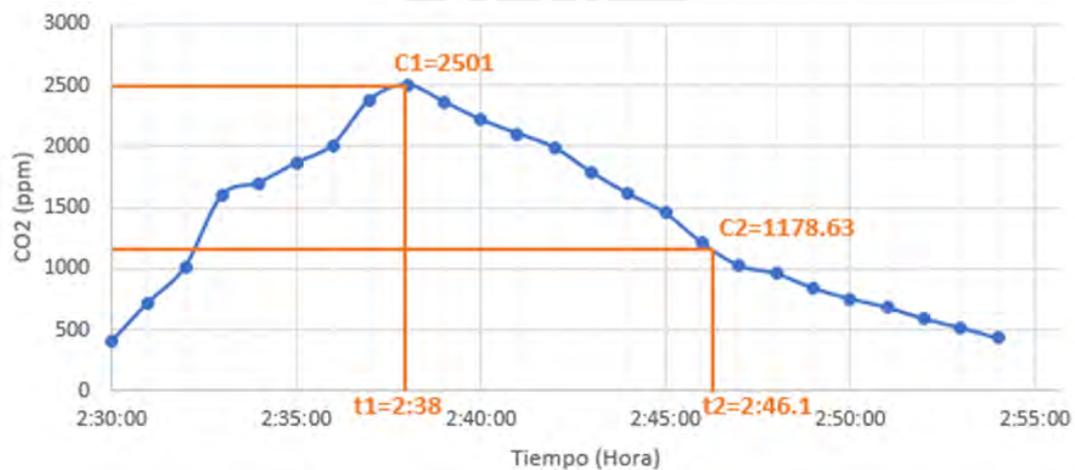


Anexo 10. Gráfico de concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 3).

Anexo 11. Tabla de concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 4)

Minutos	Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)
0	2:30:00	400
1	2:31:00	722
2	2:32:00	1 011
3	2:33:00	1 596
4	2:34:00	1 703
5	2:35:00	1 863
6	2:36:00	2 010
7	2:37:00	2 377
8	2:38:00	2 501
9	2:39:00	2 366
10	2:40:00	2 218
11	2:41:00	2 105
12	2:42:00	1 990
13	2:43:00	1 788
14	2:44:00	1 612
15	2:45:00	1 455
16	2:46:00	1 210
17	2:47:00	1 024
18	2:48:00	960
19	2:49:00	841
20	2:50:00	754
21	2:51:00	685
22	2:52:00	590
23	2:53:00	517
24	2:54:00	432

Nota: Elaboración propia



Anexo 12. Gráfico de concentración de CO<sub>2</sub> en el tiempo (Ensayo 4).

*Anexo 13. Registros de temperatura, velocidad del aire y humedad.*

Hora 10:30 am

Altura sobre el piso (m)	0.10	0.60	1.10
Temperatura del aire (°C)	20.9	22.4	23
Velocidad del aire (m/s)	0	0.1	0.1
Humedad	67%	67%	67%

Hora 11:45 am

Altura sobre el piso (m)	0.10	0.60	1.10
Temperatura del aire (°C)	21	22.5	23.1
Velocidad del aire (m/s)	0	0	0.1
Humedad	66%	67%	67%

Hora 1:00 pm

Altura sobre el piso (m)	a 0.1	a 0.6	a 1.1
Temperatura del aire (°C)	21.1	22.4	23.2
Velocidad del aire (m/s)	0	0.1	0.1
Humedad	67%	67%	66%

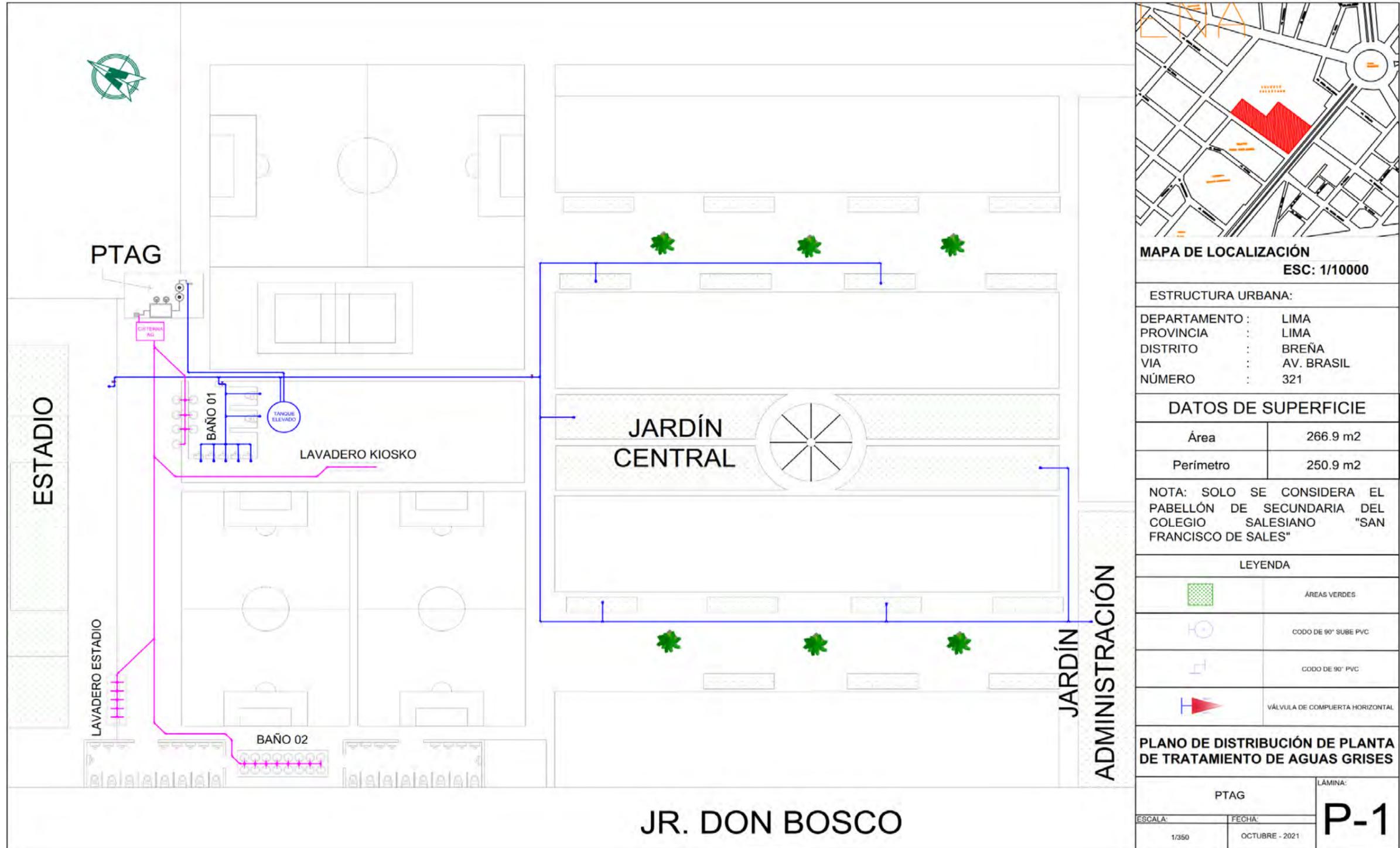
Anexo 14. Registro de temperaturas superficiales.

<b>Hora</b>	<b>10:20</b>	<b>10:25</b>	<b>10:30</b>	<b>10:35</b>	<b>10:40</b>	<b>10:45</b>	<b>10:50</b>	<b>10:55</b>
<b>Superficies</b>	T (°C)							
Este	20.6	20.6	20.6	20.6	20.7	20.7	20.6	20.7
Oeste	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.4	20.4
Sur	19.8	19.8	19.8	19.8	19.9	19.9	19.9	19.9
Norte	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.9	19.9	19.9
Techo	20.5	20.5	20.5	20.4	20.4	20.4	20.4	20.5
Piso	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	20	20	20

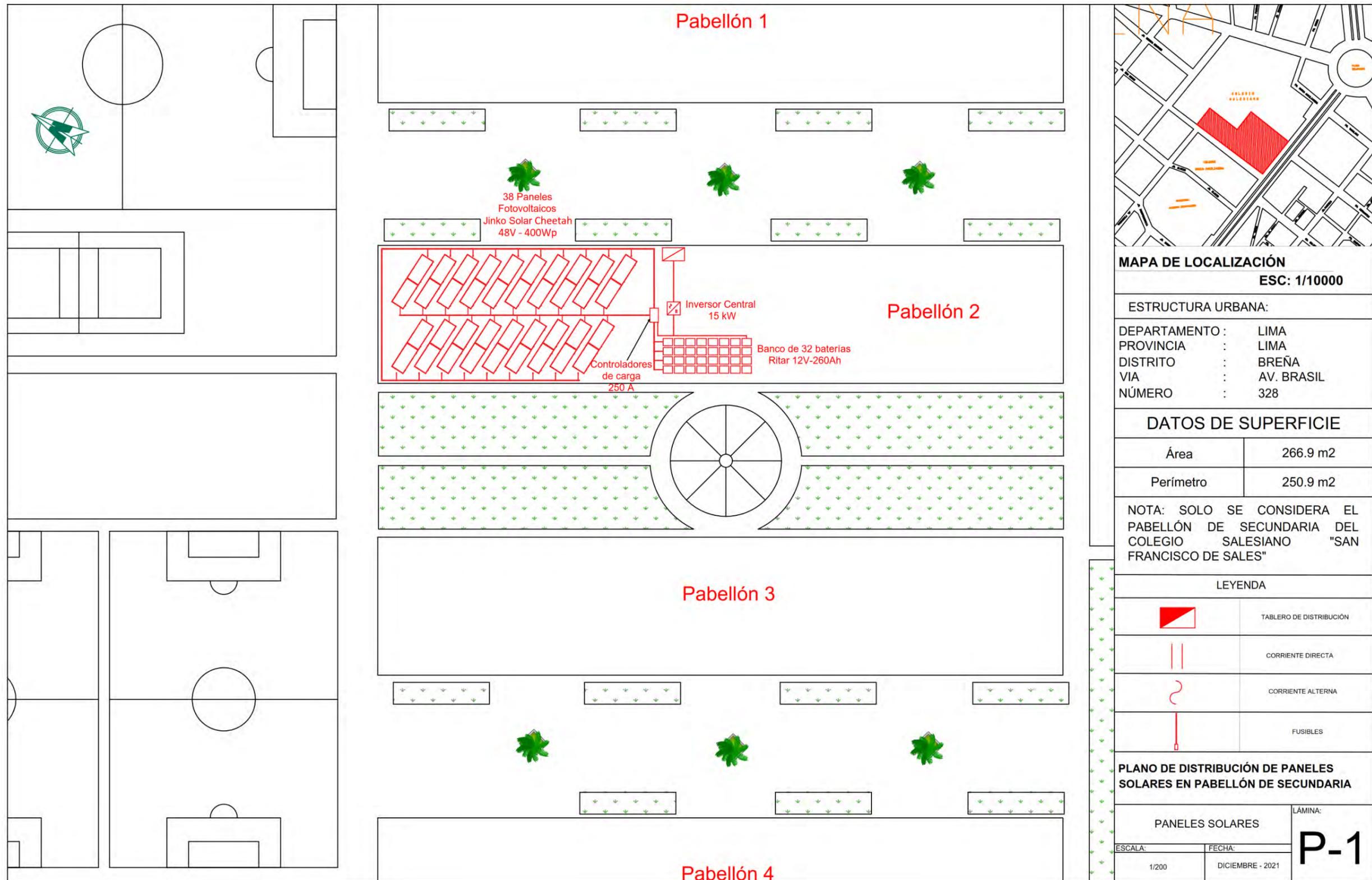
<b>Hora</b>	<b>11:00</b>	<b>11:05</b>	<b>11:10</b>	<b>11:15</b>	<b>11:20</b>	<b>11:25</b>	<b>11:30</b>	<b>11:35</b>
<b>Superficies</b>	T (°C)							
Este	20.7	20.7	20.8	20.8	20.9	20.9	20.9	21
Oeste	20.4	20.4	20.4	20.5	20.5	20.5	20.6	20.6
Sur	19.9	19.9	20	20	20	20	20	20
Norte	19.9	20	20	20	20	20	20.1	20.1
Techo	20.5	20.5	20.5	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
Piso	20	20	20	20	20.1	20.1	20.1	20.1

<b>Hora</b>	<b>11:40</b>	<b>11:45</b>	<b>11:50</b>	<b>11:55</b>	<b>12:00</b>	<b>12:05</b>	<b>12:10</b>	<b>12:15</b>	<b>12:20</b>
<b>Superficies</b>	T (°C)								
Este	21	21	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.2	21.2
Oeste	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.8	20.8	20.8	20.8
Sur	20	19.9	19.9	20	20	20	20.1	20.1	20.1
Norte	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.2
Techo	20.6	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.8	20.8
Piso	20.2	20.2	20.2	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3

Anexo D. Planos



Anexo 15. Plano de distribución de planta de tratamiento de aguas grises



Anexo 16. Plano de distribución de paneles solares