

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de sistema de purificación de agua mediante
energía solar para Parque Ecológico la Asunción**

Trabajo de graduación presentado por Ana Lucía Morataya Urizar para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala,
2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

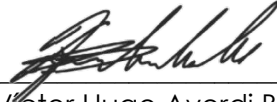


**Desarrollo de sistema de purificación de agua mediante
energía solar para Parque Ecológico la Asunción**

Trabajo de graduación presentado por Ana Lucía Morataya Urizar para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

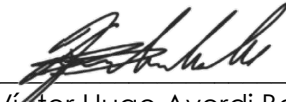
Guatemala,
2024

Vo.Bo. Asesor



Ing. Víctor Hugo Ayerdi Bardales

Vo.Bo. Terna Examinadora



Ing. Víctor Hugo Ayerdi Bardales



Ing. César Alberto Rosales Gomez



Ing. José Antonio Bagur Najera

Fecha de aprobación de examen de graduación: Guatemala, 20 de junio 2024.

En primer lugar, deseo expresar mi sincero agradecimiento a mis padres. A mi papá, Jorge, por todo su apoyo y consejos durante mis años de carrera universitaria, y por enseñarme la importancia de la perseverancia y la dedicación. A mi mamá, Sandra, por creer en mí siempre, por su amor incondicional y por ser mi inspiración constante. Sin su apoyo, comprensión y aliento, no hubiera sido posible alcanzar mis metas.

También agradezco a mis hermanos, Alejandra y Luis Diego, y a mis sobrinas, Juliana y Fabiana, cuyo amor y confianza en mí han sido mi mayor motivación durante mis estudios. A mi gata Nikki, por su compañía en las noches de desvelo, y a mis amigos, cuyo constante apoyo ha sido fundamental en cada paso de este camino académico.

Asimismo, deseo extender mi reconocimiento profesional a las siguientes entidades: Signature Boutique S. A., Mainco S. A., SIEMENS®), Aislamientos Marchetti S. A., HANNA ® Instruments y Municipalidad de Guatemala. Su colaboración y apoyo han enriquecido este trabajo, permitiendo una perspectiva más amplia y profunda sobre el tema tratado.

Finalmente, agradezco al Ing. Víctor Hugo Ayerdi y a todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a la realización de este trabajo. Sus consejos, críticas constructivas y comentarios han sido de gran valor en el proceso de elaboración de este documento.

Sin más preámbulos, presento este trabajo de graduación con la esperanza de que su contribución sea significativa y pueda ser de utilidad para futuros proyectos.

Prefacio	v
Lista de figuras	xI
Lista de cuadros	xIII
Resumen	xv
Abstract	xvII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. SODIS, <i>Solar water disinfection</i>	3
2.2. Eficiencia del método SODIS	5
2.3. Exposición a rayos Ultravioleta UV-A	5
2.4. Recomendaciones para el método SODIS	7
2.5. Colectores parabólicos	8
3. Justificación	11
4. Objetivos	13
4.1. Objetivo general	13
4.2. Objetivos específicos	13
5. Marco teórico	15
5.1. Purificación de agua	15
5.1.1. Enfermedades relacionadas con el agua	15
5.1.2. Patógenos	17
5.1.3. Indicadores	20
5.1.4. Cadena de contaminación	21
5.1.5. Procesos de purificación	22
5.1.6. Radiación ultravioleta	23
5.1.7. Filtración	25

5.1.8. Pruebas de laboratorio para agua	26
6. Metodología	29
6.1. Fase 1: Identificación de necesidades	29
6.1.1. Ubicación del proyecto	29
6.1.2. Criterio de purificación	31
6.2. Fase 2: Propuesta inicial	31
6.3. Fase 3: Definición de requisitos	33
6.4. Fase 4: Planeación y financiamiento del proyecto	35
6.5. Fase 5: Toma de muestras de agua	37
6.6. Fase 6: Sistema de purificación	38
6.6.1. Verificación de implementación	38
6.6.2. Delimitación de profundidad máxima del agua	41
6.6.3. Diseño y cálculos	44
6.6.4. Selección de materiales	49
6.6.5. Construcción y ensamblaje	52
6.7. Fase 7: Sistema estructural	52
6.7.1. Diseño y selección de materiales	53
6.7.2. Análisis de elementos finitos	53
6.7.3. Cálculos	60
6.7.4. Construcción y ensamblaje	64
6.8. Fase 8: Sistema de tuberías	69
6.8.1. Selección de materiales	69
6.8.2. Diseño y cálculos	69
6.9. Fase 9: Sistema eléctrico	78
6.9.1. Módulo lógico	78
6.9.2. Componentes	78
6.9.3. Programación	78
6.9.4. Instalación eléctrica	80
6.10. Fase 10: Pruebas e implementación	81
6.11. Fase 11: Continuación y mejoras	83
7. Resultados	89
8. Conclusiones	97
9. Recomendaciones	99
10. Referencias	101
11. Anexos	103
11.1. Carta SIEMENS®	103
11.2. Carta HANNA® Instruments	104
11.3. Acero inoxidable 304	104
11.4. Acuerdo Ministerial	104
11.5. Norma COGUANOR NTG 29001 de Agua para consumo humano	104
11.6. Protocolo de muestras de agua	104
11.7. Manual de mantenimiento	104
11.8. Planos del módulo 2	104

Lista de figuras

1.	Descripción gráfica de la técnica de tratamiento de agua doméstica mediante desinfección solar (SODIS)	4
2.	Reducción de la radiación UV-A en función de la profundidad del agua y la turbidez.	6
3.	Inactivación de coliformes fecales en una botella de PET.	6
4.	Reactor discontinuo mejorado SODIS de 25 L que contiene agua de 0 y 100 NTU.	9
5.	Vía de transmisión ambiental de las enfermedades lavadas con agua	15
6.	Vía de transmisión ambiental de las enfermedades transmitidas por el agua	16
7.	Vía de transmisión ambiental de las enfermedades basadas en agua	16
8.	Vía de transmisión ambiental de las enfermedades transmitidas por el agua	17
9.	Protozoos que causan diarrea severa, especialmente en niños.	18
10.	Bacterias que causan enfermedades.	18
11.	Rotavirus	19
12.	Copepod, huésped de larvas de gusanos parásitos.	20
13.	Indicador de riesgo de presencia de patógenos en función de presencia de <i>E. coli</i>	21
14.	Espectro electromagnético de los rayos UV.	24
15.	Eficacia de los rayos UV con ciertos patógenos.	24
16.	Eliminación de patogénico y de <i>Escherichia coli</i> por las CWF.	26
17.	Ubicación del proyecto	30
18.	Delimitación de la ubicación del proyecto	30
19.	Diagrama de funcionamiento del proyecto (propuesta inicial).	32
20.	Patrocinio SIEMENS.	36
21.	Patrocinio HANNA® Instruments.	36
22.	Taller Aislamientos Marchetti.	37
23.	Toma y almacenamiento de muestras de agua pluvial.	37
24.	Pruebas de cloro residual y pH del agua entubada.	38
25.	Latitud y longitud en Parque Ecológico La Asunción.	39
26.	Ángulo incidente en Parque Ecológico La Asunción.	39
27.	Representación de la Ley Beer-Lambert.	42

28.	Medidor de irradiancia solar.	42
29.	Programación de Arduino.	43
30.	Vista isométrica diseño de tanque de agua <i>SODIS</i>	45
31.	Colector solar parabólico.	46
32.	Distancia (dada en milímetros) entre la superficie del colector parabólico y la superficie de la base del tanque de agua.	47
33.	Dimensiones de pared de tanque de agua (dadas en milímetros).	47
34.	Función parabólica del colector solar.	48
35.	Muestras de vidrio para pruebas de irradiancia solar.	50
36.	Medidor de irradiancia solar.	50
37.	Lámina reflectiva lisa SS430 con recubrimiento de PVC.	51
38.	Remachado de lámina reflectiva.	52
39.	Diseño de la estructura base del módulo 2.	53
40.	Carga sobre la estructura del módulo 2.	54
41.	Dimensiones internas del tanque de agua 2.	54
42.	Componentes del tanque 2.	55
43.	Sección a analizar.	56
44.	Contacto Bonded.	57
45.	Gráfico de calidad del mallado inicial. <i>Mesh Metric: Skewness</i>	57
46.	Mallado fino	58
47.	Fuerzas sobre el sistema.	58
48.	Esfuerzo equivalente sobre estructura del módulo 2.	59
49.	Deformación total.	59
50.	Factor de seguridad.	60
51.	Diagrama de momento flector.	61
52.	Momento de inercia de perfil de acero chapa 16 de 1x1 in ²	62
53.	Medición de perfiles para la estructura.	64
54.	Corte de perfiles para la estructura.	64
55.	Perfiles cuadrados cortados.	64
56.	Lijado de perfiles cuadrados cortados.	65
57.	Uniones iniciales de soldadura.	65
58.	Electrodo seleccionado	66
59.	Equipo de soldadura utilizado	66
60.	Soldaduras de refuerzo en estructura del módulo 2.	66
61.	Lámina de acero utilizada para sostener el colector parabólico.	67
62.	Dobladora utilizada para doblar la lámina reflectiva y las láminas de acero para el colector solar parabólico.	67
63.	Colector solar parabólico sobre estructura del módulo 2.	68
64.	Aplicación de pintura anticorrosiva.	68
65.	Accesorios de tubería de 3/4 in implementados.	69
66.	Datos de tubería PVC cédula 40.	73
67.	Desempeño necesario de la bomba.	77
68.	Programación de LOGO! versión 1.	79
69.	Panel eléctrico.	80
70.	Cableado a sensor de nivel de agua en tanque 2.	80
71.	Instalación del LOGO! y circuito eléctrico.	81
72.	Ensamble preliminar del sistema.	82
73.	Instalación del módulo 2 en Parque Ecológico la Asunción.	82

74.	Implementación inicial del proyecto en Parque Ecológico La Asunción.	83
75.	Falta de mantenimiento a tanques de agua.	83
76.	Tanques desinfectados.	84
77.	Sustitución de filtro de agua.	84
78.	Secciones oxidadas de la estructura.	85
79.	Aplicación de pintura anticorrosiva.	85
80.	Estructura extra para soporte del módulo 2 y tanque 3.	86
81.	Electroválvula solenoide de $\frac{3}{4}$ de pulgada.	87
82.	Módulo de temperatura.	87
83.	Programación de LOGO! (versión final).	88
84.	Funcionamiento de programación final en LOGO!.	88
85.	Resultado final del proyecto.	89
86.	Resultado final del módulo 2	90
87.	Resultado de pH (medido con equipo Hanna® Instruments).	91
88.	Resultado de cloro residual libre (medido con equipo Hanna® Instruments).	91
89.	Resultados de laboratorio de agua tras su desinfección.	92
90.	Irradiación en Parque Ecológico la Asunción durante 5 días.	93

Lista de cuadros

1.	Especies microbianas transmitidas por el agua que ahora se sabe que SODIS es capaz de inactivar.	4
2.	Eficiencia de la desinfección solar.	5
3.	Termoresistencia de microorganismos.	7
4.	Comparación de los procesos de purificación de agua.	23
5.	Requisitos.	33
5.	Requisitos.	34
5.	Requisitos.	35
6.	Estimación de inversión monetaria necesaria para el proyecto.	35
7.	Irradiación saliente en función de la profundidad del agua	44
8.	Tensiones admisibles para el vidrio (dadas en daN/cm^2).	46
9.	Comparación de radiación ultravioleta a través de distintos vidrios.	51
10.	Calculo de peso del tanque de agua 2.	55
11.	Requerimientos del sistema de tuberías empleados para el cálculo.	70
12.	Propiedades del agua empleadas para el cálculo.	71
13.	Datos de la tubería empleados para el cálculo.	71
14.	Entradas y salidas del módulo lógico.	79
15.	Comparación del incremento de temperatura con y sin colector solar.	90
16.	Cumplimiento de requisitos.	94
16.	Cumplimiento de requisitos.	95

El acceso al agua potable es esencial para el desarrollo humano; sin embargo, muchos guatemaltecos aún carecen de este recurso básico. En respuesta a esta necesidad se diseñó, construyó e implementó un sistema de purificación de agua basado en el método SODIS (*solar water disinfection*), empleado para combatir la falta de recurso hídrico potable. El sistema fue instalado en el Parque Ecológico la Asunción, utilizando agua entubada y agua de lluvia recolectada.

Este consta de cuatro subsistemas: un sistema de purificación con un tanque de vidrio antirreflectivo de 29.75 litros, con capacidad volumétrica 50 veces mayor que el método SODIS tradicional, y un colector solar parabólico que logró incrementar la temperatura del agua de 23.2°C a 47.8°C; un sistema eléctrico que automatiza el llenado y vaciado de tanques mediante un PLC con sensores de nivel y temperatura; y un sistema de tuberías que conecta tres tanques de agua.

Las mediciones de irradiancia solar promediaron 343.60 W/m² durante 8.67 horas diarias, alcanzando una irradiación de 2977 Wh/m², superando el requisito de 555 Wh/m² para la purificación del agua mediante SODIS. El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua tratada mostró un pH de 7.1; una turbidez de 0.20 NTU; un nivel de cloro residual menor a 1.0 mg/L; y un conteo de bacterias inferior a 1.0 NMP/100mL. Estas pruebas demostraron conformidad con la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 y con el acuerdo Ministerial No. 523-2013 del Ministro de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala. Sin embargo, estas pruebas no son suficientes para certificar el sistema como apto para la distribución de agua potable, y dicha certificación no fue considerada dentro del alcance de este trabajo.

Access to potable water is essential for human development; however, many Guatemalans still lack this basic resource. In response to this need, a water purification system based on the SODIS (solar water disinfection) method was designed, built, and implemented. The system was installed in Parque Ecológico la Asunción, using piped water and collected rainwater.

The system comprises four subsystems: a purification system with an antireflective glass tank of 29.75 liters, with a volumetric capacity 50 times greater than the traditional SODIS method, and a parabolic solar collector that increased the water temperature from 23.2°C to 47.8°C; an electrical system that automates tank filling and emptying through a PLC with level and temperature sensors; and a piping system that connects three water tanks.

Solar irradiance results averaged 343.60 W/m² over 8.67 hours per day, achieving an incident solar irradiation of 2977 Wh/m², exceeding the requirement of 555 Wh/m² for water purification using SODIS. The physicochemical and microbiological analysis of the treated water showed a pH of 7.1; turbidity of 0.20 NTU; residual chlorine level below 1.0 mg/L; and bacterial count less than 1.0 NMP/100mL. These tests demonstrated compliance with the Guatemalan Technical Standard COGUANOR NTG 29001 and the Ministerial Agreement No. 523-2013 of the Ministry of Public Health and Social Assistance of Guatemala (MSPAS). However, these tests are not sufficient to certify the system as suitable for potable water distribution, and such certification was not within the scope of this work.

CAPÍTULO 1

Introducción

Según el Swiss Federal Institute for Environmental Science Technology (EAWAG) y Water Sanitation in Developing Countries (SANDEC) (2002), la desinfección solar del agua (SODIS) es una solución simple, medioambientalmente sostenible y de bajo costo para el tratamiento del agua potable a nivel de hogar para personas que consumen agua microbiológicamente contaminada. SODIS utiliza la energía solar para destruir patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua; con ello, mejora la calidad del agua potable. Los patógenos son vulnerables a dos efectos de la luz solar: la radiación y el calor.

Se ha comprobado en varias ocasiones que esta técnica es efectiva para eliminar microorganismos y reducir la incidencia de enfermedades diarreicas. Sin embargo, esta metodología se realiza en botellas plásticas, las cuales no proveen gran cantidad de agua desinfectada y, con el tiempo las botellas contaminan el agua con químicos (McGuigan et al., 2012). Ante esta limitación, surge la oportunidad de mejorar el método a través de la aplicación de ingeniería para escalar su efectividad.

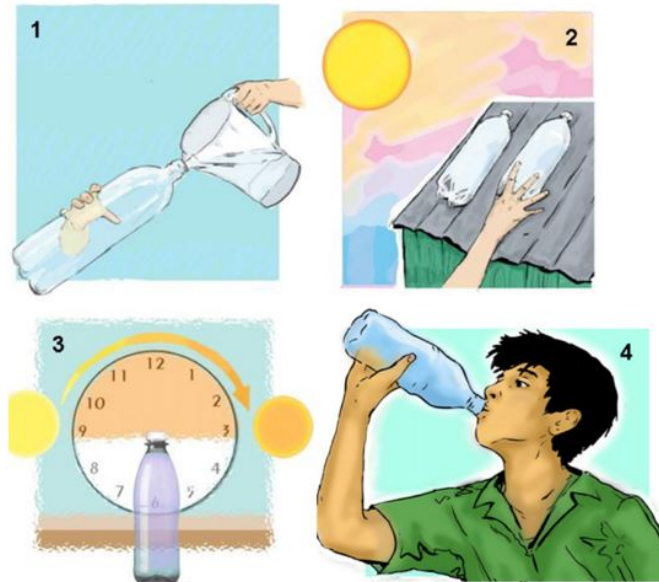
El desarrollo de este trabajo consistió de once fases principales. Las primeras cinco conforman la preparación previa al desarrollo del proyecto, lo cual permitió delimitar los requisitos. En las fases 6 a 9 se desarrollaron los cuatro sistemas que componen el proyecto. El primer sistema tenía como objetivo aplicar el funcionamiento del método SODIS en una mayor escala. El segundo sistema tenía como objetivo desarrollar una estructura capaz de soportar el sistema de purificación mientras es sometido a las condiciones de interperie del parque ecológico. El tercer sistema tenía como objetivo conectar los tanques de almacenamiento de agua. Por último, el sistema eléctrico tenía como objetivo automatizar el proceso de llenado y vaciado de tanques a partir de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

Este proyecto se fundamenta en el método de purificación SODIS. Se realizó una investigación a nivel microbiológico que resulta fundamental, tanto para proponer una solución viable, como para llevar a cabo una evaluación correcta de los resultados obtenidos. En esta sección, se presentarán los artículos y estudios que se utilizaron como referencia durante el desarrollo del proyecto.

2.1. SODIS, *Solar water disinfection*

El método de desinfección solar del agua conocido como SODIS por sus siglas en inglés (*solar water disinfection*) es un método sencillo para mejorar la calidad del agua potable mediante el uso de la luz solar para inactivar los patógenos que causan la diarrea. Esta técnica ha estado en uso durante más de tres décadas. La metodología implica el llenado de recipientes transparentes, comúnmente botellas de plástico o vidrio con una capacidad de 2 litros, que se exponen a la luz solar (como se ilustra en la Figura 1). La duración de esta exposición varía, oscilando entre 3 y 48 horas, dependiendo de la intensidad de la luz solar y la susceptibilidad de los microorganismos presentes (McGuigan et al., 2012).

Figura 1: Descripción gráfica de la técnica de tratamiento de agua doméstica mediante desinfección solar (SODIS)



Adaptada de McGuigan et al., 2012

En este estudio se demostró que la metodología SODIS es capaz de inactivar patógenos como bacterias, virus, helmintos y protozoos, como se puede ver en el Cuadro 1 a continuación.

Cuadro 1: Especies microbianas transmitidas por el agua que ahora se sabe que SODIS es capaz de inactivar.

Patógeno	Especie	Patógeno	Especie
Bacteria	<i>Campylobacter jejuni</i>	Virus	Bacteriophage f2
	<i>Enterococcus sp.</i>		<i>Encephalomyocarditis virus</i>
	<i>Enteropathogenic E. coli</i>		Polio virus
	<i>Mycobacterium avium</i>		Rotavirus
	<i>Mycobacterium intracellulare</i>		Norovirus
	<i>P. aeruginosa</i>		
	<i>Salmonella typhi</i>		
	<i>S. typhimurium</i>		
	<i>Shigella dysenteriae Tipo I</i>		
	<i>Shigella flexneri</i>		
	<i>Streptococcus faecalis</i>		
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>		
	<i>Vibrio cholerae</i>		
	<i>Yersinia enterocolitica</i>		
Helminto	<i>Giardia sp. (cysts)</i>	Protozoo	<i>A. polyphaga (cyst)</i>
	<i>Ascaris sp. (ova)</i>		<i>C. parvum (oocyst)</i>

Fuente: McGuigan et al., 2012

Con estos resultados el estudio demostró que el método SODIS tiene beneficios para la salud, y que además proporciona una opción de tratamiento de agua potable simple, eficiente y sostenible. SODIS inactiva los patógenos presentes en el agua y con ello reduce los riesgos para la salud asociados al consumo de agua contaminada, como la aparición de enfermedades entéricas que provocan: diarrea infecciosa por *Escherichia coli* enteropatógena; disentería ocasionada por infecciones bacterianas por *Salmonella* o *Shigella*; disentería por infección parasitaria por *Giardia lamblia* (“Giardiasis”) o *Entamoeba histolytica* (“Amoebiasis”); cólera por infección bacteriana con *Vibrio cholera*; y varios agentes virales como rotavirus y adenovirus que son responsables de una gran carga de gastroenteritis viral.

2.2. Eficiencia del método SODIS

El impacto en la salud con el uso de la desinfección solar también ha sido evaluado en diversas investigaciones en varios países, sobre todo se ha demostrado que el uso de este tratamiento de agua en el hogar reduce la incidencia de diarrea en niños menores de cinco años, entre el 16 y 88% (Spuhler y Meierhofer, s.f.). El grado del impacto depende de los siguientes factores:

- Calidad microbiana inicial de la fuente de agua: habrá un mayor impacto positivo en aquellas comunidades que consumían aguas altamente contaminadas antes de empezar el tratamiento.
- Situación sanitaria y prácticas de higiene en la comunidad: hay que tener claro que las enfermedades como la diarrea no sólo se transmiten a través del consumo de aguas contaminadas.

La siguiente tabla presenta datos de la eficiencia del tratamiento sobre algunos patógenos, la turbidez y sustancias químicas:

Cuadro 2: Eficiencia de la desinfección solar.

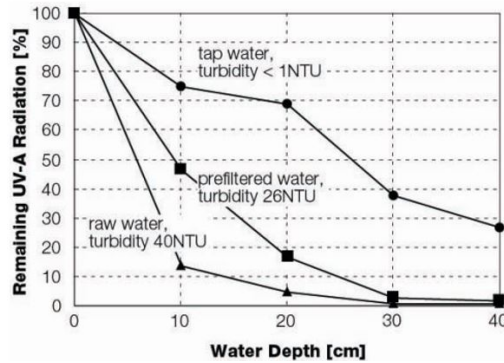
	Bacterias	Virus	Protozoos	Helmintos	Turbidez	Sustancias químicas
Laboratorio	99.9 - 99.99%	90 - 99.9%	90 - 99.99%	>100%, con temperatura superior a 50°C	0%	0%
Campo	91.3 - 99.4%	No disponible	No disponible	No disponible	0%	0%

Fuente: Spuhler y Meierhofer, s.f.

2.3. Exposición a rayos Ultravioleta UV-A

La radiación UV se reduce al aumentar la profundidad del agua. A una profundidad de agua de 10 cm y una turbidez moderada de 26 NTU, la radiación UV-A se reduce al 50%, como se puede ver en la Figura 2. Las partículas suspendidas reducen la penetración de la radiación solar en el agua e impiden que los microorganismos sean irradiados. Por lo tanto, la eficacia de desinfección de SODIS se ve reducida en agua turbia. Si la turbiedad del agua es mayor a 30 UNT, es necesario pretratar el agua antes de exponerla a la luz solar. Los sólidos y partículas más grandes se pueden separar mediante filtración (EAWAG SANDEC, 2002).

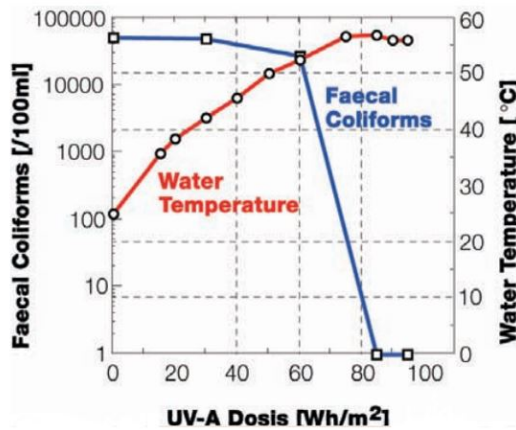
Figura 2: Reducción de la radiación UV-A en función de la profundidad del agua y la turbidez.



Fuente: for Environmental Science Technology (EAWAG) y Water Sanitation in Developing Countries (SANDEC), 2002

De acuerdo con este estudio, la acción germicida de SODIS se debe a la combinación del calor generado por la luz solar y la radiación UV incidente, como se puede ver en la Figura 3. Se produce una sinergia de estos dos efectos, ya que su efecto combinado es mucho mayor que la suma de los efectos individuales. Esto significa que la mortalidad de los microorganismos aumenta cuando se exponen tanto a la temperatura como a la luz UV-A al mismo tiempo (EAWAG SANDEC, 2002).

Figura 3: Inactivación de coliformes fecales en una botella de PET.



Fuente: for Environmental Science Technology (EAWAG) y Water Sanitation in Developing Countries (SANDEC), 2002

A una temperatura del agua de 30°C , se requiere una fluencia de 555 Wh/m (350-450 nm, dosis de radiación solar correspondiente a aproximadamente 6 horas de luz solar de verano al mediodía y a una latitud media) para lograr una reducción de 3 ordenes logarítmicos (por ejemplo de $1000\text{ UFC}/100\text{ ml}$. a $1\text{ UFC}/100\text{ ml}$) en los coliformes fecales. Bajo estas condiciones sólo está presente el efecto de la radiación UV-A. Sin embargo, la tasa de inactivación de los coliformes fecales expuestos a la luz del sol se incrementa significati-

vamente cuando están presentes 2 factores de tensión, la radiación UV-A y el incremento en la temperatura del agua. A una temperatura del agua de 50°C, se produce un efecto sinérgico de la radiación UV-A y la temperatura: una reducción de 3 órdenes logarítmicos de los coliformes fecales sólo requiere una afluencia de 140 Wh/m. Esto es equivalente a un tiempo de exposición de sólo una hora.

Otro aspecto de la luz solar es la radiación de onda larga llamada infrarroja. Además, esta radiación no puede ser vista por el ojo humano, pero podemos sentir el calor producido por la luz con una longitud de onda superior a 700 nm. La radiación infrarroja absorbida por el agua es la encargada de calentarla. Los microorganismos son sensibles al calor. La siguiente tabla enumera la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar los microorganismos. Se puede observar que no es necesario hervir el agua para matar el 99,9% de los microorganismos. Calentar el agua a 50-60°C durante una hora tiene el mismo efecto (EAWAG SANDEC, 2002).

Cuadro 3: Termoresistencia de microorganismos.

Microorganisms	Temperature for 100 % Destruction		
	1 Min	6 Min	60 Min
Enteroviruses			62°C
Rotaviruses			63°C for 30 Min
Faecal Coliforms	at 80°C complete destruction		
Salmonellae		62°C	58°C
Shigella		61°C	54°C
Vibrio Cholear			45°C
Entamoeba Historytica Cysts	57°C	54°C	50°C
Giardia Cysts	57°C	54°C	50°C

Fuente: for Environmental Science Technology (EAWAG) y Water Sanitation in Developing Countries (SANDEC), 2002

2.4. Recomendaciones para el método SODIS

La fundación SODIS sugiere que las botellas de agua permanezcan expuestas al sol durante al menos 6 horas en un día claro y con poca nubosidad, ya que considera que este período es adecuado para garantizar la desinfección efectiva. En caso de que la nubosidad sea superior al 50 %, se requerirán dos días consecutivos de exposición. Si la temperatura del agua alcanza más de 50°C, el tiempo de exposición necesario al sol podría reducirse a tan solo una hora para que el agua sea segura para el consumo. Además, se puede mejorar la eficacia del tratamiento colocando las botellas de plástico sobre superficies reflectantes, como láminas de aluminio o hierro corrugado. Sin embargo, durante períodos de lluvia continua, la desinfección solar no es eficaz, por lo que se recomienda recolectar agua de lluvia en esos momentos.

A continuación se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de este método para la desinfección de agua para consumo humano.

Ventajas del método SODIS

- Mejora la calidad microbiológica del agua potable
- Es de extremadamente bajo costo
- Fácil de entender y simple de usar
- Se basa en recursos disponibles localmente, botellas de plástico y luz solar
- Se utiliza el sol como fuente de energía renovable
- Muy efectivo para eliminar bacterias, virus, helmintos y algunos protozoos
- Disminución probada de casos de diarreas en los usuarios
- Bajas posibilidades de recontaminación debido a que el agua se sirve desde el mismo recipiente donde se trata

Desventajas del método SODIS

- No trata la contaminación química (aguas con arsénico, fluoruro, residuos agrícolas o industriales)
- Depende mucho de las condiciones climáticas y meteorológicas
- No es apropiado para tratar grandes cantidades de agua sino pequeños volúmenes
- Es un proceso lento para cubrir el consumo de un hogar
- En zonas rurales, quizás sea más difícil tener disponibilidad de botellas plásticas PET
- Necesita grandes esfuerzos en términos de promoción e información para tener un impacto
- Se requiere de un pretratamiento (filtración, por ejemplo) en aguas con alta turbidez

2.5. Colectores parabólicos

El rendimiento de cualquier sistema de desinfección de agua basado en el aprovechamiento directo de la energía solar viene determinado en gran medida por los captadores solares, ya que es aquí donde se produce la captación de la radiación solar, convirtiéndola en energía interna disponible para inactivar los microorganismos presentes en el agua contenida en el reactor. Los colectores solares se clasifican básicamente en dos tipos: colectores concentradores y no concentradores. El área de recolección es generalmente la misma que el área de absorción de radiación, en colectores no concentradores.

Ha sido ampliamente comprobado que el uso de colectores solares tipo concentrador aumenta la efectividad de SODIS y disminuye el tiempo mínimo de exposición requerido para lograr la inactivación completa de los microorganismos, lo que resulta en el tratamiento

de grandes volúmenes de agua por día. También se ha demostrado que el uso de un reflector en la cara no iluminada del reactor mejora la eficiencia del proceso SODIS convencional, y esta mejora fue sustancialmente mayor en días de poca luz solar (Fernández-Ibáñez *et al.*, 2012).

Figura 4: Reactor discontinuo mejorado SODIS de 25 L que contiene agua de 0 y 100 NTU.



Fuente: Ubomba-Jaswa *et al.*, 2010

Este estudio confirma la efectividad de un reactor SODIS discontinuo de 25 litros, mejorado para lograr una desinfección significativa. A lo largo de un período de estudio de 7 meses, este reactor demostró una reducción de 3 a 6 órdenes de magnitud en la concentración bacteriana presente en el agua de pozo natural. Además, se observó una disminución del 40 % en los casos de diarrea relacionada con la contaminación del agua. En condiciones de sol, se logró la completa eliminación de bacterias en tan solo 5 horas. Cuando la temperatura del agua superó los 45°C, se alcanzó la inactivación total incluso en aguas muy turbias (100 NTU) en un plazo de 7 horas (Fernández-Ibáñez *et al.*, 2012).

La falta de acceso a agua potable en Guatemala es un desafío crítico que afecta a numerosas comunidades, especialmente áreas rurales de bajos recursos. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en 2017, menos del 60 % de los sectores del país tenían un acceso seguro al agua potable. Esto ha contribuido al aumento de enfermedades transmitidas por el agua, como las enfermedades diarreicas agudas, especialmente entre los niños y niñas menores de cinco años, afectando su salud y desarrollo.

Ante este panorama, es fundamental estudiar y evaluar diversas tecnologías de purificación de agua que contribuyan a mejorar la calidad del agua disponible. Este proyecto se enfocó en explorar y analizar la adaptación del método de purificación de agua conocido como SODIS (*solar water disinfection*) en una escala mayor, utilizando tecnologías hidráulicas y solares para evaluar su potencial de implementación.

Tradicionalmente, el método SODIS se implementa utilizando botellas de plástico PET, generalmente de 600 mL, expuestas a la luz solar directa sobre techos de lámina. En este proyecto, se propone una innovación al escalar el método SODIS a un tanque de 50 veces la capacidad de una botella PET, integrando un colector solar parabólico para concentrar el calor incidente sobre el punto medio del tanque. Así mismo, se hace uso de un controlador lógico programable que permite automatizar el proceso de llenado y vaciado del agua.

4.1. Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un sistema purificador de agua mediante energía solar, enfocado a la desinfección de agua entubada y del agua pluvial recolectada dentro del Parque Ecológico la Asunción.

4.2. Objetivos específicos

1. Delimitar la altura máxima que puede tener el contenedor de agua durante su exposición al sol, de acuerdo al alcance mínimo de rayos ultravioleta necesarios.
2. Diseñar una red de tuberías capaz de distribuir el agua a través del sistema de purificación de agua.
3. Implementar un sistema de filtración preliminar, que sea capaz de retener contaminantes de mayor tamaño presentes en el agua.
4. Determinar la calidad del agua en base a cinco parámetros: temperatura, pH, turbidez, cloro residual e indicador de bacterias.
5. Diseñar e implementar un sistema eléctrico capaz de automatizar el proceso de purificación por medio de sensores y un módulo lógico.
6. Diseñar, construir e implementar una estructura capaz de soportar las cargas del tanque y colector solar para la purificación.

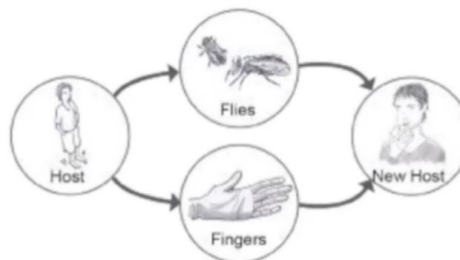
5.1. Purificación de agua

5.1.1. Enfermedades relacionadas con el agua

Según los autores del libro de 1972, *Drawers of Water*, las enfermedades se pueden catalogar en cuatro tipos: enfermedades lavadas con agua, basadas en agua, relacionadas con el agua y transmitidas con el agua (Johnston, s.f.).

Las enfermedades lavadas con agua son aquellas que se dan a causa de una mala higiene debido a la falta del agua misma. Como se ve en la Figura 5, estas enfermedades se transmiten mediante el contacto con otras superficies, ya sea directamente, a través de las manos, o indirectamente, a través de un insecto como las moscas. Las enfermedades causadas por el agua se pueden reducir aumentando la cantidad de agua disponible para mejorar la higiene (Johnston, s.f.).

Figura 5: Vía de transmisión ambiental de las enfermedades lavadas con agua

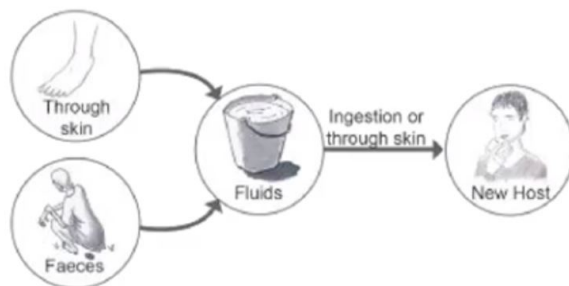


Fuente: (Johnston, s.f.).

Las enfermedades basadas en agua, también conocidas como de origen acuático, son aquellas provocadas por parásitos que viven parte de su ciclo de vida en el agua. El más grave de ellos es la esquistosomiasis, o Bilharzia, que afecta a 160 millones de personas en

todo el mundo. Estas enfermedades se esparcen por medio del agua, como se ve en la Figura 6, al contaminarse el agua los parásitos se reproducen y desarrollan nuevamente para entrar a un nuevo huésped. Para estas enfermedades los mecanismos de control implican atacar al organismo acuático y proteger los demás cuerpos de agua superficiales de la contaminación (Johnston, s.f.).

Figura 6: Vía de transmisión ambiental de las enfermedades transmitidas por el agua



Fuente: (Johnston, s.f.).

Las enfermedades relacionadas con el agua son causadas por insectos que se reproducen en ella, especialmente los mosquitos. La más grave de estas enfermedades es el paludismo, que afecta a unos 250 millones de personas cada año y causa alrededor de 589.000 muertes. La gran mayoría de los afectados son niños menores de cinco años. Otra enfermedad importante de los mosquitos es el dengue, que está aumentando en número y puede provocar brotes explosivos, especialmente en las zonas urbanas. Y el chikungunya, que al igual que el dengue, ha aumentado sus cifras en Guatemala durante los últimos años. Para estas enfermedades el ciclo de transmisión es más simple, como se ve en la Figura 7, requiriendo únicamente de un mosquito para esparcir exitosamente la enfermedad. En ambos casos, los mosquitos se reproducen en determinados tipos de agua y un mecanismo de control es eliminar su hábitat (Johnston, s.f.).

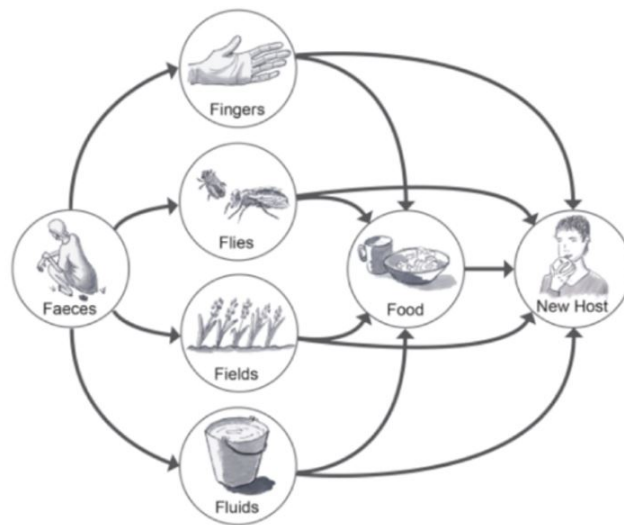
Figura 7: Vía de transmisión ambiental de las enfermedades basadas en agua



Fuente: (Johnston, s.f.).

Por último, las enfermedades transmitidas por el agua son aquellas que se generan a causa de ingerir agua contaminada con algunos patógenos. Estos incluyen las enfermedades diarreicas causadas por rotavirus, cólera, *Shingella* o *criptosporidiosis*. Una intervención pertinente para reducir las enfermedades transmitidas por el agua implica mejorar la calidad de la misma. En la Figura 8 se muestran las posibles vías de transmisión de estas enfermedades (Johnston, s.f.).

Figura 8: Vía de transmisión ambiental de las enfermedades transmitidas por el agua



Fuente: Johnston, s.f.-a.

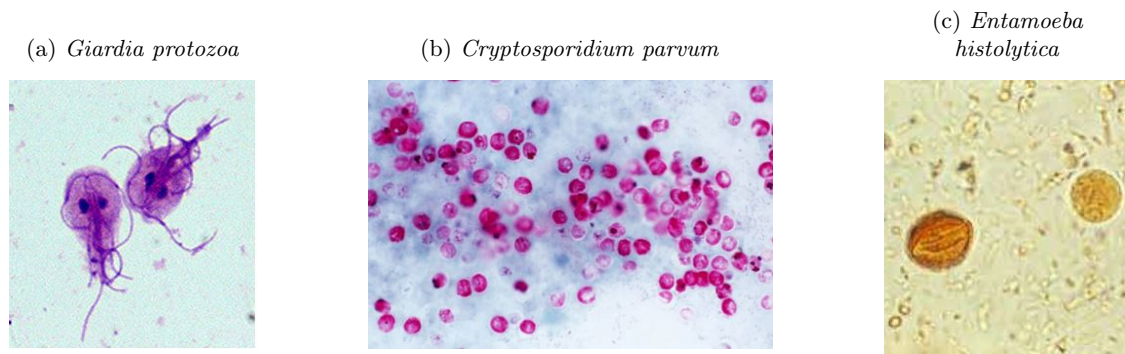
5.1.2. Patógenos

Existen miles de organismos que pueden causar enfermedades transmitidas por el agua. Una forma útil de clasificar estos patógenos es por tipo biológico. Los más importantes son los protozoos, las bacterias, los virus y los helmintos.

Protozoos

Los protozoos, la clase más grande de patógenos, son muy pequeños en tamaño, por lo general miden entre 10 y 50 micrones. Algunos protozoos pueden formar un quiste similar a un huevo para sobrevivir a condiciones adversas. Muchos protozoos son parásitos y causan enfermedades como la malaria y la *Giardia*, como es el caso de la *Giardia protozoa*, ver Figura 9 (a). En la Figura 9 también se puede ver el *cryptosporidium parvum* (b) y la *entamoeba histolytica* (c), los cuales pueden causar diarrea severa, especialmente en niños. Entamoeba es la mayor causa de disentería amebiana o diarrea sanguinolenta, y se estima que cuesta más de 100,000 muertes por año (Johnston, s.f.).

Figura 9: Protozoos que causan diarrea severa, especialmente en niños.



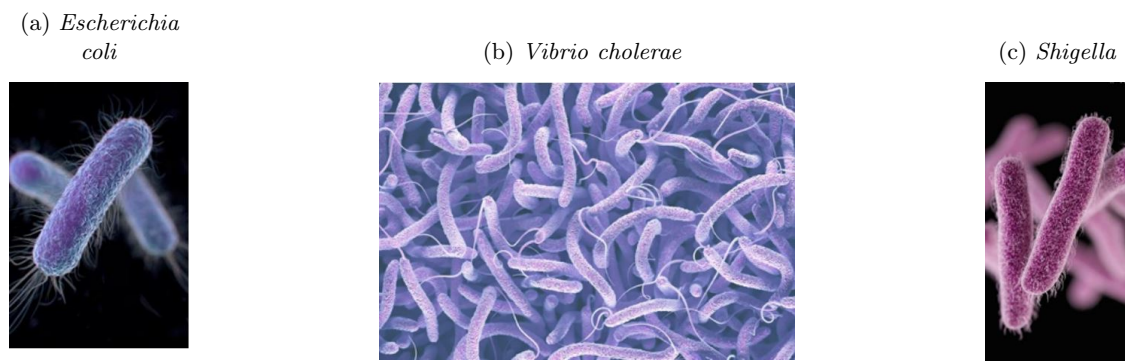
Fuente: (a) Department of Microbiology, 2007, (b) News, 2015, (c) de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2012.

Estudios recientes han demostrado que el *Cryptosporidium*, comúnmente llamado *Crypto*, es una de las principales causas de enfermedades diarreicas entre los niños. El proyecto de investigación *Global Enteric Multicenter Study (GEMS)* ha descubierto que el *Crypto* es el segundo patógeno más común entre los niños con diarrea, después del rotavirus (Johnston, s.f.).

Bacterias

Las bacterias son organismos de entre una y dos micras de tamaño, estos están en todas partes; creciendo en el suelo, en las profundidades del océano e incluso en aguas termales ácidas. Un gramo de tierra o un mililitro de agua pueden contener varios millones de células bacterianas. Aunque la gran mayoría de las bacterias son inofensivas o incluso beneficiosas para los humanos, algunas pueden causar enfermedades como el cólera, el tracoma o la salmonela. En la Figura 10 se pueden ver las bacterias *E. coli* (a), *Vibrio cholerae* (b) y *Shigella* (c).

Figura 10: Bacterias que causan enfermedades.



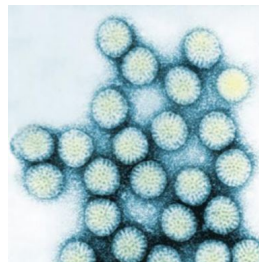
Fuente: (a) Medical, 2020, (b) Derouin, 2018, (c) Baggini, 2020.

El *E. coli* se encuentra universalmente en las heces humanas y animales, pero normalmente no es patógena. De hecho, *E. coli* es la bacteria indicadora preferida que se usa para demostrar la contaminación fecal. Algunas cepas de *E. coli* causan enfermedades, a estos se les denominan *E. coli* patógenos, y un grupo de estos patógenos es el *E. coli* enterotoxigénico o ETEC. El proyecto *GEMS* descubrió que ETEC se encuentra entre los cinco principales patógenos aislados de niños con diarrea y afecta particularmente a los bebés pequeños. El otro patógeno bacteriano más comúnmente encontrado por *GEMS* fue *Shigella*, un pariente lejano de *E. coli*, similar a este y al *Vibrio cholerae*. Se cree que, juntas, *Shigella* y *E. coli* causan hasta un tercio de la mortalidad por enfermedades diarreicas en todo el mundo (Johnston, s.f.).

Virus

Los patógenos más pequeños son los virus, que suelen ser de 0,1 micrones. Muchos virus causan enfermedades solo en humanos o animales específicos. Los rotavirus y los virus de la hepatitis A y E son los virus transmitidos por agua más propagados en humanos (Johnston, sf). En la Figura 11 se observa el rotavirus, el cual es uno de los principales patógenos que causan enfermedades diarreicas. El proyecto *GEMS* descubrió que el rotavirus es el patógeno con mayor presencia entre los niños con enfermedades diarreicas. Es particularmente frecuente entre los niños más pequeños y neonatos. Las personas infectadas eliminan una gran cantidad del virus en las heces; aproximadamente de 10 a 11 virus por gramo de materia fecal. Eso es 100.000 de millones. Los virus son muy infecciosos; solo se necesitan de 10 a 100 partículas de virus para causar una infección. Se estimó que el rotavirus causó más de 500.000 muertes cada año en 2004 (Johnston, s.f.).

Figura 11: Rotavirus



(Kids Health, 2015).

Helmintos

Los helmintos son gusanos parásitos que pueden invadir los intestinos humanos u otros tejidos. La mayor parte de la transmisión de helmintos se debe a un saneamiento e higiene deficientes, y algunos se transmiten principalmente a través del agua potable, como es el caso de *dracunculosis* o gusano de Guinea. Sus larvas viven en agua dulce y son devoradas por pequeños insectos acuáticos llamados copépodos. Las larvas son pequeñas, pero los copépodos son grandes (ver Figura 12), alrededor de un milímetro de tamaño, y visibles a simple vista. Una vez que una persona bebe agua que contiene los copépodos, el ácido

clorhídrico en el estómago mata al insecto y libera las larvas, que maduran y se convierten en gusanos adultos. Debido a que los hospedadores de copépodos son grandes, se pueden eliminar fácilmente del agua con un simple paño o filtros de arena (Johnston, s.f.).

Figura 12: Copepod, huésped de larvas de gusanos parásitos.



Fuente: (Johnston, s.f.).

5.1.3. Indicadores

Existen demasiados patógenos por lo que sería muy impráctico e imposible intentar medir directamente todos aquellos que podrían causar enfermedades diarreicas dentro de una muestra de agua. Por lo que en vez de eso, se buscan especies indicadoras para mostrar si existe o no la presencia de contaminación fecal. Un indicador fecal ideal debe estar presente universalmente en las heces de humanos y animales en grandes cantidades, sus cifras deben ser superiores a las cifras reales de patógenos de interés. A su vez, el indicador no debe ser dañino o patógeno. Este debe detectarse fácilmente mediante métodos simples y económicos, y también debe persistir en el medio ambiente o en el agua de manera similar a los patógenos fecales. Por último, de ser posible, el indicador debe responder al tratamiento de manera similar a los patógenos fecales (Johnston, s.f.).

Como se analizó previamente, el *E. coli*, es una especie que generalmente se acepta como el indicador más adecuado de contaminación fecal. Existe la posibilidad de que este podría crecer en el medio ambiente en entornos tropicales; a su vez, este es menos persistente que los patógenos, por lo que la ausencia de *E. coli* no representa necesariamente una ausencia de contaminación fecal. Sin embargo, este cumple con las características previamente mencionadas que se buscan en un indicador. Las bacterias indicadoras generalmente se informan en términos del número de recuentos o colonias en una muestra de 100 ml. Los estándares y las pautas de la OMS se establecen para que no sean *E. coli* o coliformes termotolerantes detectables en una muestra de 100 ml (Johnston, s.f.).

En la Figura 13 se representa el riesgo que existe de encontrar patógenos en una muestra de agua en base a la presencia del *E. coli*. Si la presencia de esta bacteria es nula, no quiere decir que no se encuentren patógenos, sino que la probabilidad, y por ende el riesgo, disminuye. Del mismo modo, si se tiene más de 1000 colonias, la probabilidad de tener patógenos es muy alta (Johnston, s.f.).

Figura 13: Indicador de riesgo de presencia de patógenos en función de presencia de *E. coli*.

Indicator count per 100 mL	Risk level	
<0	A	Conformity
1-10	B	Low
11-100	C	Intermediate
101-1000	D	High
>1000	E	Very high

Fuente: Department of Microbiology, 2007

5.1.4. Cadena de contaminación

La cadena de distribución de agua presenta cuatro diferentes etapas donde se podría introducir la contaminación.

- Primero, el recurso hídrico en sí puede estar contaminado por el contacto con humanos o heces de animales.
- Segundo, aún si los recursos hídricos están limpios o si el agua se purifica en una planta de tratamiento, puede contaminarse durante la entrega al consumidor. Si en un suministro de agua por tubería no hay presión continua, el agua contaminada puede ingresar en las tuberías a través de grietas o juntas.
- Tercero, el punto de suministro puede estar contaminado. Puede ser un grifo o un pozo común, manipulado por adultos, niños, incluso animales; cuando está fuera de la casa, las personas deben usar recipientes que pueden estar sucios.
- Cuarto, los recipientes deben transportarse de regreso a la casa donde hay más oportunidad de contaminación. Los recipientes abiertos son especialmente vulnerables porque las manos pueden contaminar el agua si no están limpias. A su vez, el polvo o los insectos pueden entrar en un recipiente descubierto. Una vez que el agua se lleva a la casa, a menudo, se transfiere a otro recipiente y puede almacenarse de manera no higiénica introduciendo patógenos.

El tratamiento del agua en su punto de uso permite inactivar patógenos introducidos en puntos anteriores de la cadena de suministro, pero aún existe la posibilidad de recontaminación. Finalmente, el mismo recipiente, una taza o un vaso podría estar lleno de contaminación fecal. Las personas pueden limpiar el recipiente con las manos antes de usarlo, pero esto podría ensuciarlo aun más (Johnston, s.f.-b).

5.1.5. Procesos de purificación

Filtración

Durante la mayoría de procesos de tratamiento de agua, ya sea doméstico o a mayor escala, se realiza un tratamiento previo. Si el agua presenta muchos sólidos en suspensión o turbidez, esas partículas pueden interferir con otros procesos de tratamiento. Por lo que se realizan pretratamientos, como la filtración aproximada, a través de filtros de tela o arena, o la sedimentación. Los filtros suelen ser eficaces para eliminar patógenos grandes, como el gusano de Guinea o los protozoos. También suelen funcionar contra las bacterias, según el diseño. Algunos filtros incluso pueden eliminar virus. Pero, como se mencionó con anterioridad, los virus son muy pequeños y pueden pasar por los poros de algunos filtros (MWH, 2005).

Desinfección con calor

El proceso de tratamiento de agua doméstico más utilizado a nivel global es la ebullición. La ebullición es muy eficaz contra todas las clases de patógenos y hace el agua más segura para beber. Sin embargo, hervir agua puede causar riesgos para la salud, especialmente donde se usa combustible de biomasa, y más fuego significa más contaminación del aire interior. Más fuego también necesita más combustible, lo que hace el tratamiento más costoso y menos sustentable. A su vez, el agua hervida es muy vulnerable a la recontaminación, ya que debe enfriarse antes de beberse, y si esto se hace en un recipiente abierto, hay buenas posibilidades de que se vuelva a contaminar (Johnston, s.f.-b).

Desinfección por radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta es otra forma de energía que se utiliza en la desinfección. Las lámparas ultravioleta son muy eficaces donde hay electricidad. Pero incluso sin electricidad, se puede utilizar la radiación ultravioleta del sol con SODIS. El cual es técnicamente fácil de implementar. No requiere suministros ni productos químicos complicados y es muy económico. A su vez, SODIS no cambia el sabor del agua y esta es tratada en el mismo recipiente que luego se usa para almacenar e incluso beber, por lo que el riesgo de recontaminación es bajo. Sin embargo, el tratamiento con SODIS requiere mucho tiempo y solo puede tratar volúmenes relativamente pequeños de agua (Johnston, s.f.-b).

Desinfección por cloro

El desinfectante más comúnmente utilizado en el tratamiento de agua doméstico, y en plantas de tratamiento a gran escala, es el cloro. El cloro se puede aplicar en forma líquida o de tableta, y es más eficaz con largos tiempos de exposición. Por lo general, se debe administrar cloro al menos 30 minutos para desinfectar el agua. El cloro es muy eficaz contra las bacterias, pero se requieren dosis más altas para matar algunos virus. Y algunos

quistes protozoarios son muy resistentes al cloro. Los quistes de *Cryptosporidium* pueden incluso sobrevivir durante períodos cortos con lejía sin diluir y con toda su concentración.

Una ventaja de la desinfección con cloro, que falta para la desinfección por calor y radiación, es que el cloro residual en el agua puede proteger contra la recontaminación. La cloración también es fácil de aplicar en el hogar y es muy económica. Se pueden tratar grandes volúmenes de agua en períodos de tiempo relativamente cortos. Se pueden tratar grandes volúmenes de agua en períodos de tiempo relativamente cortos. La cloración constante requiere cadenas de suministro y compromiso de los usuarios. Y, por último, el cloro tiene un sabor y un olor característicos que pueden resultar desagradables si la gente no está acostumbrada (Johnston, s.f.-b).

La desinfección del agua con cloro se utiliza para eliminar microorganismos (bacterias y virus), pero no es lo suficientemente eficiente para inactivar parásitos patógenos (por ejemplo, *Giardia*, *Cryptosporidium* y huevos de helmintos). Este tipo de tratamiento requiere el suministro de cloro en forma líquida o en polvo. Se necesita una aplicación experta, ya que el cloro es una sustancia peligrosa y corrosiva. El agua tratada con cloro tiene un sabor que muchos usuarios no aprecian (Johnston, s.f.-b). A continuación se muestra un cuadro que resume las principales características de los procesos de purificación del agua, a manera comparativa.

Cuadro 4: Comparación de los procesos de purificación de agua.

	Filtración	Desinfección con calor	Desinfección con radiación ultravioleta	Desinfección con cloro
Fácil de operar	X			
Económico			X	X
Agrega sabor extraño al agua				X
Riesgo para la salud		X		
Posibilidad de recontaminación	X	X	Dependiendo del recipiente	
Alta demora			X	
Útil para grandes volúmenes de agua	X			X
Efectivo en agua turbia	X	X		

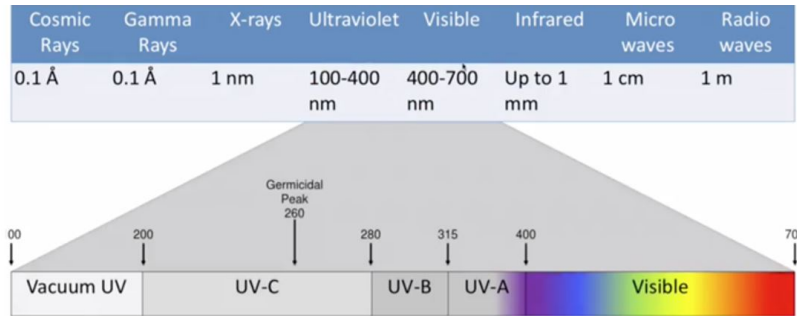
Fuente: Elaboración propia..

5.1.6. Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta es un tipo de energía a lo largo del espectro electromagnético, donde los diferentes tipos de radiación se definen por su longitud de onda. Esta radiación ultravioleta tiene longitudes de onda en un rango de 100 a 400 nanómetros, mientras que

la luz visible está en el rango de 400 a 700 nanómetros, como se puede ver en la Figura 14 (Johnston, s.f.-b).

Figura 14: Espectro electromagnético de los rayos UV.

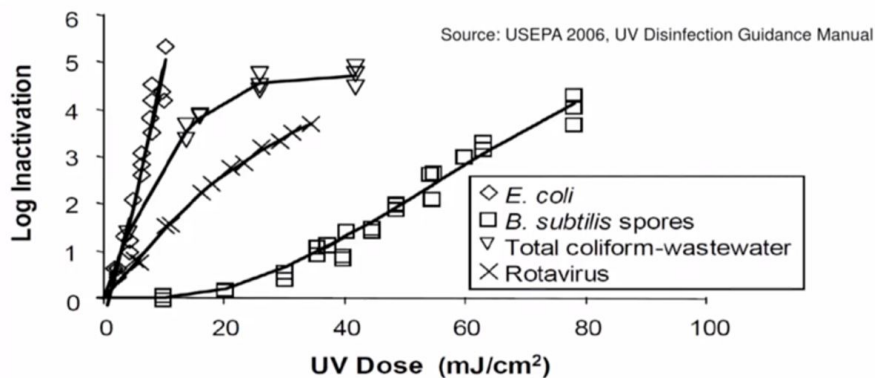


Fuente: Johnston, s.f.-b

Eficacia de los rayos UV contra patógenos

Para describir la eficacia de la luz UV contra diferentes tipos de patógenos se debe definir la dosis. El ADN absorbe la luz ultravioleta en el rango de 200-300 nanómetros, y tiene un pico grande justo en 260 nanómetros en el rango de UV-C, por ello la mayoría de los sistemas ultravioleta comerciales apuntan a esta longitud de onda. Y se ha demostrado que UV-C es más eficaz contra las bacterias, seguidas de los protozoos y los quistes. Contra virus y esporas bacterianas se necesita una dosis mayor para inactivar estos patógenos. Normalmente, una dosis puede ser de 400J/m² para obtener una buena eliminación de virus y esporas bacterianas. A continuación se puede ver un gráfico de la eficacia de UV-C contra diferentes tipos de patógenos. Aquí tenemos la dosis y la inactivación logarítmica o LRV en el otro eje (Johnston, s.f.-b).

Figura 15: Eficacia de los rayos UV con ciertos patógenos.



Fuente: Department of Microbiology, 2007

Efectos de la radiación ultravioleta

La radiación solar se puede dividir en tres rangos de longitud de onda: radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. El ojo humano no puede percibir la radiación ultravioleta. Es una radiación muy agresiva que puede provocar graves daños en la piel y los ojos y destruir las células vivas. Afortunadamente, la mayor parte de la luz UV-C y UV-B en el rango de 200 a 320 nm es absorbida por la capa de ozono (O₃) de la atmósfera que protege a la Tierra de la radiación procedente del espacio. Sólo una fracción mayor de la radiación UV-A en el rango de longitud de onda de 320 nm a 400 nm, cerca de la luz violeta visible, llega a la superficie de la Tierra. La luz UV-A tiene un efecto letal sobre los patógenos humanos presentes en el agua. Estos patógenos no están bien adaptados a condiciones ambientales agresivas, ya que encuentran sus condiciones de vida específicas en el tracto gastrointestinal humano. Por tanto, son más sensibles a la luz solar que los organismos comúnmente abundantes en el medio ambiente. La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos y las enzimas de las células vivas, cambia la estructura molecular y provoca la muerte celular. La radiación UV también reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce formas de oxígeno altamente reactivas (radicales libres de oxígeno y peróxido de hidrógeno). Estas moléculas reactivas también interfieren con las estructuras celulares y matan a los patógenos.

5.1.7. Filtración

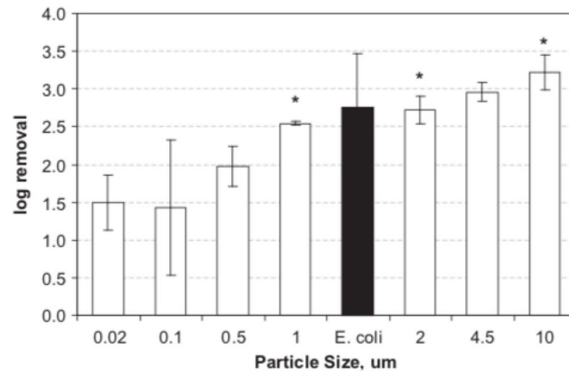
Filtros de carbón activado

Los filtros de carbón activado, también conocidos como filtros de carbón o prefiltros, son generalmente utilizados para eliminar partículas más grandes como sedimentos del agua. Funcionan atrayendo y absorbiendo estas partículas para que ya no estén presentes en el líquido que sale de su grifo. Un filtro de carbón activado también asegura que el agua tenga menos olor y sepa mucho mejor tras los procesos de purificación. Esto se debe a que reducen la cantidad de cloro y otros contaminantes que pueden hacer que el agua huela mal (SoftWaterFiltration, s.f.).

Filtros cerámicos

Los filtros de agua de cerámica, CWF por sus siglas en inglés, se utilizan para el tratamiento de agua en todo el mundo. Los CWF son una tecnología de bajo costo que se puede producir localmente utilizando suelo arcilloso disponible de forma natural y materiales orgánicos finos, como aserrín o cáscaras de arroz. El material se cuece en un horno, quemando el material orgánico y dejando pequeños poros. El tamaño de los poros y la carga superficial de la cerámica determinan la capacidad del filtro para eliminar partículas y patógenos del agua (Bielefeldt, Kowalski, y otros, 2009). Como se puede observar en la Figura 16, a mayor tamaño, más eficaz es el filtro para la remoción patogénica. En este caso también se utilizó el *E. coli* como indicador patogénico.

Figura 16: Eliminación de patógeno y de *Escherichia coli* por las CWF.



Fuente: Health, 2015

5.1.8. Pruebas de laboratorio para agua

Prueba de coliformes Totales

Esta prueba se utiliza para detectar la presencia de bacterias coliformes, que son indicadores de la contaminación fecal. Los coliformes son un grupo de bacterias que incluyen *E. coli*. Su presencia indica la posible contaminación por materia fecal y, por lo tanto, la posible presencia de otros patógenos (Sciortino y Ravikumar, 2010).

Conteo de bacterias aerobias

El conteo de bacterias aerobias es una técnica de laboratorio utilizada para determinar la cantidad de bacterias presentes en una muestra de agua, alimentos, suelos u otros tipos de muestras. Estas bacterias son llamadas "aerobias" porque requieren oxígeno para crecer y multiplicarse (Sciortino y Ravikumar, 2010).

Prueba de turbidez

La prueba de turbidez es una técnica de análisis que se utiliza para medir la claridad o la falta de transparencia del agua. La turbidez del agua se debe a la presencia de partículas suspendidas, como sedimentos, arcilla, materia orgánica, microorganismos u otros sólidos en el agua (Sciortino y Ravikumar, 2010).

Prueba de cloro residual

Esta prueba se realiza con un kit de prueba, los cuales suelen contener reactivos químicos que cambian de color cuando se agregan al agua que se está analizando. La intensidad del color cambia en función del nivel de cloro presente, y se compara con una escala de colores

proporcionada en el kit para determinar la concentración de cloro residual (Sciortino y Ravikumar, 2010).

Medición de pH

Los dispositivos electrónicos miden el pH de manera más precisa que las tiras de papel o los kits de prueba. Un electrodo del medidor de pH se sumerge en la solución y proporciona una lectura digital directa del pH en una pantalla. Los medidores de pH son ampliamente utilizados en laboratorios y en aplicaciones donde se requiere una medición precisa del pH (Sciortino y Ravikumar, 2010).

Para llevar a cabo el proyecto se desarrolló una metodología con el fin de organizar y secuenciar pasos requeridos para alcanzar los objetivos. Esta metodología consistió de 11 fases que engloban los procesos requeridos para obtener el resultado final. Las primeras cinco fases consisten de la preparación previa al desarrollo del proyecto, de las fases 6 a 9 se desarrollan los cuatro sistemas que componen el proyecto, la siguiente fase consiste en la realización de pruebas y la implementación de los 3 módulos. Y la fase final consiste de seguimiento y mejoras realizados al proyecto.

6.1. Fase 1: Identificación de necesidades

6.1.1. Ubicación del proyecto

El Parque Ecológico la Asunción, ubicado en la zona 5 de la Ciudad de Guatemala, presenta una afluencia semanal de aproximadamente 1022 personas, incluyendo mujeres, hombres y niños, quienes disfrutan de los ambientes del parque, como canchas deportivas, juegos de niños, churrasqueras y senderos cubiertos de información sobre la flora y fauna presentes.

El sistema desarrollado a través de este proyecto fue ubicado en una zona estratégica del parque, colocándose entre las canchas deportivas y los juegos para niños, brindándole así a los visitantes un espacio donde rehidratarse. A su vez, como parte de la construcción del sistema, se añadieron paneles informativos frente a este, explicando la importancia del recurso hídrico, las formas en las que se puede purificar el agua, y una breve explicación del proyecto y su impacto social. Estos paneles informativos son además el lugar perfecto para dar a conocer a los entes que hicieron posible Guatepotable.

Uno de los primeros análisis de diseño realizados para el proyecto consistió en decidir la ubicación exacta del proyecto, ya que se contaba con dos posibles localidades, las cuales se muestran en la Figura 17. Los criterios de selección fueron los siguientes: el terreno debe ser lo más uniforme posible; debe de contar espacio sin árboles que proyecten sombra sobre el panel y el colector solar ; debe de contar con una fuente de agua entubada cercana.

Figura 17: Ubicación del proyecto

(a) Localidad 1



(b) Localidad 2



Fuente: Elaboración propia.

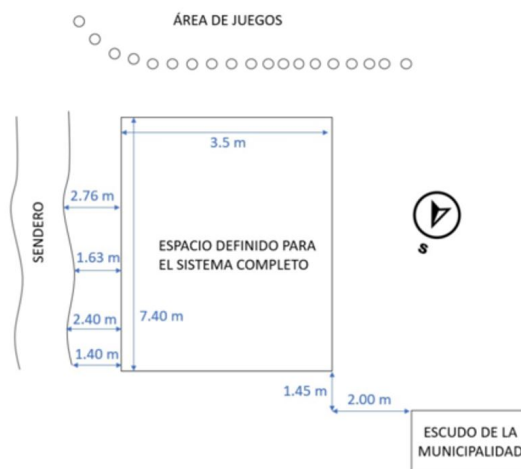
En base a esto, se eligió la segunda ubicación (ver Figura 17b) y se procedió a delimitar el área para la instalación completa del proyecto, como se puede ver en la Figura 18. Se tomaron medidas del ancho y largo de la zona delimitada, al igual que el ángulo de inclinación del terreno y las distancias entre el perímetro del área y elementos cercanos, lo cual se puede ver en la Figura 18.

Figura 18: Delimitación de la ubicación del proyecto

(a) Área delimitada para el proyecto



(b) Medidas del área delimitada



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Criterio de purificación

El siguiente paso consistió en definir el criterio de purificación para este proyecto. Con base en lo investigado en los antecedentes y lo explicado en el marco teórico, se estableció qué criterios para agua potable se emplearían en el proyecto para asegurar la eficiencia del sistema.

Procesos de purificación

Primero se definieron los procesos de purificación a emplear, considerando la investigación previa. Con base en la Tabla 4, se decidió implementar un sistema de filtraje inicial con filtros de carbón activado, así como un proceso de exposición a radiación solar el cual provee de desinfección por calor y desinfección por luz ultravioleta. A su vez, el agua utilizada para abastecer el sistema en épocas no lluviosas proviene de sistemas de abastecimiento de la Municipalidad de Guatemala (MSPAS, 2022) en los cuales se añade cloro al agua. Tomando en cuenta estos procesos, se obtiene un sistema de purificación muy completo.

Pruebas de agua

Como segundo punto, se definieron las pruebas de calidad de agua para garantizar su potabilidad tras el proceso de desinfección. Se decidió realizar las siguientes pruebas:

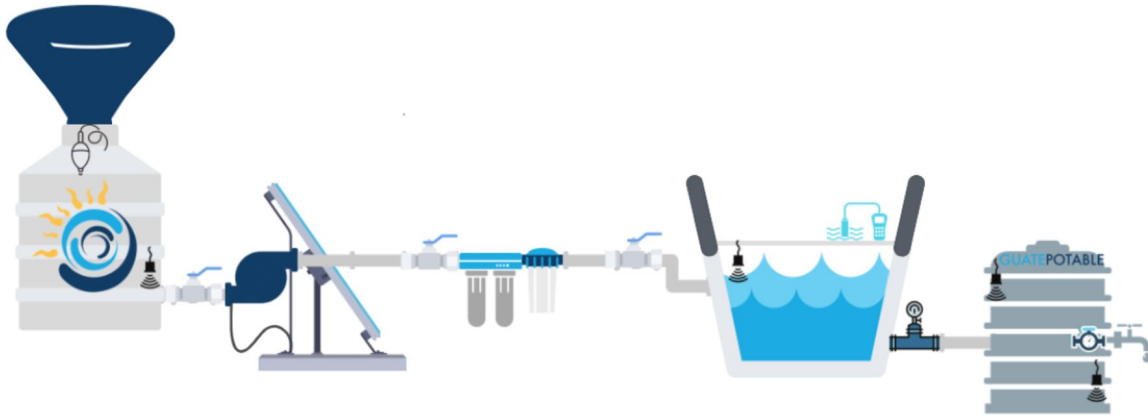
1. Prueba de coliformes totales.
2. Conteo de bacterias aerobias.
3. Prueba de turbidez.
4. Prueba de cloro residual.
5. Medición de pH.
6. Medición de temperatura.

6.2. Fase 2: Propuesta inicial

La propuesta inicial buscaba tomar el principio de desinfección de la metodología SODIS para emplearlo en mayor escala mientras se mantenía lo más sostenible con el ambiente posible. Por ello, se optó por un tanque que actuara como las botellas PET, el cual mantiene el agua expuesta al sol contenida en un material que permite la penetración de rayos UV. También, se propuso emplear como fuente de abastecimiento el agua pluvial, por lo que se añadió un colector de agua de lluvia. Del mismo modo, se decidió automatizar el proceso de purificación para minimizar el contacto humano con el agua a tratar, evitando así enfermedades lavadas y transmitidas por agua, así como una posible recontaminación.

Para poder automatizar el proceso se requería de un sistema eléctrico y una fuente de energía, por lo que se decidió implementar energía renovable por medio de una celda solar. Y para poder automatizar el proceso se debían implementar sensores de nivel de agua, una bomba de agua y una electroválvula. Y a partir de estos parámetros se obtuvo la propuesta inicial de Guatepotable, ver Figura 19.

Figura 19: Diagrama de funcionamiento del proyecto (propuesta inicial).



Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto consistió de tres módulos:

1. Módulo encargado de la estructura del proyecto, también conocido como módulo 1
2. Módulo encargado de la purificación del agua, también conocido como módulo 2;
3. Módulo encargado del suministro de energía, también conocido como módulo 3 (o módulo de energía).

Cada uno de estos módulos fue asignado a un integrante del equipo, y en este trabajo se presenta el módulo 2: Purificación de Agua. El cual se subdividió en los siguientes 4 sistemas:

1. **Sistema de purificación:** este sistema se encargaría del diseño, construcción e implementación del colector solar y del tanque SODIS; de la selección e instalación de los filtros de agua; y de la toma de muestras y realización de las pruebas de purificación de agua.
2. **Sistema estructural:** este sistema se encargaría del diseño, construcción e implementación de la estructura base del módulo 2, así como cualquier otra estructura secundaria necesaria.
3. **Sistema de flujo en tuberías:** este se encargaría de diseñar un sistema de tuberías que permita el flujo de agua desde el tanque de agua pluvial al tanque del colector solar. Debía calcular los datos necesarios para que el compañero responsable del módulo de panel solar pudiese elegir la bomba y el panel adecuados para el sistema.

4. **Sistema eléctrico:** este se encargaría de diseñar un sistema eléctrico basado en un módulo lógico que contase con entradas y salidas analógicas y digitales que permitan la automatización del proceso de purificación.

6.3. Fase 3: Definición de requisitos

Dado que el trabajo se dividió en cuatro sistemas, se decidió identificar los requisitos según el sistema correspondiente a manera de facilitar el control de cumplimiento de los mismos. En el Cuadro 5 se identifica cada requisito con un código, en donde:

R-SP = Requisito Sistema de Purificación

R-SS = Requisito Sistema Estructural

R-ST = Requisito Sistema de Tuberías

R-SE = Requisito Sistema Eléctrico

R-G = Requisito General (compartido con los otros dos módulos del proyecto)

A su vez, se empleó una clasificación dentro de los requisitos con el fin de mejorar la comprensión, gestión y desarrollo del sistema. Los requisitos se clasificaron en base a: desempeño, seguridad y funcionalidad. Los requisitos de desempeño se centran en la eficiencia del sistema. Estos definen los criterios de rendimiento que el sistema debe cumplir, así como resultados que debe presentar. Los requisitos de funcionalidad se centran en las funciones, características y capacidades que el sistema debe proporcionar, estos describen las acciones específicas que el sistema debe realizar en respuesta a ciertas entradas o situaciones. Y los requisitos de seguridad se centran en garantizar que el sistema sea seguro, y que preserve la integridad de todas las personas involucradas.

Cuadro 5: Requisitos.

Código	Descripción	Tipo
R-SP-01	El agua al salir del sistema debe ser aprobada por un laboratorio en base a la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 de Agua para consumo humano.	Desempeño
R-SP-02	Se debe realizar pruebas de calidad de agua para verificar el saneamiento de la misma, en base a 5 parámetros: pH, turbidez, cloro residual, temperatura y bacterias presentes.	Seguridad
R-SP-03	Los componentes en contacto con el agua deben de ser de un material de grado alimenticio.	Seguridad
R-SP-04	El filtro de agua debe ser capaz de reducir el nivel de turbidez de la misma en más del 90 %	Funcionalidad
R-SP-05	Emplear vidrio anti reflejante en el tanque SODIS para permitir la penetración de los rayos ultravioleta.	Funcionalidad
R-SP-06	El depósito del sistema SODIS debe ser capaz de almacenar 0.3 metros cúbicos de agua.	Desempeño
R-SP-07	Utilizar pegamentos de grado alimenticio para el ensamble del tanque SODIS para preservar la pureza del agua.	Seguridad
R-SP-08	El tanque SODIS se debe poder dismantelar para realizar la limpieza del depósito.	Funcionalidad

Cuadro 5: Requisitos.

Código	Descripción	Tipo
R-SP-09	Determinar el tiempo de exposición al sol del agua ya sea con el uso de un sensor de calidad o con un tiempo mínimo determinado, o según la radiación solar.	Desempeño
R-SP-10	Los tanques deben aislarse debidamente evitando que ingresen en él partículas contaminantes mientras este se encuentre cerrado y funcionando.	Funcionalidad
R-SS-11	La estructura metálica base del sistema SODIS debe ser capaz de soportar la carga total del agua a máxima capacidad y demás componentes.	Funcionalidad
R-SS-12	La estructura principal del módulo 2 debe soportar el peso del tanque 2 a máxima capacidad, y demás componentes como el colector solar y tuberías.	Funcionalidad
R-SS-13	Los componentes de este módulo deben de poder ensamblarse en el parque sin necesidad de una soldadora eléctrica.	Seguridad
R-ST-14	Todo el sistema de tuberías y tanque debe estar conectado y aislado para evitar recontaminación del agua.	Seguridad
R-ST-15	A partir del sistema SODIS, el flujo del agua se debe dar únicamente por acción de la gravedad.	Funcionalidad
R-ST-16	Determinar la carga necesaria de la bomba para distribuir agua al tanque 2 desde el tanque 1.	Funcionalidad
R-SE-17	El material de la tubería debe ser anticorrosivo y económico.	Funcionalidad
R-SE-18	El sistema eléctrico debe de funcionar al mismo voltaje que el proporcionado por el módulo de energía.	Funcionalidad
R-SE-19	Los cables deben encontrarse correctamente aislados para soportar las condiciones de intemperie.	Seguridad
R-SE-20	El sistema de control debe de ser retroalimentado por medio de sensores.	Funcionalidad
R-SE-21	Los sensores deben ser capaces de proporcionar señales digitales o analógicas al PLC seleccionado	Funcionalidad
R-SE-22	Se deben instalar breakers y/o relés para proteger el módulo lógico en casos de sobre carga o disparos de corriente.	Seguridad
R-SE-23	Se debe instalar un panel eléctrico para proteger el sistema de control.	Seguridad
R-SE-24	El módulo lógico debe contar con salidas a relé que soporten corrientes de 10 A.	Seguridad
R-SE-25	Implementar sensores de nivel de agua en los 3 depósitos del sistema.	Funcionalidad
R-SE-26	Integrar una electroválvula en la salida del depósito del sistema SODIS para automatizar el vaciado.	Funcionalidad
R-SE-27	El sensor de nivel de agua del primer tanque debe indicar el nivel mínimo de agua necesario para accionar la bomba, evitando así que esta se quemé.	Funcionalidad
R-SE-28	El sensor de nivel de agua del segundo tanque (SODIS) debe indicar el nivel máximo de agua, para evitar que se sobre llene.	Funcionalidad
R-SE-29	El sensor de nivel de agua del tercer tanque debe indicar el nivel mínimo de agua, para permitir que el sistema se accione y que la electroválvula permita el paso de agua.	Funcionalidad
R-G-30	El tiempo de exposición a la radiación solar debe de considerarse únicamente durante horas de sol efectivas durante el día.	Desempeño

Cuadro 5: Requisitos.

Código	Descripción	Tipo
R-G-31	El sistema debe ser de un largo y ancho máximo de 7.40 y 3.50 metros respectivamente.	Desempeño
R-G-32	Todos los componentes del sistema deben ser capaz de soportar condiciones de intemperie.	Desempeño
R-G-33	Debe trasladarse por partes desde el parqueo del parque ecológico la asunción hasta la ubicación seleccionada.	Seguridad
R-G-34	El sistema no debe presentar partes filosas que puedan herir a alguien.	Seguridad
R-G-35	El sistema debe de ensamblarse en el parque sin necesidad de soldadura extra.	Desempeño

Fuente: Elaboración propia.

6.4. Fase 4: Planeación y financiamiento del proyecto

Para llevar el proyecto a cabo se realizó un estimado de la inversión monetaria estimada para su desarrollo y construcción, ver Cuadro 6.

Cuadro 6: Estimación de inversión monetaria necesaria para el proyecto.

Descripción	Total Módulo
Módulo: Estructura	Q. 1,858.75
Módulo: Panel solar	Q. 4,394.81
Módulo: Purificación de agua	Q. 4,117.01
TOTAL	Q. 10,370.57

Fuente: Elaboración propia.

Para poder desarrollar este proyecto el equipo participo en el concurso “Acción ODS” de proyectos sostenibles impulsado por la Municipalidad de Guatemala. Tras nuestra participación se nos otorgó una inversión de Q7,500.00, así como un espacio para la implementación dentro del Parque Ecológico la Asunción (visto en Fase 1). Con esta inversión se cubrieron diversos gastos, incluidos: material de construcción, panel solar, batería, material para el tanque de agua y para pruebas de calidad de agua.

Sin embargo, aún se requería de financiamiento para finalizar el módulo 2 del proyecto, por lo que se decidió contactar a diversas empresas comprometidas con el desarrollo sostenible para solicitar su patrocinio. Primeramente se contactó a SIEMENS (ver Anexo 2) quienes proporcionaron un módulo lógico LOGO! 12/24 (ver Figura 20), así como una capacitación para su uso y programación.

Figura 20: Patrocinio SIEMENS.



Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se contactó a la empresa HANNA® Instruments (ver Anexo 3), quienes donaron un medidor de cloro residual, y un medidor de pH (ver Figura 21).

Figura 21: Patrocinio HANNA® Instruments.

(a)



(b)



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la empresa Mainco S.A. también nos patrocinó, proporcionando una lámina reflectiva de acero inoxidable (ver Figura 36). Así mismo, la empresa Aislamientos Marchetti proporcionó tubos de perfil de 2X2 pulg². y de 1X1 pulg². para la elaboración de la estructura, y también nos otorgaron el uso de sus instalaciones para poder realizar los procesos de construcción y ensamblaje del módulo 2 (ver Figura 22). Por último, la empresa Signature Boutique completó el resto del financiamiento para el proyecto.

Figura 22: Taller Aislamientos Marchetti.



Fuente: Elaboración propia.

6.5. Fase 5: Toma de muestras de agua

Para corroborar la capacidad de purificación de agua del proyecto se deben de realizar pruebas de calidad de agua en un laboratorio, las cuales están regidas por la norma COGUANOR 2019 (ver Anexo 11.6).

Las muestras de agua para análisis de laboratorio se tomaron en base a las dos fuentes de abastecimiento de agua del proyecto: agua de lluvia y agua de llave, ambas tomadas desde el Parque Ecológico la Asunción.

Figura 23: Toma y almacenamiento de muestras de agua pluvial.



Fuente: Elaboración propia.

Para el agua de llave se decidió realizar pruebas de cloro residual y pH, como se puede ver en la Figura 24. Se hicieron estas pruebas con el equipo de Hanna Instruments, ya que estos parámetros son distintos al agua de lluvia dado que el agua entubada de la ciudad es previamente tratada con cloro.

Figura 24: Pruebas de cloro residual y pH del agua entubada.



Fuente: Elaboración propia.

6.6. Fase 6: Sistema de purificación

Las fases 6 a la 9 consisten de diseño mecánico, el cual se inició a partir del sistema de purificación ya que de este depende el sistema estructural, el sistema de tuberías y el sistema eléctrico.

6.6.1. Verificación de implementación

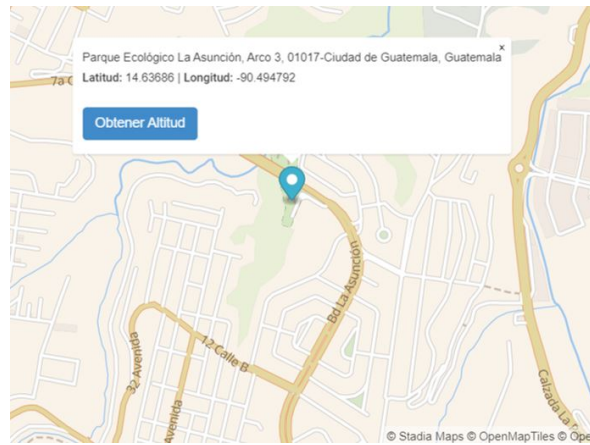
Primeramente, se debe de verificar que el método SODIS es apto para su aplicación en el Parque Ecológico La Asunción, para ello se debe de calcular la dosis de UV que llegaría al tanque de purificación y el resultado se compara con la dosis mínima requerida para la desinfección solar.

Calcular la dosis de radiación ultravioleta del sol en un tanque de agua implica varios factores, incluyendo la irradiancia solar, el tiempo de exposición a la misma y la geometría del tanque (esta se ve en la sección 2 delimitación de profundidad máxima del agua). Por lo que se siguieron los siguientes pasos para estimar la dosis de UV dentro del parque ecológico

Ubicación y fecha

La intensidad de la radiación ultravioleta del sol varía según tu ubicación geográfica y la época del año. Por lo que se investigó la latitud y longitud del Parque Ecológico La Asunción. Como se puede ver en la Figura 25, estas son de $14^{\circ} 38' 12.696''$ y $90^{\circ} 29' 41.252''$, respectivamente.

Figura 25: Latitud y longitud en Parque Ecológico La Asunción.

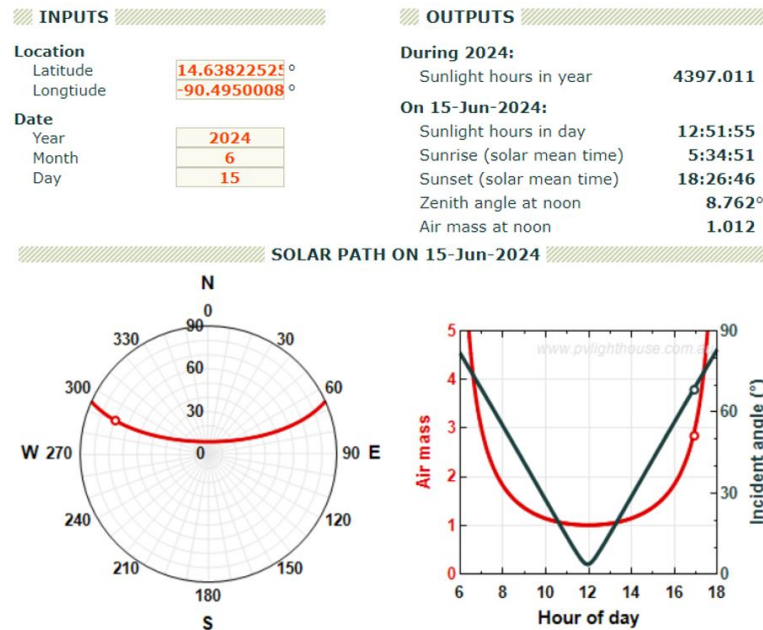


Captura de pantalla por cortesía de OpenMapTiles®.

Fuente: Elaboración propia

A su vez, se necesita establecer la fecha para la cual se desea calcular la dosis de UV. Esta información permite encontrar el ángulo cenital solar θ_z , que afecta la intensidad de los rayos UV. Se eligió el día 15 de junio ya que durante este mes se tiende a tener los días más nublados en Guatemala, y esto nos proporcionará un dato conservador. Tomando en cuenta la ubicación y la fecha, y haciendo uso de *Solar Path Calculator* (LightHouse, 2023) se obtuvo un ángulo cénit solar de 8.76° , como se puede ver en la Figura 26.

Figura 26: Ángulo incidente en Parque Ecológico La Asunción.



Captura de pantalla por cortesía de PV LightHouse®.

Fuente: Elaboración propia

Irradiancia solar

A partir del ángulo cenital solar se puede calcular la irradiancia solar, la cual indica la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra. Para ello se emplea la ecuación 1, la cual representa una simplificación básica que se utiliza en la física solar para describir la irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal en relación con el ángulo solar cenital (Duffie y Beckman, 2013). Esta fórmula es una idealización y se empleó como una verificación inicial.

$$I = S \cos \theta_z \quad (1)$$

Donde

I es la irradiancia solar

S es la constante solar

θ_z es el ángulo cenital solar

$$I = 1361.0W/m^2 * \cos(8.76)$$

$$I = 1345.12W/m^2$$

La constante solar, S, es un valor constante que representa la irradiancia solar promedio fuera de la atmósfera terrestre. Son aproximadamente $1361.0 W/m^2$ cuadrado (Duffie y Beckman, 2013). Tomando en cuenta el valor obtenido de ángulo cenital, se obtiene una irradiancia de $1345.12 W/m^2$.

Dosis de UV

Por último, para obtener la dosis de UV se multiplica el valor de irradiancia por el tiempo de exposición.

$$UV\ dosage = I * t \quad (2)$$

$$UV\ dosage = 1345.12W/m^2 * 6h$$

$$UV\ dosage = 8070.72Wh/m^2$$

Como se vio en Antecedentes 2.3, $555Wh/m^2$ es suficiente dosis para obtener una buena eliminación de virus y esporas bacterianas. Por lo que la dosis estimada es suficiente para justificar el uso del método SODIS dentro del Parque Ecológico La Asunción.

Este método empleado es simplificado con el fin de estimar la dosis de UV sin embargo, las condiciones atmosféricas son más complejas. Factores como la nubosidad, y la turbidez del agua (ver subsección 6.6.2 delimitación de profundidad máxima del agua) también afectan la dosis real de UV, por lo que más adelante se hace un análisis conservador de la irradiación incidente en el parque ecológico (ver Resultados, sección 7). Luego de este análisis, y tras verificar que la aplicación de este método es viable se puede continuar con la delimitación de medidas del tanque de agua SODIS.

6.6.2. Delimitación de profundidad máxima del agua

Para identificar la altura máxima del agua dentro del tanque SODIS durante su exposición al sol, se realizaron cálculos de acuerdo con el alcance de los rayos ultravioleta.

La metodología de purificación SODIS está limitada por la profundidad del agua dependiendo de su nivel de turbidez (Antecedentes 2.3). Por lo que, bajo este parámetro, el tanque de desinfección debería mantenerse en un rango entre 5 y 20 cm de profundidad a una turbidez menor a 10 NTU.

Para obtener la altura máxima del contenedor de agua SODIS (también identificada como la profundidad máxima del agua), se realizaron los cálculos presentados a continuación, utilizando como longitud de onda 400 nm. A pesar de no ser la longitud de onda más efectiva contra patógenos, como la longitud de UV-C a 260nm (sección 5.1.6 del marco teórico), esta longitud de onda proveniente del sol es capaz de penetrar el agua y de inactivar la duplicación del material genético de los microorganismos.

Ley Beer-Lambert

Se inició el análisis empleando la ley de Beer-Lambert (Wiley et al., 2006). Esta es una relación empírica que relaciona la absorción de luz con las propiedades del material atravesado. Para líquidos, esta relación se expresa con la ecuación 3.

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^{-\alpha} = 10^{-\varepsilon lc} = 10^{-A} \quad (3)$$

Donde

I_1 , I_0 son las irradiancias entrante y saliente respectivamente

$A = \alpha l = -\varepsilon lc$ es la absorbancia, que también puede calcularse como $A = -\log_{10} \frac{I_1}{I_0}$
 l es la longitud atravesada por la luz en el medio
 c es la concentración del absorbente en el medio
 α es el coeficiente de absorción

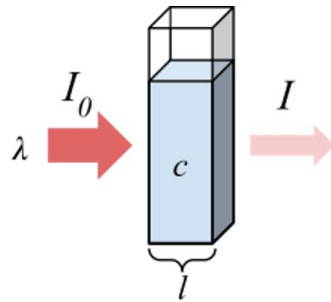
$$\alpha = \frac{4\pi k_\lambda}{\lambda} \quad (4)$$

Donde:

λ es la longitud de onda de la luz absorbida

k_λ es el coeficiente de extinción.

Figura 27: Representación de la Ley Beer-Lambert.



Fuente: Wypych, 2015

Coefficiente de absorción

Este coeficiente varía según el cuerpo de agua, ya que el coeficiente de extinción k_λ depende de las partículas y organismos suspendidos sobre el mismo. Según de-Hoyos y Alonso, 2017, para una buena estimación en cálculos de absorbancia se puede emplear un k_λ de 0.020. Tomando en cuenta que la longitud de onda λ es de 400 nm y utilizando la ecuación (4), se obtiene que el coeficiente de absorción α es de 6.28 mm^{-1} .

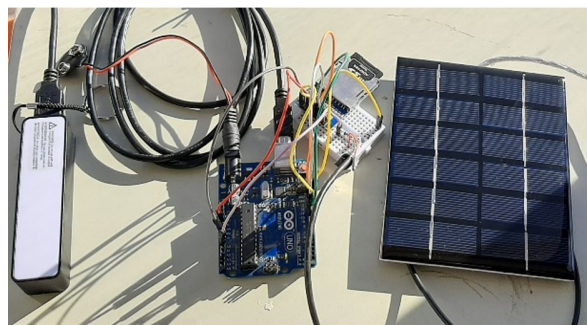
$$\alpha = \frac{4\pi(0.00020)}{0.0004 \text{ mm}}$$

$$\alpha = 6.28 \text{ mm}^{-1}$$

Irradiancia incidente

Para poder obtener los datos de irradiancia entrante I_0 , se instaló en el parque Ecológico la Asunción un medidor de irradiancia solar, desarrollado con el uso de un Arduino UNO, como se puede ver en la Figura 28 y 29.

Figura 28: Medidor de irradiancia solar.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Programación de Arduino.

```

Codigo_Radiacion_TESIS
1 /*---SD---*/
2 #include <SPI.h>
3 #include <SD.h>
4
5 /*---RADIACION---*/
6 #define ANALOG_PIN A0 // Pin Analógico
7 #define RESISTANCE 10 // Resistancia en kohms
8 #define PANEL_LENGTH 135 // Largo de celda solar en mm
9 #define PANEL_WIDTH 110 // Ancho de celda solar cell en mm
10 volatile float Area;
11 volatile float Power;
12 volatile float Radiation;
13
14 /*---ARCHIVO---*/
15 File myFile;
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600);
18   while (!Serial) {}
19   Serial.print("Initializing SD card...");
20
21   if (!SD.begin(4)) {
22     Serial.print("Initialization failed!");
23     while(1);
24   }
25   Serial.println("Initialization done.");
26   myFile = SD.open("Radiacion.txt", FILE_WRITE);
27
28   if (myFile){
29     Serial.print("Guardando en SD...");
30     myFile.println("Fecha");
31     myFile.close();
32     Serial.println("Listo");
33   }
34 }
35 /*---RESULTADOS---*/
36 void loop() {
37   Area = PANEL_LENGTH * PANEL_WIDTH / (100*100); // Área en m^2
38   Power = pow(analogRead( ANALOG_PIN ), 2) / RESISTANCE ;
39   Radiation = Power / Area;
40   char *msg;
41   sprintf(msg, " La radiación solar es de %f W/M2 ", Radiation);
42   Serial.println(msg);
43   myFile.println(msg);
44   delay(1000);
45 }

```

Captura de pantalla de Arduino IDE por cortesía de Arduino.

Fuente: Elaboración propia

Este medidor permitía obtener los datos de voltaje y potencia generados por el panel solar, lo cual con el uso de la corriente y el área superficial del panel obtenía la irradiación solar incidente inmediata (expresado en la ecuación 5. Se debía tomar en cuenta la pérdida de irradiación solar provocada por las paredes del tanque. Por lo que el medidor se colocó dentro del tanque SODIS vacío, ya que la irradiación incidente en este punto equivaldría a la irradiación entrante del agua. Los datos de irradiación se tomaron cada minuto durante 12 horas al día, durante 5 días. Este análisis se ve más a profundidad en la subsección 6.6.4.

$$I = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Donde

I es la irradiancia solar

P es la potencia generada por el panel solar

A es el área efectiva del panel solar

Profundidad máxima del agua

Para determinar la profundidad óptima del volumen de agua en el tanque SODIS se decidió calcular la irradiancia saliente, I , en función de profundidad de agua, l , con el fin de seleccionar la profundidad ideal en base al porcentaje de irradiancia incidente.

Para ello se utilizó el sistema medidor de irradiancia incidente (ver Figura 28) para obtener los valores de I_0 a distintas alturas dentro del tanque de agua. Luego, con el uso de la Ley Beer-Lambert y en base a la profundidad l , se obtuvo los valores de irradiancia saliente I . A partir de los valores entrante y saliente promedio se obtuvo el porcentaje de irradiancia incidente sobre el agua según su altura. En el Cuadro 7 se presentan los resultados.

Cuadro 7: Irradiación saliente en función de la profundidad del agua

Irradiancia entrante promedio I_0 (W/m^2)	Profundidad del agua l (m)	Irradiancia saliente promedio I (W/m^2)	Porcentaje del irradiancia
203.51	0.30	123.33	60.60 %
199.01	0.20	142.51	77 %
197.68	0.17	148.83	75.29 %
194.59	0.10	164.68	84.63 %

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados se decidió trabajar con una altura máxima de 17 centímetros. Se tomó en cuenta que en la Guía para la aplicación del método SODIS (Antecedentes sección 2.3) se sugiere mantener una penetración del 70 %, por lo que en este caso se optó por mantener resultados conservadores, pero manteniendo el mayor volumen posible.

6.6.3. Diseño y cálculos

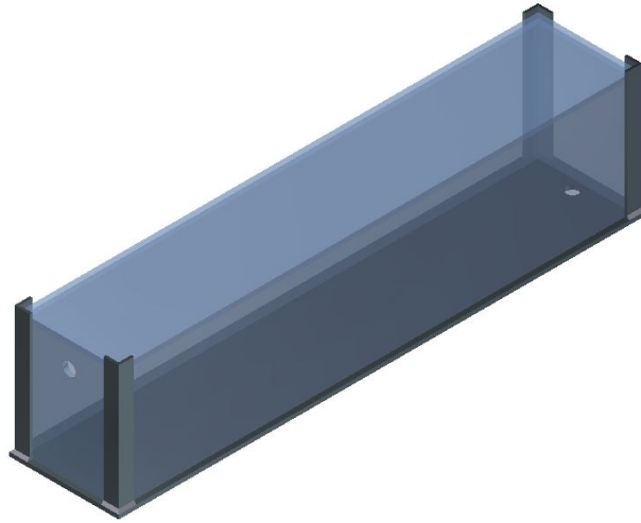
Tanque de agua

Para permitir la penetración de los rayos ultravioleta se decidió utilizar vidrio para las paredes del tanque (ver más en sección 1.4 selección de materiales). Sin embargo al tratarse de vidrio, un material muy delicado, el tanque no podía ser muy grande, así se decidió limitar su largo a un metro, mientras que ancho del tanque se mantuvo de 195 milímetros.

Cálculo de esfuerzo y presión sobre tanque rectangular

En la Figura 30 se observa el diseño del tanque SODIS. Para verificar que los materiales y el diseño cumplen con las cargas del sistema se llevaron a cabo los cálculos descritos a continuación.

Figura 30: Vista isométrica diseño de tanque de agua *SODIS*.



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

Presión de fondo

Se inició con el cálculo de presión sobre las paredes del tanque. Para obtener un resultado más conservador, se utilizó la presión generada al fondo del tanque para el análisis del vidrio. Utilizando la ecuación (6) se determinó que la presión en el fondo es de 166.31 Pa.

$$P = \rho gh \tag{6}$$

$$P = \left(997.23 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (0.017m) = 166.31 Pa$$

Este resultado se comparó con la resistencia a la tensión del vidrio templado en posición horizontal bajo ambientes húmedos (ver Cuadro 8) que es de 250 daN/cm^2 , lo que equivale a 25 MPa. Por lo que se concluyó que el vidrio cumple y es adecuado para esta aplicación.

Cuadro 8: Tensiones admisibles para el vidrio (dadas en daN/cm^2).

	Posición vertical	Posición inclinada	Posición horizontal	Posición horizontal
	Vidrio no sometido a tensiones permanentes	Vidrio sometido a tensiones permanentes	Vidrio no sometido a tensiones permanentes (ambiente no húmedo)	Vidrio no sometido a tensiones permanentes (ambiente no húmedo/piscinas)
Recocido	200	150	100	60
Templado	500	375	250	250
Semi-templado	350	260	175	175
Templado-Serigrafiado	350	260	175	-
Laminado	200	150	100	100
Colado recocido	180	135	90	90
Colado templado	400	300	200	200
Armado	160	120	80	-

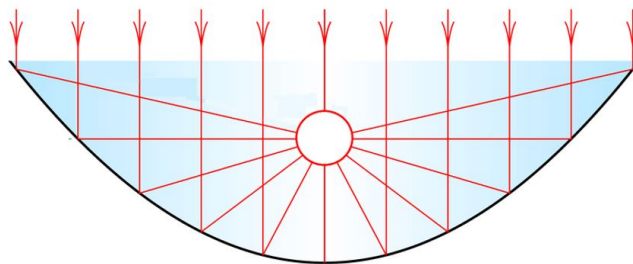
Fuente: Medina, s.f.

El valor obtenido para la presión de fondo también se utilizó para verificar que la plancha de acero seleccionada cumple con los requisitos de diseño. Para comparar con las propiedades mecánicas del material se empleó la ficha técnica del acero inoxidable 304 (ver Anexo 11.4), y se utilizó el acero grado 304L, en el que el valor de resistencia a la tensión es de 485 MPa. Por lo que se puede concluir que el material es capaz de soportar la presión hidrostática de manera segura.

Colector solar parabólico

Como parte del sistema de purificación se decidió implementar un colector solar, el cual está diseñado para concentrar la luz solar en un punto a lo largo de su eje. Para ello se diseñó un colector solar parabólico, permitiendo aprovechar las propiedades de reflexión de una superficie parabólica para redirigir la luz solar incidente hacia el punto focal de la parábola, permitiendo que se concentre el calor y se reflejen los rayos UV hacia el centro del tanque de agua.

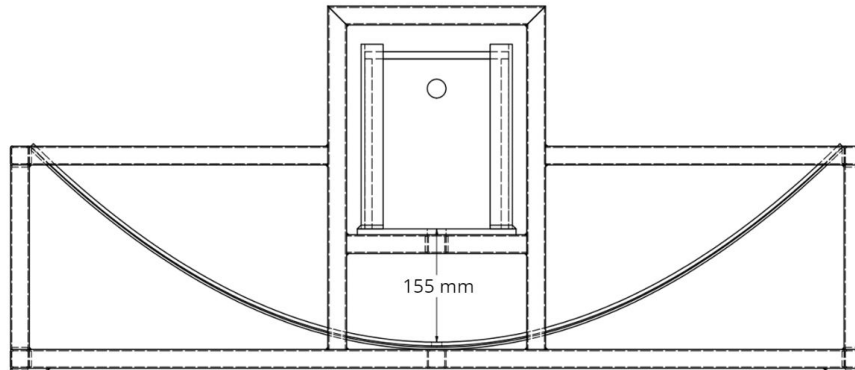
Figura 31: Colector solar parabólico.



Fuente: Mateo et al., 2016

Para ello se debía tomar en cuenta las dimensiones del tanque de agua, así como la distancia que existe entre el colector parabólico y el tanque. Consecuentemente, se realizó el diseño estructural de este módulo (ver más en sección 6.7, sistema estructural). Como se puede ver en la Figura 32, la distancia entre la parábola y la base del tanque de agua es de 155 mm.

Figura 32: Distancia (dada en milímetros) entre la superficie del colector parabólico y la superficie de la base del tanque de agua.

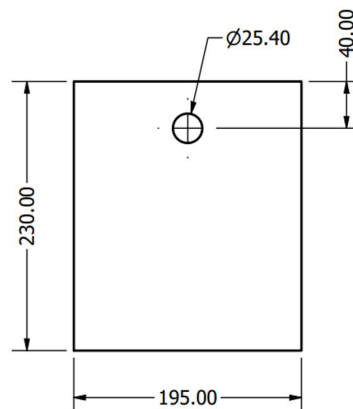


Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

El punto focal del colector solar se ubicó a la capacidad media del tanque, de tal forma que estando lleno la mayor temperatura se concentrará en medio del volumen de agua. Para el dimensionamiento del tanque se tomó en cuenta la altura máxima calculada previamente. A su vez, el tanque debía de contar con un agujero en una de las paredes frontales para permitir el flujo del agua, ver Figura 33. Por lo que se decidió dimensionar el tanque a una altura de 230 mm, lo cual permite que haya una distancia permisiva para los 170 mm de profundidad requeridos.

Figura 33: Dimensiones de pared de tanque de agua (dadas en milímetros).



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó previamente, el objetivo es ubicar el punto focal del colector solar

en el centro del volumen efectivo. Lo cual se logró utilizando la distancia entre la superficie reflectiva y el tanque (155mm), y la altura media del cuerpo de agua (170 mm/2). Con esta información se puede concluir que la distancia sobre el eje X es de 240 mm. Tomando este valor en cuenta, y la ecuación de la parábola con vértice en el origen (7), se determinó la ecuación parabólica que cumple este objetivo.

$$x^2 = 4py \tag{7}$$

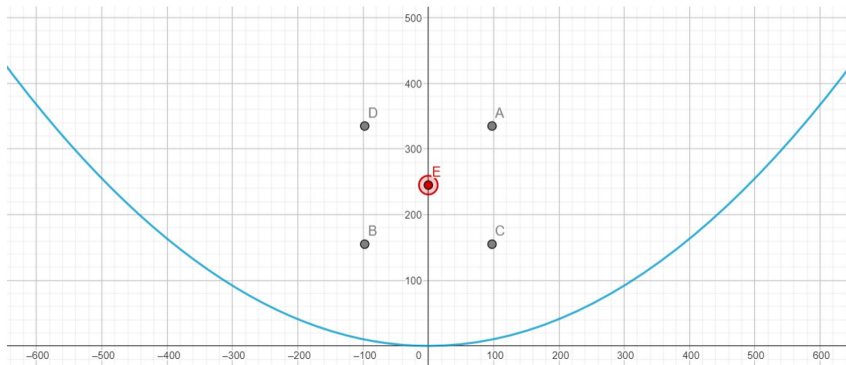
Donde
 p es la distancia entre el vértice y el foco

$$y = \frac{x^2}{4p}$$

$$y = \frac{1}{4(240)}x^2$$

La ecuación de la parábola que debe tener el colector solar es la siguiente: $y = \frac{1}{960}x^2$. Y se puede observar en la Figura 34.

Figura 34: Función parabólica del colector solar.



Captura de pantalla por cortesía de GeoGebra®.

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta ecuación se determinaron las dimensiones requeridas de la lámina reflectiva realizando un cálculo de longitud equivalente de la misma.

$$f(x) = \frac{1}{960}x^2$$

$$f'(x) = \frac{1}{480}x$$

$$L(x) = 2 \int_{500}^{-500} \sqrt{1 + \left(\frac{1}{480}x\right)^2} dx$$

$$L(x) = 150\sqrt{41} + 480 \sinh^{-1} \left(\frac{5}{4} \right)$$

$$L(x) = 1463.31mm$$

$$L(x) \cong 5ft$$

El largo mínimo necesario de la lámina para el colector solar debe ser de 5.0 ft. Y su ancho está dado por el largo del tanque de agua el cual es de 1.0 m , por lo que debe ser de 3.5 ft, redondeando a lo disponible en el mercado.

6.6.4. Selección de materiales

Tanque de agua

Como se vio en el estudio de EAWAG y SANDEC (Antecedentes sección 2.5), el método SODIS es usualmente empleado en botellas PET. Sin embargo, este plástico al encontrarse en constante exposición al calor y radiación solar llega a producir sustancias químicas que se mezclan con el agua a purificar. Por ello, se decidió emplear un material distinto para este proyecto, el cual permitiese el paso de radiación solar, la transferencia de calor, y que no presentara remanentes químicos tras su uso. Y a su vez, se tomó en cuenta que el material debe resistir la carga por presión hidrostática. En base a estas condiciones se decidió que las paredes del tanque serían de vidrio.

Sin embargo, existen diversos tipos de vidrio en el mercado. Por lo que para su selección se debió tomar en cuenta que la transmisión de la radiación ultravioleta a través del vidrio queda sujeta a su contenido de óxido de hierro. Aproximadamente el 75 % de los rayos ultravioleta pasan a través del vidrio ordinario, no obstante el vidrio de ventana común es casi opaco y no deja pasar suficiente luz UV-A, por lo que no se pueden usar en la desinfección solar.

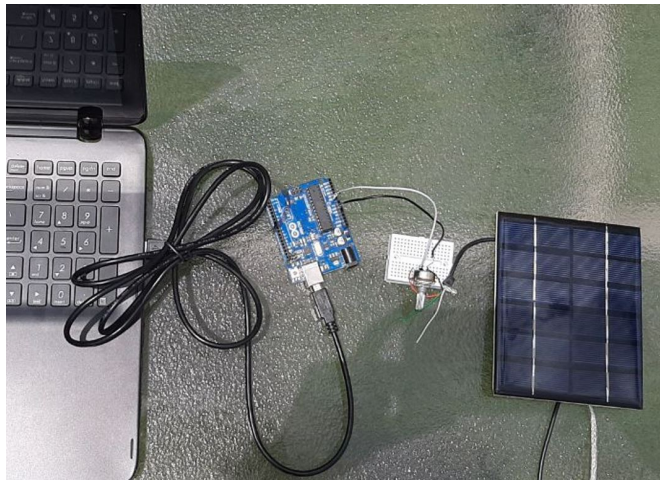
Para realizar una selección ideal, se llevaron a cabo pruebas de radiación solar sobre 3 distintas muestras de vidrio, ver Figura 35. (1) Vidrio bajo en hierro de 3 mm de grosor, (2) vidrio templado de 5 mm de grosor, (3) vidrio templado bajo en hierro de 8 mm de grosor. Con el uso de un Arduino y un panel solar se desarrolló un pequeño sistema capaz de obtener la información sobre la irradiancia total incidente sobre estos vidrios, ver Figura 36.

Figura 35: Muestras de vidrio para pruebas de irradiancia solar.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Medidor de irradiancia solar.



Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, se tomaron los datos de la irradiancia solar sobre el panel sin vidrio (ver Figura 36) para determinar la irradiancia total promedio, la cual fue de 245.67 W/m^2 . Luego, se colocaron las muestras de los distintos vidrios (ver Figura 35) sobre el panel para determinar el porcentaje de irradiancia incidente en función del grosor del vidrio, en base a la ecuación (8). Los resultados de este análisis se pueden observar en el Cuadro 9.

$$\%I_{\text{incidente}} = 1 - \frac{I_{\text{Total}} - I_{\text{Vidrio}}}{I_{\text{Total}}} \quad (8)$$

$$\%I_{\text{incidente}} = 1 - \frac{245.67 \text{ W/m}^2 - I_{\text{Vidrio}}}{245.67 \text{ W/m}^2}$$

Cuadro 9: Comparación de radiación ultravioleta a través de distintos vidrios.

Grosor (mm)	Irradiancia promedio en función del vidrio (W/m ²)	Porcentaje de irradiancia incidente
0	245.67	100 %
3	240.01	97.70 %
5	235.21	95.74 %
8	231.24	94.13 %

Fuente: Elaboración propia.

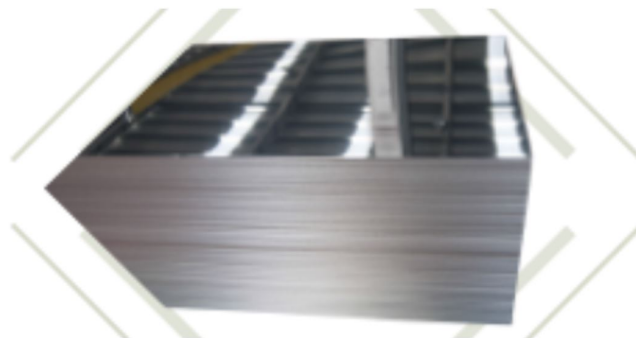
Como se puede observar en el Cuadro 9, la radiación ultravioleta que pasa a través del vidrio es inversamente proporcional al grosor del mismo: a menor grosor, mayor cantidad de rayos UV pasarán. El vidrio de 3 mm de grosor presenta un buen valor de radiación incidente total, sin embargo, al ser muy delgado y no ser vidrio templado puede que no resista las condiciones a las que se someterá el sistema SODIS por lo que este queda descartado. La decisión realmente reside en el factor de seguridad que se desea tener en el sistema, ya que tanto el grosor de 5 mm como el de 8 mm son capaces de resistir la carga hidrostática a las condiciones ambientales expuestas, y el porcentaje de UV incidente entre estos varía de manera casi despreciable. Por lo tanto, con base en este análisis se decidió utilizar el vidrio de 8 mm.

Para la base del tanque se decidió utilizar un material distinto que contase con mayor tenacidad, que también fuera un material de grado alimenticio y que fuera reflectivo. Con base en estas condiciones, se eligió utilizar plancha de acero inoxidable; para sostener las uniones de las paredes, se decidió usar un perfil L cuadrado también de acero inoxidable.

Colector solar parabólico

Como se determinó, el largo de la lámina debe ser de 5 ft y el ancho de 3.5 ft. Teniendo estos dos datos en cuenta, se procedió a la selección de la lámina. Se buscó la lámina con mayores propiedades reflectivas. Se encontró que la lámina lisa SS430 (Figura 37) contaba con pulido de espejo y recubrimiento de PVC. Esta lámina de acero inoxidable 430 resultó ser la opción ideal por sus propiedades y sus medidas de 4X8 ft.

Figura 37: Lámina reflectiva lisa SS430 con recubrimiento de PVC.



Fuente: (Mainco S.A., s.f.)

6.6.5. Construcción y ensamblaje

Tanque de agua

Para el ensamblaje del tanque de agua se trabajó primero en la base, la cual consistió de los 4 perfiles en L, y una plancha de acero inoxidable. Se decidió soldar estas piezas con soldadura TIG, ya que es de los mejores métodos para soldar acero inoxidable. Se empleó electrodo de tungsteno no consumible y gas argón como gas de protección. Luego, se colocaron las paredes del tanque, las cuales fueron unidas con pegamento de grado alimenticio Sista.

Colector solar parabólico

La construcción del colector solar parabólico se realizó después de la finalización de la estructura principal (ver Fase 7: Sistema estructural) ya que se necesitaba de la estructura base para poder instalar la lámina. Para preservar la función parabólica en la lámina reflectiva se utilizaron unas guías de MDF, las cuales fueron cortadas por medio de cortadora láser, buscando obtener la mayor precisión posible. Luego se ensambló la lámina a la estructura con uso de remaches como se puede ver en la Figura 38.

Figura 38: Remachado de lámina reflectiva.



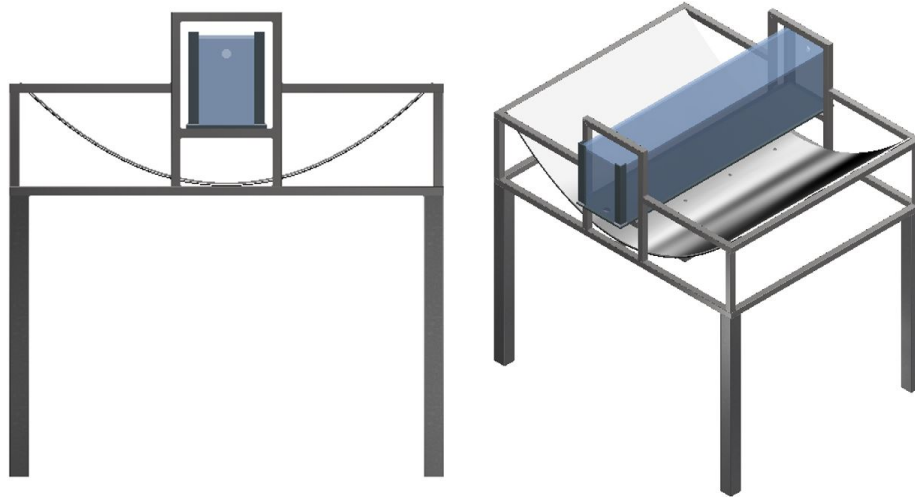
Fuente: Elaboración propia.

6.7. Fase 7: Sistema estructural

Para sostener el módulo de purificación se requería de una estructura capaz de soportar las cargas, y que contara un diseño capaz de acoplar el tanque de agua y el colector solar. Para cumplir con estos requisitos se diseñó la estructura que se observa en la Figura 39. Y a

partir de este diseño y selección de materiales se realizaron análisis estructurales, tomando en cuenta la carga del tanque de agua y del colector solar.

Figura 39: Diseño de la estructura base del módulo 2.



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Fuente: Elaboración propia. propia.

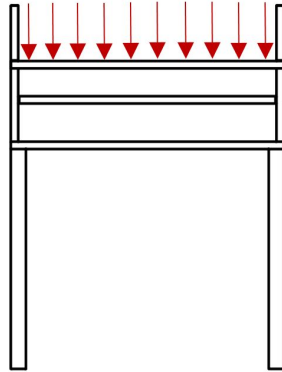
6.7.1. Diseño y selección de materiales

Como parte del diseño de la estructura se eligieron los materiales a utilizar para poder realizar los cálculos estructurales necesarios. Como se puede observar en la Figura 39, la estructura se diseñó con dos tamaños de perfiles diferentes, esto se decidió ya que las columnas base deben de soportar la mayor carga. A su vez, estas columnas deben brindar estabilidad al sistema por lo que se escogió perfil de 2x2 pulg² chapa 14, y perfil de 1x1 pulg² chapa 16 para la estructura superior.

6.7.2. Análisis de elementos finitos

Se determinó que el análisis estructural iniciaría por los puntos más críticos del sistema, con el fin de definir si el perfil estructural seleccionado es capaz de cumplir bajo la carga más alta. En la Figura 40 se representa la carga del tanque de agua sobre la estructura.

Figura 40: Carga sobre la estructura del módulo 2.

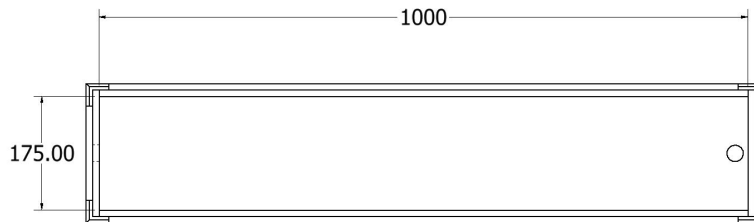


Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la magnitud de la carga se debe calcular el peso del tanque de purificación en su capacidad máxima. Para ello se sumó el peso del volumen de agua (ver Figura 41) y de los componentes del tanque (ver Figura 42).

Volumen de agua en capacidad máxima

Figura 41: Dimensiones internas del tanque de agua 2.



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

$$V_{agua} = (0.175m)(1.00m)(0.170m)$$

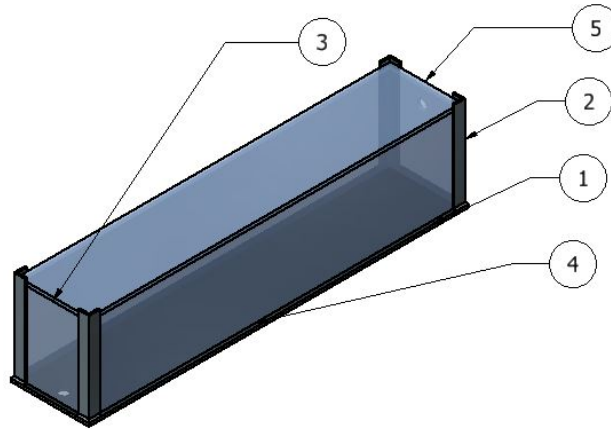
$$V_{agua} = 0.02975m^3$$

$$V_{agua} = 29,75L$$

asumiendo densidad del agua como 1 kg/L

$$W_{agua} = 29,75kg$$

Figura 42: Componentes del tanque 2.



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10: Calculo de peso del tanque de agua 2.

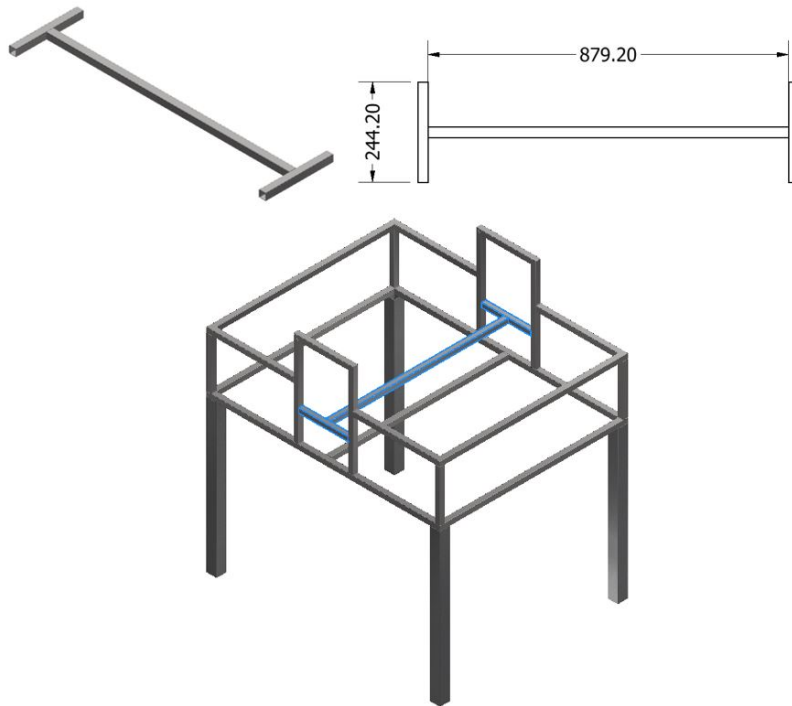
(1) Pieza	Cant.	Material	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Peso (kg)
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)			
1	1	Acero inox. 304	1040	215	8	1788.8	7.3	13.06
2	4	Acero inox. 304	250	30	5	618.75	7.3	4.52
3	2	Vidrio	230	195	8	717.6	2.2	1.58
4	2	Vidrio	1020	230	8	3753.6	2.2	8.26
5	1	Vidrio	1020	195	8	1591.2	2.2	3.5
							TOTAL	30.91

Como se ve en la Tabla 10, el peso del tanque de agua es de 30.91 kg, a este se le suma el peso del volumen de agua (29.75 kg) y se obtiene un peso total de 60.66 kg. Pero, para realizar los cálculos estructurales se redondeó **el peso a 65kg como el peso que debe ser capaz de soportar la estructura** de la Figura 43.

Sección a analizar

Dado que la viga horizontal transversal superior sostiene directamente el tanque de agua, se seleccionó la siguiente sección a analizar, ver Figura 43. Se decidió iniciar el análisis del sistema estructural con el apoyo del software ANSYS® de análisis de elementos finitos. Con el fin de corroborar el comportamiento de los esfuerzos sobre el sistema.

Figura 43: Sección a analizar.



Captura de pantalla de Autodesk reimpresa por cortesía de Autodesk, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

Contactos y soportes

Para obtener un análisis apegado a la realidad se deben agregar contactos y soportes dentro del sistema. El soporte fijo permite que el sistema se encuentre colocado sobre un punto evitando así que este se encuentre “flotando” en el espacio. Para ello se colocaron soportes fijos en la superficie inferior de las columnas de la base de la estructura. A su vez, se establecieron un total de 180 contactos tipo *Bonded*, ya que la totalidad de la estructura se encuentra unida por soldaduras, como se ejemplifica en la Figura 44.

Figura 44: Contacto Bonded.

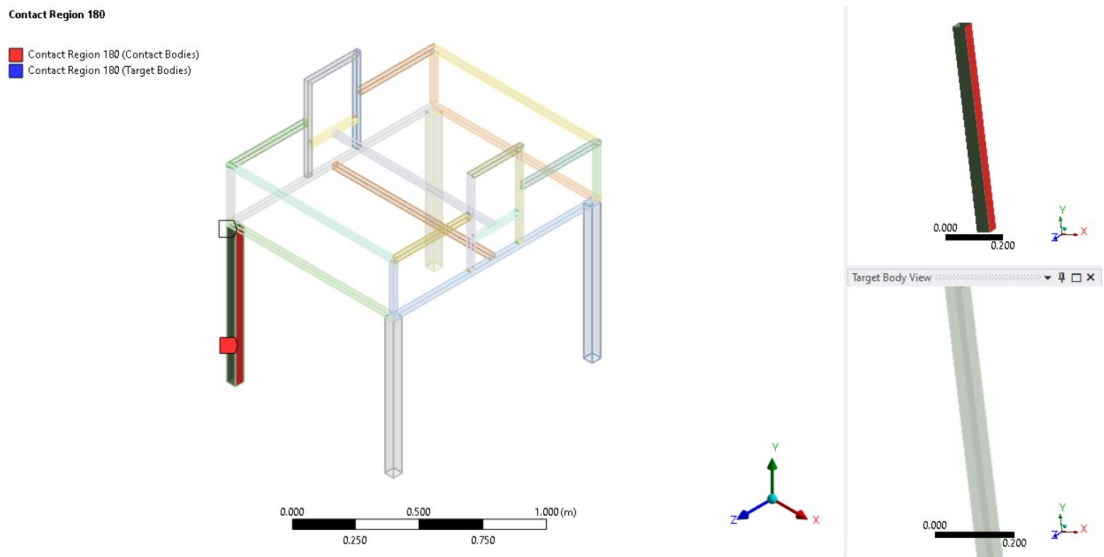


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS® , Inc.
Fuente: Elaboración propia.

Mallado

Se generó un mallado inicial, y para asegurar la buena calidad del mismo se agregó la funcionalidad de *Skewness* la cual desplegó el siguiente gráfico.

Figura 45: Gráfico de calidad del mallado inicial.
Mesh Metric: Skewness

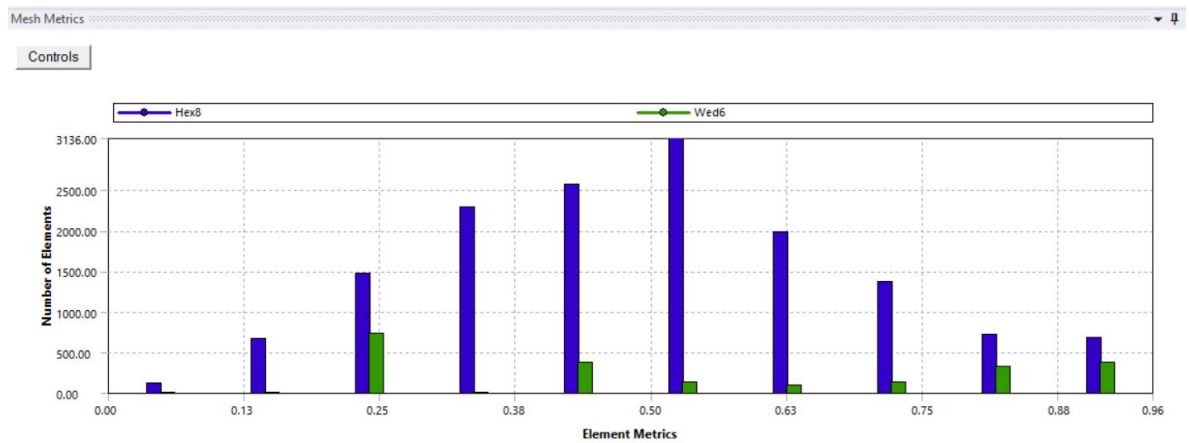


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS® , Inc.
Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver que el mallado de la estructura consiste de hexaedros (azul), para los cuales la calidad varía entre 0.0579 y 0.92. Ahora bien, para las soldaduras el mallado generado fue a base de prismas (verde) con una calidad variante entre 0.154 y 0.95. En promedio el

mallado generado por ANSYS® tiene una calidad de 0.49798, un valor es demasiado alto, ya que se busca que sea menor a 0.5. Por ello se procedió a mejorar el mallado, pues mientras más fino se obtendrán resultados más precisos.

Para ello se utilizó la función *Sizing*, en la cual se modificó el tamaño de los elementos del mallado a 10 mm. El resultado fue un mallado más fino como se puede ver en la Figura 46, y el promedio de la calidad mejoró considerablemente de 0.49798 a 0.32612.

Figura 46: Mallado fino

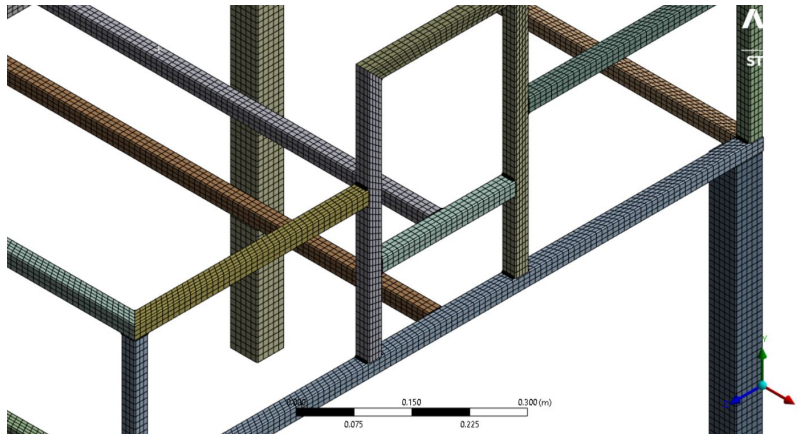


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS®, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

Fuerzas

Para agregar las fuerzas que actúan sobre el sistema se hizo uso de Force. Estas se colocaron sobre las tres vigas vistas en la Figura 47.

Figura 47: Fuerzas sobre el sistema.

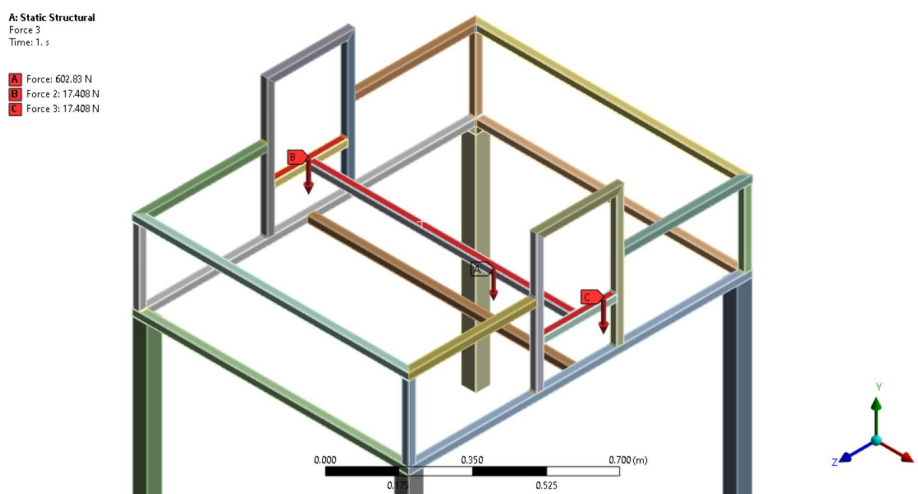


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS®, Inc.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

A continuación, se muestran los esfuerzos equivalentes sobre la estructura. Como era de esperarse, los valores máximos se encuentran en la sección seleccionada para el análisis, lo cual confirma que esa era la parte crítica del sistema (ver Figura 48).

Figura 48: Esfuerzo equivalente sobre estructura del módulo 2.

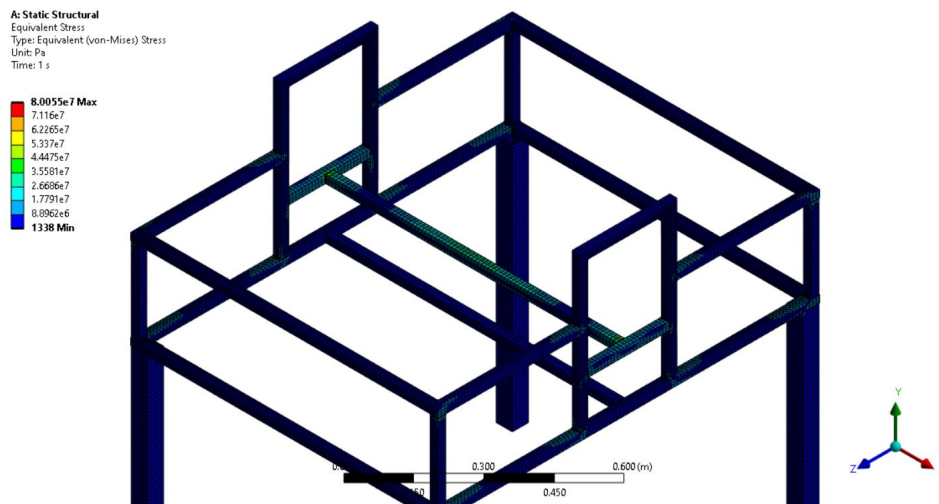


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS® , Inc.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la deformación total sobre la estructura, y como era de esperarse, la deformación máxima se dio al centro de la viga horizontal transversal, con un valor de 0.98 mm.

Figura 49: Deformación total.

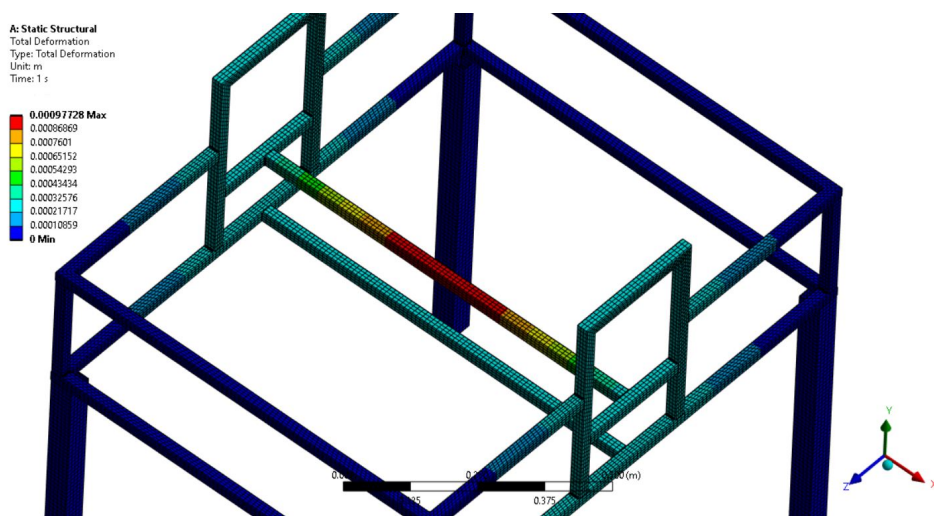


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS® , Inc.

Fuente: Elaboración propia.

Y luego tenemos el resultado del factor de seguridad, el cual se encuentra en un rango de entre 3.13 y 15, lo cual indica que la estructura y las uniones soldadas son capaces de soportar las cargas ejercidas.

Figura 50: Factor de seguridad.

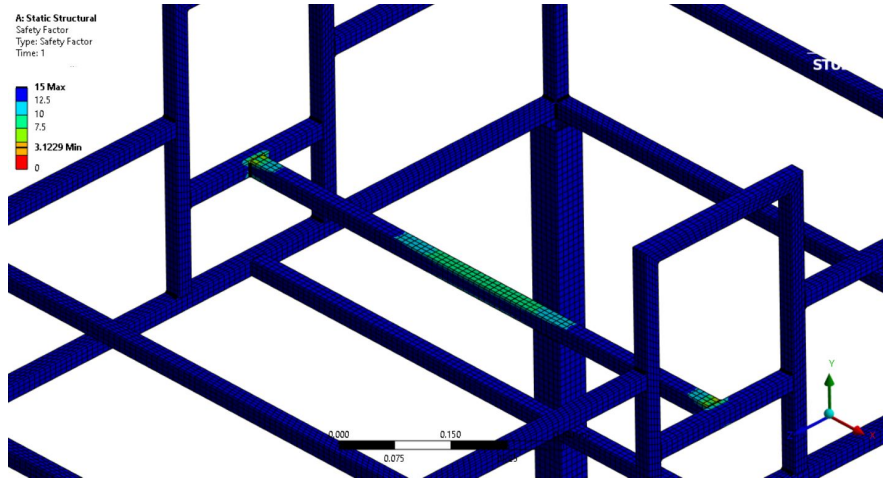


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS® , Inc.

Fuente: Elaboración propia.

En base a estos resultados se puede confirmar que la sección crítica de la estructura es la viga horizontal transversal superior, por lo que se proseguirá con cálculos estáticos para validar el diseño.

6.7.3. Cálculos

Continuando con el análisis estático estructural se decidió analizar la viga horizontal transversal como una viga doblemente empotrada para concluir si el diseño cumple con los requisitos.

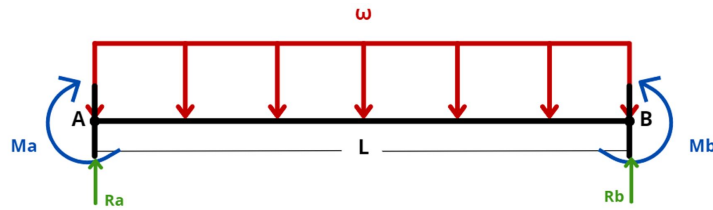
Cálculo de carga

Primero se tomó en cuenta que el peso del tanque (Cuadro 10) se distribuye uniformemente a lo largo de una longitud equivalente de $L+1$ (Ver figura 43). Y utilizando la ecuación (6) se determinó la carga sobre la estructura.

$$\omega = \frac{F}{L_{equiv}} \tag{9}$$

$$\omega = \frac{(65kg)(9.81m/s^2)}{1367.6mm} = 466.25N/m$$

Figura 51: Diagrama de momento flector.



Fuente: Elaboración propia.

Reacciones

Una viga doblamente empotrada es un sistema estáticamente indeterminable, por lo que se analizó a base de geometría del sistema. Dado que el sistema es simétrico, se utilizó la ecuación 7 para determinar las reacciones en A y B.

$$R_A = R_B = R = \frac{\omega L}{2} \quad (10)$$

$$R = \frac{(466.25\text{N/m})(0.8792\text{m})}{2} = 204.97\text{N}$$

Momento en extremos

$$M_E = \frac{\omega L^2}{12} \quad (11)$$

$$M_E = \frac{(466.25\text{N/m})(0.8792\text{m})^2}{12} = 30.03\text{Nm}$$

Momento flector máximo

$$M_{max} = \frac{\omega L^2}{24} \quad (12)$$

$$M_{max} = \frac{(466.25\text{N/m})(0.8792\text{m})^2}{24} = 15.02\text{Nm}$$

Deflexión máxima

Como se puede ver en la Figura 52, el momento de inercia para el perfil de acero de 1x1 pulg² es de 1.30786E-08 m⁴. Además, cuenta con un área transversal de 1.43E-04 m². A partir de estos datos se calculó la tensión y la deflexión máxima.

Figura 52: Momento de inercia de perfil de acero chapa 16 de 1x1 in².

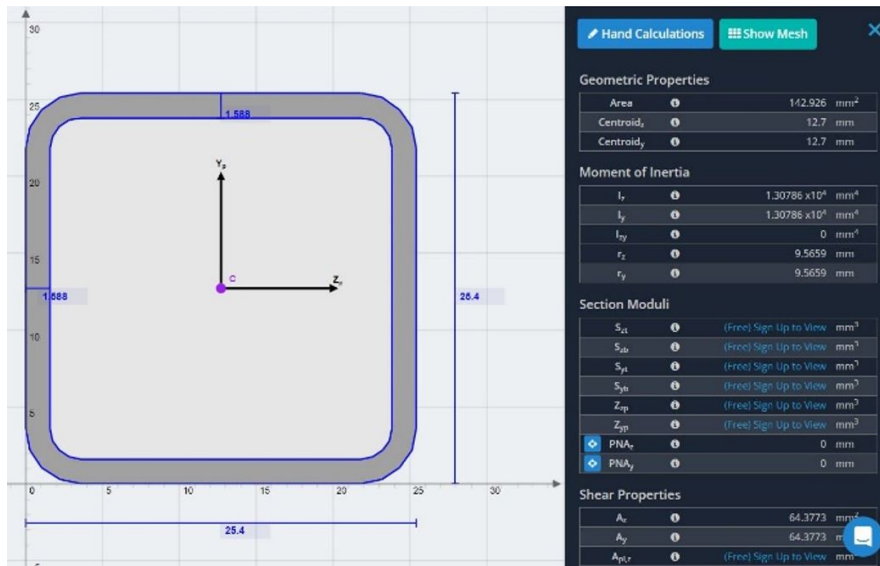


Imagen utilizada por cortesía de SkyCiv Engineering
Fuente: Elaboración propia.

$$Y_{max} = \frac{5\omega L^4}{384EI} \quad (13)$$

$$Y_{max} = \frac{5(466.25N/m)(0.8792m)^4}{384(2.1E11Pa)(1.3E-8m^4)}$$

$$Y_{max} = 1.30mm$$

Tensión, compresión máxima

$$\sigma = \frac{M_{max}c}{I} \quad (14)$$

$$\sigma = 14.58MPa$$

La tensión máxima ejercida sobre la viga es de 14.58 MPa, mientras que el perfil acero galvanizado seleccionado es capaz de soportar 317 MPa a compresión. En este punto se obtuvo un factor de seguridad de 21.75, por lo que no se consideró necesario analizar el resto de esfuerzos sobre la estructura dado que se confirmó nuevamente que este es el punto más crítico y cuenta con un factor de seguridad muy conservador.

Esfuerzo cortante puro

Para corroborar que la soldadura resista la carga se empleó el método de esfuerzo cortante máximo como criterio de falla.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (15)$$

$$\tau = \frac{(65kg)(9.81m/s^2)}{142.93mm^2}$$

$$\tau = 4.46MPa$$

Cálculo de factor de seguridad de soldadura

Como se puede ver en la sección 3 Construcción y ensamblaje, se empleó electrodo ECA E6013 (ver Figura 58), el cual presenta una resistencia de 427 MPa, y con el uso de la ecuación (13) se obtuvo el factor de seguridad de la soldadura.

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n} \quad (16)$$

$$n = \frac{427MPa}{2(4.48MPa)}$$

$$n = 47.85$$

Al ser este el punto crítico y presentar un factor de seguridad de 48, se concluyó que la soldadura cumpliría para el resto de la estructura. Y se procedió a realizar el último análisis, el cual consistió de la compresión máxima sobre el perfil estructural de 2x2 pulg².

Compresión máxima

El área transversal del perfil de acero de 2x2 pulg². es de 295.33 mm².

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (17)$$

$$\sigma = \frac{(130kg)(9.81m/s^2)}{295.33mm^2}$$

$$\sigma = 4.32MPa$$

En base a este resultado podemos concluir que el perfil de 2x2 pulg² cumple con los requisitos de diseño, ya que la resistencia a la compresión del perfil estructural seleccionado es de 317 MPa.

6.7.4. Construcción y ensamblaje

Para la construcción de la estructura se inició por medir, cortar y lijar los perfiles cuadrados de acero a las medidas establecidas, como se puede ver de la Figura 53 a la 56.

Figura 53: Medición de perfiles para la estructura.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54: Corte de perfiles para la estructura.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55: Perfiles cuadrados cortados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56: Lijado de perfiles cuadrados cortados.



Fuente: Elaboración propia.

Para la unión de la estructura se optó por utilizar soldadura con electrodo como método de unión. Esta elección se basó en versatilidad, accesibilidad, rentabilidad y resistencia de las uniones. Desde el punto de vista económico, la soldadura con electrodo demostró ser una elección rentable en comparación con otros métodos de soldadura más avanzados. Esto se tomó especialmente en cuenta debido a que el presupuesto del proyecto era limitado. Primero se realizaron puntos de soldadura como se puede observar en la Figura 57, y en términos de resistencia de la soldadura, se observó que la soldadura con electrodo proporcionaba uniones sólidas y duraderas.

Figura 57: Uniones iniciales de soldadura.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se observa el electrodo empleado, así como el equipo de soldadura utilizado en las Figuras 58 y 59 respectivamente.

Figura 58: Electrodo seleccionado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59: Equipo de soldadura utilizado



Fuente: Elaboración propia.

Para brindar mayor estabilidad a la estructura, se decidió soldar triángulos de lámina metálica a las uniones, como se puede observar en la Figura 60.

Figura 60: Soldaduras de refuerzo en estructura del módulo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Para brindar soporte al colector parabólico se colocó lámina metálica más gruesa para evitar que el colector se deformase con el tiempo. Esta lámina se puede ver en la Figura 61,

la cual fue doblada con el mismo método que el colector parabólico, usando una dobladora (Figura 62) y unas guías de base cortadas con láser para asegurar la forma parabólica requerida.

Figura 61: Lámina de acero utilizada para sostener el colector parabólico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 62: Dobladora utilizada para doblar la lámina reflectiva y las láminas de acero para el colector solar parabólico.



Fuente: Elaboración propia.

Para unir el colector parabólico a la estructura, se utilizaron remaches entre la lámina reflectiva y la lámina guía, así como se vio en la "Fase 6: sistema de purificación". A continuación, se observa el resultado final de la unión del colector solar parabólico a la estructura del módulo 2.

Figura 63: Colector solar parabólico sobre estructura del módulo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Y tras finalizar el ensamble del sistema estructural, este se cubrió con pintura anticorrosiva para protegerlo de la intemperie en el parque ecológico, ver Figura 64.

Figura 64: Aplicación de pintura anticorrosiva.



Fuente: Elaboración propia.

6.8. Fase 8: Sistema de tuberías

En esta sección se diseñó el sistema de tuberías necesario para el proyecto, y se realizó un análisis de flujo para obtener la carga de la bomba necesaria, permitiendo al encargado del módulo 3 finalizar la selección de bomba y realizar la instalación de las tuberías seleccionadas.

6.8.1. Selección de materiales

Para la red de tuberías se eligió utilizar material de PVC, como los accesorios que se observan en la Figura 65. Esta decisión se tomó por las siguientes razones: la resistencia a la corrosión dado que transporta agua potable, asegurando la seguridad del consumo humano al no corroerse con el tiempo; su durabilidad, con una vida útil de hasta 100 años, lo que minimiza los costos de mantenimiento y reemplazo a largo plazo; el costo, ya que es un material accesible según el presupuesto del proyecto; y la facilidad de instalación del PVC, que reduce tanto el tiempo como los costos de instalación al ser un material fácil de cortar, unir y conectar.

Figura 65: Accesorios de tubería de $\frac{3}{4}$ in implementados.



Fuente: Elaboración propia.

6.8.2. Diseño y cálculos

Para realizar los cálculos, primero se tomaron en cuenta los datos de la tubería implementada, las propiedades del agua y los requerimientos del sistema, los cuales son explicados a continuación y condensados en los Cuadros 11, 12 y 13.

Requerimientos

Para iniciar los cálculos de red de tuberías se debe asumir un caudal máximo y un caudal mínimo de trabajo de la bomba hidráulica, y para ello se decidió tomar como referencia bombas utilizadas para acuarios, ya que el tanque principal SODIS cuenta con una capacidad volumétrica de 29.75 litros, asemejándose a la capacidad de una pecera.

Se tomó como referencia una bomba HAILEA DS-1500 de Marine (s.f.), ya que su aplicación es para llenado de tanques de acuario de similar capacidad, trabaja a 120 voltios, y tiene una capacidad de flujo de 1650 L/h. Por lo que se asumió un caudal máximo de 1650 L/h (0.458 L/s). Por otro lado, se asumió un caudal mínimo de 0.25 L/s para garantizar un flujo continuo, ayudando a prevenir la acumulación de sedimentos y evitando problemas como cavitación.

A su vez, se asumió una pérdida de altura de 5 metros para tener en cuenta las posibles pérdidas de energía debido a la fricción del agua contra las paredes de las tuberías, accesorios y cualquier otro componente del sistema. Esta pérdida de altura garantiza que se mantenga una presión adecuada en todo el sistema y asegura un flujo constante y uniforme a lo largo de la red de tuberías. Por último, se debía asumir la altura. En este caso, el diseño del sistema mantiene el tanque 1 y el tanque 2 a la misma altura, por lo que al no haber elevación vertical, la altura asumida es de 0 metros.

Cuadro 11: Requerimientos del sistema de tuberías empleados para el cálculo.

Requerimientos	
Caudal máximo \dot{V} (L/s)	0.458 [1]
Caudal mínimo (L/s)	0.25
Pérdida asumida h_L (m)	5.0
Altura (m)	0.0

Fuente: [1] Marine, s.f.

Propiedades del Agua

De acuerdo con WeatherSpark (s.f.), la temperatura promedio en la ciudad de Guatemala es de 24.1°C, valor que se tomó en cuenta para obtener las propiedades del agua con el programa miniREFPROP®. REFPROP es un software desarrollado por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST), es una herramienta de utilidad para evaluar numéricamente las propiedades termodinámicas de sustancias puras, o mezclas de ellas, para la medición de flujo de fluidos (NIST, 2023).

Con el uso de este programa se obtuvo que la densidad del agua a 24.1°C es de 997.03 kg/m^3 , y su viscosidad dinámica, a esa misma temperatura, es de 0.00090948 kg/ms . A partir de la viscosidad dinámica μ y haciendo uso de la ecuación 18 se obtuvo la viscosidad cinemática ν (ver Cuadro 12).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{18}$$

$$\nu = \frac{0.00090948 \text{ kg/ms}}{997.03 \text{ kg/m}^3}$$

$$\nu = 0.00000091201 \text{ m}^2/\text{s}$$

Cuadro 12: Propiedades del agua empleadas para el cálculo.

Propiedades del agua	
Temperatura (°C)	24.1 [1]
Densidad ρ (kg/m ³)	997.03 [2]
Viscosidad μ (kg/ms)	0.00090948 [2]
Viscosidad ν (m ² /s)	0.0000091201

Fuentes: [1] WeatherSpark, s.f.

[2] NIST, 2023

Se obtuvo la viscosidad cinemática ν con el uso de la ecuación (18).

Datos de la tubería

Como se mencionó en la Sección 6.8.1, el material seleccionado para la tubería fue PVC. Este cuenta con una rugosidad de 0.0015 mm (Osorio, s.f.), la cual influye en las pérdidas de energía debido a la fricción del agua contra las paredes de la tubería.

Se estableció una longitud de la tubería de 3 metros, la cual representa la distancia total que debe recorrer el agua bombeada desde el tanque 1 al tanque 2. Conocer esta longitud es necesario para calcular las pérdidas de carga y determinar la bomba requerida para permitir el flujo a lo largo de la tubería.

Cuadro 13: Datos de la tubería empleados para el cálculo.

Datos de la tubería	
Material	PVC
Rugosidad ε (mm)	0.0015 [1]
Geometría	Circular
Longitud (m)	3.0

Fuente: [1] Osorio, s.f.

A partir de estos datos se pueden iniciar los cálculos siguientes de flujo en tuberías.

Estimación del diámetro

Para obtener un diámetro de tubería preliminar se usó la ecuación (19) de Swamee & Jain. Para que este diámetro sea aplicable debe de cumplir con las siguientes condiciones:

$$10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2}$$

$$5000 < Re < 3 \times 10^8$$

$$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{L\dot{V}^2}{gh_L} \right)^{4.75} + v\dot{V}^{9.4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad (19)$$

Donde,

Re es el número de Reynolds

ε es la rugosidad del material

D es el diámetro de la tubería

L es la longitud asumida

\dot{V} es el caudal máximo asumido

v es la viscosidad cinemática

g es la gravedad

h_L es la pérdida asumida

$$D = 0.66 \left[(1.5e^{-6}m)^{1.25} \left(\frac{(3m)(0.00046m^3/s)^2}{(9.81m/s^2)(5m)} \right)^{4.75} + (9.1e^{-7}m^2/s)(0.00046m^3/s)^{9.4} \left(\frac{(3m)}{(9.81m/s^2)(5m)} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = 0.0118 \text{ m}$$

$$D = 0.46 \text{ pulg}$$

Velocidad promedio

A partir del caudal y del diámetro aproximado se calculó la velocidad promedio, con la ecuación (20). Esta velocidad es aproximada, ya que el diámetro utilizado también es aproximado.

$$V_{prom} = \frac{\hat{V}}{\frac{\pi}{4}D^2} \quad (20)$$

Donde,

V_{prom} es la velocidad promedio

D es el diámetro aproximado

\hat{V} es el caudal ideal que en este caso será el mismo que el caudal máximo

$$V_{prom} = \frac{0.00046m^3/s}{\frac{\pi}{4}(0.0118m)^2}$$

$$V_{prom} = 4.20m/s$$

Número de Reynolds

Lo siguiente fue determinar el régimen del flujo. Si este cumple con las condiciones iniciales de la ecuación (21) de Smawee & Jain, entonces sí se puede tomar ese diámetro de referencia para la selección de uno disponible en el mercado.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V_{prom}D}{v} = \frac{\rho V_{prom}D}{\mu} \quad (21)$$

$$Re = \frac{(997.23 \text{ kg/m}^3)(4.20 \text{ m/s})(0.0118 \text{ m})}{0.00090948 \text{ kg/ms}}$$

$$Re = 54,249.26$$

El número de Reynolds obtenido indica que el flujo en este sistema es turbulento. Y para continuar se verificó que la aproximación de Swamee & Jain fuese correcta a partir de: $5000 < Re < 3 \times 10^8$. Al cumplir con este requisito, se prosigue al cálculo de rugosidad relativa.

Rugosidad relativa

Así como se corrobora si el Número de Reynolds se encuentra en el rango de la ecuación de Swamee-Jain, también se comprueba que la rugosidad relativa está en el rango requerido. De no ser así, no se puede usar esa aproximación y lo oportuno sería hacer iteraciones de los cálculos variando el valor del diámetro para hallar la mejor opción. En este caso la rugosidad relativa obtenida con la ecuación (22) estuvo dentro del rango, por lo que nuevamente la aproximación de Swamee & Jain fue correcta.

$$\text{Rugosidad relativa} = \varepsilon/D \quad (22)$$

$$\varepsilon/D = \frac{1.5e^{-6}m}{0.0118m}$$

$$\varepsilon/D = 1.27E - 04$$

$$10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2}$$

Es correcta la aproximación de Swamee & Jain

Selección del diámetro real

Tras confirmar la aproximación de diámetro, fue posible elegir la tubería comercial con diámetro más allegado al resultado obtenido. En la Figura 66 se encuentran los datos de tuberías de PVC cédula 40. Basándose en esta se determinó que el diámetro comercial adecuado sería de $\frac{1}{2}$ pulg.

Figura 66: Datos de tubería PVC cédula 40.

PVC Schedule 40							
Nominal Pipe Size	Outside Diameter	Minimum Wall Thickness	Nominal Inside Diameter	Maximum pressure	Maximum Temperature (no pressure)	Maximum Temperature (max pressure)	Maximum Flow (@ max pressure)
1/2	0.840	0.109	0.622	358	140 F / 60 C	100 F / 38 C	1,260
3/4	1.050	0.113	0.824	289	140 F / 60 C	100 F / 38 C	2160
1	1.315	0.133	1.049	270	140 F / 60 C	100 F / 38 C	3510
1, 1/4	1.660	0.140	1.380	221	140 F / 60 C	100 F / 38 C	5940
1, 1/2	1.900	0.145	1.610	198	140 F / 60 C	100 F / 38 C	7560
2	2.375	0.154	2.067	166	140 F / 60 C	100 F / 38 C	12,000
2, 1/2	2.875	0.203	2.469	182	140 F / 60 C	100 F / 38 C	17,550
3	3.50	0.216	3.068	158	140 F / 60 C	100 F / 38 C	25,650
4	4.500	0.237	4.026	133	140 F / 60 C	100 F / 38 C	42,000

Fuente: Ligon, 2021

El diámetro nominal actuó como referencia para la compra de la tubería y accesorios. Sin embargo, para continuar con los cálculos se empleó el diámetro interior real, el cual lo proporcionó la tabla.

Velocidad Real

Nuevamente con el uso de la ecuación (20) se procedió a calcular la velocidad, pero en este caso se empleó el valor del diámetro real de la tubería, el cual es de 0.622 pulgadas.

$$V_{real} = \frac{0.25 \frac{L}{s}}{\frac{\pi}{4} 0.622 \text{ pulg}}$$

$$V_{real} = 1.275 \text{ m/s}$$

Factor de Fricción

Para calcular las pérdidas de presión en las tuberías se requirió del factor de fricción, y para obtener este factor se debe de realizar una serie de iteraciones de la ecuación de Colebrook (20). Pero antes se debe calcular un factor de fricción aproximado inicial con la ecuación de Haaland (19), con el fin de tener un valor inicial no muy lejano al real el cual permita realizar iteraciones empleando la ecuación (20) y el método numérico de punto fijo.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{(Re)} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (23)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{(54,249.26)} + \left(\frac{(1.5e^{-6}m)/(0.622m)}{39.37} \right)^{1.11} \right]$$

$$f = 0.0203363$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (24)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{(1.5e^{-6}m)/(0.622m)}{39.37} + \frac{2.51}{(54,249.26)\sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0205235$$

Empleando la ecuación de Haaland se obtuvo un factor de fricción aproximado de 0.0203363, valor con el cual se realizaron iteraciones hasta obtener un factor de 0.0205235. A su vez se corroboró este valor con el uso del diagrama de Moody.

Pérdida de Presión

Se continuó con el cálculo de la pérdida de presión en el trayecto de la red de tubería, P_L , con la ecuación (25).

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \quad (25)$$

$$\Delta P_L = 0.0205235 \frac{3.0m}{0.0158m} \frac{(997.23kg/m^3)(1.275m/s)^2}{2}$$

$$\Delta P_L = 3.16 kPa$$

Luego, se calculó la pérdida ocasionada por los filtros a partir de la ecuación (26), obtenida por Shanghai Stable Filtration Systems Co.Ltd. (2019).

$$\Delta P_{filtro} = \left(\frac{\hat{V}}{C_v} \right) \quad (26)$$

Donde

\hat{V} corresponde al caudal en galones por minuto

C_v corresponde al coeficiente del filtro, el cual no es brindado por el fabricante del mismo, por lo que se asumió un valor de C_v de 20. Ya que, según SSFS Ltd. (2019), el valor del coeficiente de pérdida por filtros puede variar entre 1 y 20, y al no conocer el valor real, se optó por utilizar 20 para mantener un cálculo conservador.

$$\Delta P_{filtro} = \frac{14.520GPM}{20.0}$$

$$\Delta P_{filtro} = 0.53 PSI = 3.63 kPa$$

Pérdida mayor

A partir de la pérdida de presión calculada a través de la red de tubería, ΔP_L , y la ocasionada por el filtro de sedimentos, ΔP_{filtro} , se calculó la pérdida mayor a lo largo de la tubería, ΔP , con la ecuación (27).

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (27)$$

$$h_L = \frac{\Delta P_L + \Delta P_{filtro}}{\rho g}$$

$$h_L = \frac{(3.16 kPa + 3.63 kPa)}{(997.23 kg/m^3)(9.81 m/s^2)}$$

$$h_L = 0.000695m$$

Pérdidas menores

Luego, con la ecuación 28, se calcularon las pérdidas menores según los accesorios escogidos, así como la cantidad de cada uno.

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (28)$$

Donde

K_L es el coeficiente adimensional de resistencia que depende del elemento que produzca la pérdida de carga. De acuerdo con Engineeringtoolbox (2012), para un codo a 90° roscado, el coeficiente K_L es de 1.50; para una válvula completamente abierta, es de 0.05.

$$h_{L, \text{vlvula}} = K_{\text{vlvula}} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{L, \text{vlvula}} = 0.05 \frac{(1.275)^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{L, \text{vlvula}} = 0.004 \text{ m}$$

$$h_{L, \text{codos}} = K_{\text{codo}} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{L, \text{codos}} = 1.5 \frac{(1.275)^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$

Se multiplica por la cantidad de codos, en este caso, es 4.

$$h_{L, \text{codos}} = 0.497 \text{ m}$$

Pérdidas de carga real

La pérdida real a lo largo de la tubería, se obtuvo con la ecuación 29. Esta carga es la sumatoria de las pérdidas de carga mayores y menores más la longitud L de tubería a recorrer (ver Cuadro 13).

$$h_{L, \text{total}} = h_{L, \text{mayor}} + h_{L, \text{menor}} \quad (29)$$

$$h_{L, \text{total}} = h_{L, \text{mayor}} + h_{L, \text{vlvula}} + h_{L, \text{codos}} + L$$

$$h_{L, \text{total}} = (0.000695 \text{ m}) + (0.004 \text{ m}) + (0.497 \text{ m}) + (3.0 \text{ m})$$

$$h_{L, \text{total}} = 3.50 \text{ m}$$

Carga necesaria

Lo siguiente fue calcular la carga agregada necesaria por la bomba h_B , también conocida como la cabeza, con la ecuación (30).

$$h_B = \alpha \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (30)$$

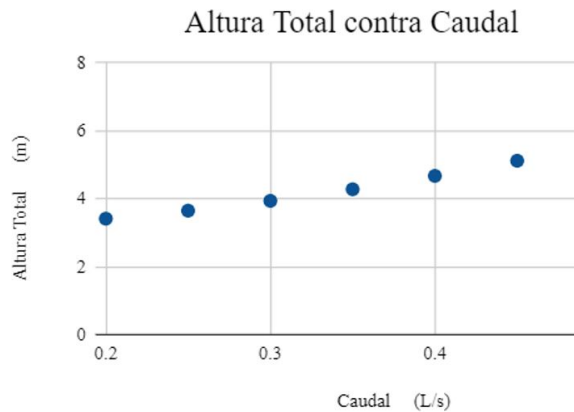
Donde α corresponde al factor de corrección de la energía cinética el cual, de acuerdo con Cengel y Cimbala (2016), se recomienda usar como 1.05 si el flujo es turbulento totalmente desarrollado en un tubo.

$$h_B = (1.05) \frac{(1.275 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + 3.50 \text{ m}$$

$$h_B = 3.60 \text{ m}$$

La carga necesaria agregada de la bomba debe de ser de mínimo 3.60 metros para poder cumplir con el requisito del diseño de tuberías. A continuación, se puede observar el desempeño necesario de la bomba, en donde varía altura según el caudal necesario.

Figura 67: Desempeño necesario de la bomba.



Fuente: Elaboración propia.

6.9. Fase 9: Sistema eléctrico

En esta fase se desarrolló el sistema eléctrico, el cual tenía como principal objetivo automatizar el proceso de purificación del agua para que los usuarios puedan disponer de agua limpia sin necesidad de realizar el proceso de llenado y exposición al sol. A su vez, en este proyecto se decidió mejorar la eficiencia de desinfección tomando en cuenta parámetros adicionales además del tiempo de exposición como lo hace el método SODIS tradicional.

El sistema de control adoptado fue un sistema de lazo cerrado, también conocido como sistema de retroalimentación. Este enfoque permite ajustar el comportamiento del sistema en función de la información obtenida sobre su estado actual. Utiliza sensores para medir variables relevantes y a través de comparaciones con los valores deseados toma decisiones para corregir cualquier desviación. Esto garantiza una mayor adaptabilidad a condiciones cambiantes y una mejor resistencia a perturbaciones externas.

Para automatizar el proceso se definieron los requisitos necesarios que el sistema eléctrico debía cumplir para el proceso. Primero que nada se estableció la necesidad de una bomba hidráulica, que fuese capaz de suministrar agua al tanque de desinfección. Luego se identificó que del tanque 2 al tanque 3 (ver Figura 19) se necesitaba de otro método de desplazamiento de agua, pero en este caso se decidió aprovechar un cambio de altura entre ambos tanques para que el agua se movilizara por acción de la gravedad, en lugar de implementar otra bomba.

Como se mencionó previamente, el sistema de control utilizado se retroalimenta con información procedente de sensores. En este caso se incorporaron sensores de nivel de agua a los tres tanques con el fin de indicar la disponibilidad de cada uno, permitiendo que se accionen las salidas del sistema, como lo son la electroválvula y la bomba hidráulica.

6.9.1. Módulo lógico

Un Controlador Lógico Programable, más conocido PLC (*Programmable Logic Controller*) es una computadora que se utiliza en la ingeniería de automatización para las industrias, es decir, para el control de la maquinaria o de operaciones mecánicas. Se decidió trabajar con LOGO! de SIEMENS ya que este permite automatizar el proceso de encendido y apagado de componentes eléctricos en base a los pulsos o información brindada por entradas eléctricas. Como se mencionó previamente, SIEMENS patrocinó el proyecto proporcionando un LOGO! 8 24RCE display PS 24VUC, 8DI 24VUC/4DO relay, Ethernet interface 0 6ED1052-1HB08-0BA0.

6.9.2. Componentes

El sistema de control se compone del módulo lógico LOGO! de SIEMENS (ver Figura 20), el cual posee 5 entradas, dos de ellas analógicas y tres digitales; así como 2 salidas digitales. A continuación se tabulan las entradas y salidas del sistema de control desarrollado.

6.9.3. Programación

La programación del LOGO! se desarrolló en el software proporcionado por SIEMENS, esta es una programación por bloques como se puede ver en la Figura 68. Para desarrollar la programación, primero es importante definir las condiciones del sistema.

A. Para que la bomba pueda trabajar se deben cumplir las siguientes condiciones.

Cuadro 14: Entradas y salidas del módulo lógico.

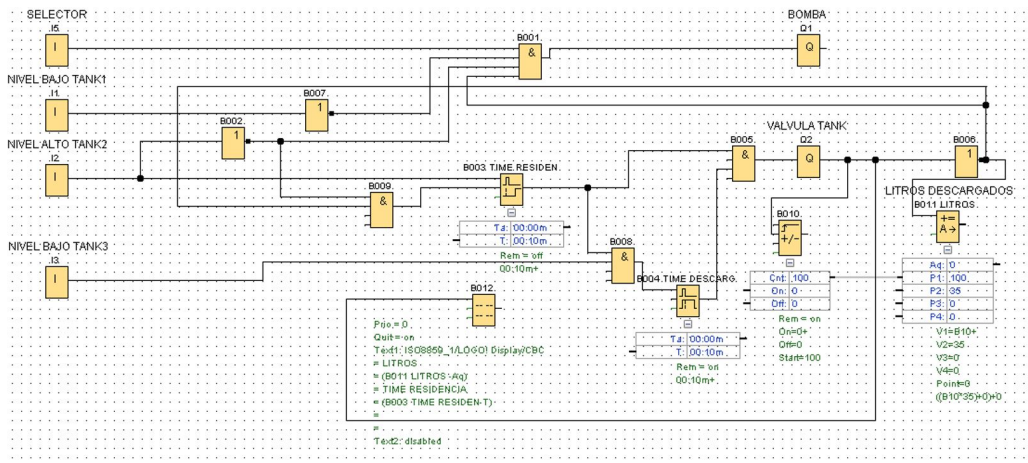
Entradas	Salidas
Sensor de nivel 1	Accionador de bomba
Sensor de nivel 2	Electroválvula
Sensor de nivel 3	
Sensor de temperatura	
Voltaje del panel	

Fuente: Elaboración propia.

1. El tanque número 1 debe de contar con agua
 2. El tanque número 2 debe de estar vacío
- B. Para que la electroválvula se accione se deben cumplir con las siguientes condiciones.
1. El tanque número 3 debe de tener disponibilidad
 2. El tanque número 2 debe de estar lleno
 3. La condición de horas de exposición al sol debe ser cumplida

Para que se dé inicio al proceso, el primer requisito del sistema eléctrico es que el tanque 1 cuente con agua suficiente para abastecer el tanque número 2. Por lo que, si el sensor de nivel 1 se encuentra inactivo, la bomba hidráulica no se accionará. Si este requisito se cumple, la bomba puede accionarse solo si el tanque de agua 2 se encuentra vacío, por lo que el sensor de nivel 2 debe encontrarse inactivo. Al cumplirse ambas condiciones, el sistema puede dar inicio al proceso de llenado, el cual toma aproximadamente 3 minutos. En el momento en que el sensor de nivel 2 sea activado, la bomba se apagará e iniciará el conteo de tiempo.

Figura 68: Programación de LOGO! versión 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se analizó previamente, el método SODIS recomienda un mínimo de 6 horas de exposición al sol para garantizar la desinfección del agua. Esto debido a que durante el

día existen variaciones en las condiciones climáticas y no se puede saber exactamente la incidencia de radiación sobre el agua, por lo que 6 horas (o 2 días en casos de días nublados) es una medida de tiempo que funciona como el mínimo requerido en casos en que se desconozca la irradiación exacta.

6.9.4. Instalación eléctrica

Luego de finalizar la programación, se desarrolló el circuito y la instalación eléctrica. Se inició por instalar el panel de la Figura 69 para proteger el sistema eléctrico. Luego se continuó con el cableado de los componentes vistos en la Tabla 14, ver Figura 70. Del mismo modo, se añadió un relé para controlar cargas eléctricas de mayor potencia o corriente, ver Figura 71. Y un fusible que corte el flujo de corriente eléctrica en caso de una sobrecarga o cortocircuito.

Figura 69: Panel eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 70: Cableado a sensor de nivel de agua en tanque 2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 71: Instalación del LOGO! y circuito eléctrico.



Fuente: Elaboración propia..

6.10. Fase 10: Pruebas e implementación

En esta fase se realizó el ensamble del sistema completo, uniendo los 3 módulos que lo componen, como se puede ver en la Figura 72. Luego de ensamblar el sistema se realizaron pruebas de funcionamiento. Se verificó que los tres módulos trabajaran en unísono cumpliendo con su objetivo inicial. Para ello el encargado del módulo 3 realizó la instalación de tuberías, y de la alimentación eléctrica proveniente del panel solar para el módulo eléctrico. Luego el sistema fue finalmente instalado en el Parque Ecológico la Asunción, ver Figuras 73 y 74.

Figura 72: Ensamble preliminar del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 73: Instalación del módulo 2 en Parque Ecológico la Asunción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74: Implementación inicial del proyecto en Parque Ecológico La Asunción.



Fuente: Elaboración propia.

6.11. Fase 11: Continuación y mejoras

Como última etapa, se brindó continuación al proyecto. Luego de 12 meses desde su instalación inicial, el proyecto fue encontrado con falta de mantenimiento y no era apto para desinfección de agua. Por lo que se llevaron a cabo las mejoras presentadas a continuación.

Como primer paso, se evaluó el estado de los tanques de agua. Se observó que a estos no se les dio el debido mantenimiento, como se puede ver en la Figura 75.

Figura 75: Falta de mantenimiento a tanques de agua.

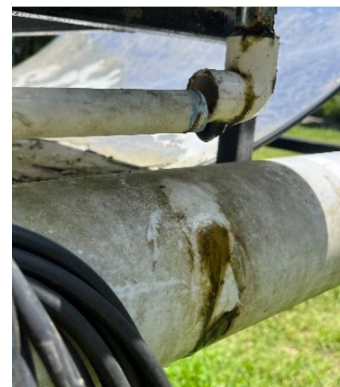
(a) Tanque 1



(b) Tanque 2



(c) Tanque 3



Fuente: Elaboración propia.

Por lo que estos tanques se vaciaron, lavaron y desinfectaron (ver Figura 76), del mismo modo se desinstaló el tanque 3 (Figura 75c). Ya que este se encontraba en un estado deplorable y no permitía cumplir con el resto de requisitos del sistema eléctrico, por ejemplo la colocación del sensor 3 y la salida eficiente de agua a través de la electroválvula. Por ello, se optó por colocar un tanque con capacidad de 55 litros, para que fuese capaz de almacenar más de un lote de agua purificada, y que contase con una tapadera que permitiera el acceso para la limpieza necesaria, este se puede ver en la Figura 80.

Figura 76: Tanques desinfectados.

(a) Tanque 2



Fuente: Elaboración propia.

(b) Tanque 3



El filtro de agua colocado también se encontraba en mal estado como se puede ver en la Figura 77, por lo que se cambió a un filtro de alto grado de carbón activado.

Figura 77: Sustitución de filtro de agua.

(a) Filtro reemplazado



Fuente: Elaboración propia.

(b) Filtro nuevo



Luego, se decidió realizar mejoras estructurales, ya que la estructura comenzaba a oxidarse como se puede ver en la Figura 78. Esto pudo deberse al empleo de pintura no apta para intemperie en el módulo 1.

Figura 78: Secciones oxidadas de la estructura.

(a) Módulo 2.



(b) Módulo 1.



(c) Módulo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Por ello se decidió lijar la estructura para remover el óxido superficial y suciedad, y luego aplicar pintura anticorrosiva ideal para intemperie sobre toda la estructura, como se puede ver en la Figura 79, tanto del módulo 1 como del módulo 2.

Figura 79: Aplicación de pintura anticorrosiva.



Fuente: Elaboración propia.

A nivel estructural, también se decidió agregar una estructura extra capaz de sostener el módulo 2 y el tanque 3 (Figura 80). Esta estructura quedó inconclusa en el módulo 1. A pesar de no formar parte del alcance del módulo 2, fue desarrollada en este módulo, ya que afecta directamente la eficiencia del sistema.

Figura 80: Estructura extra para soporte del módulo 2 y tanque 3.



Fuente: Elaboración propia.

En la misma línea del seguimiento y las mejoras, se identificó que en la electroválvula no estaba permitido el paso del agua purificada de manera ideal. Esto puede atribuirse a la pérdida de carga por el diámetro de la tubería de la válvula. Por lo tanto, se decidió cambiarla a una válvula solenoide de $\frac{3}{4}$ de pulgada (Figura 81) ya que los accesorios son una de las mayores fuentes de pérdida de carga. Tras esta modificación, el tiempo de vaciado total del tanque SODIS hacia el tanque 3 fue de 28 minutos.

Figura 81: Electroválvula solenoide de $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Fuente: Elaboración propia.

Para mejorar la eficiencia del sistema se decidió implementar un módulo de temperatura, ver Figura 82, el cual genera un pulso cuando llega a 50°C, pues como se vio previamente esta temperatura es suficiente para obtener una buena eliminación de virus y esporas bacterianas. En base a esta nueva condición de temperatura también se puede controlar la descarga del agua del tanque 2 al tanque 3. Por lo que, ahora si el tiempo de exposición o la temperatura necesaria se cumplen se puede abrir la electroválvula.

Figura 82: Módulo de temperatura.

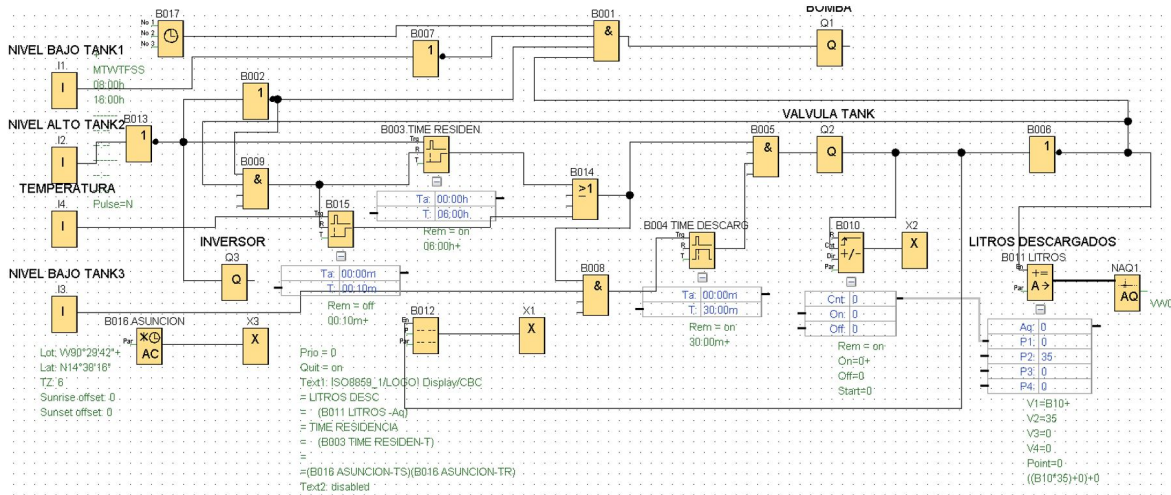


Fuente: Elaboración propia.

Este control de temperatura implementado es de 110V, por lo que fue necesario colocar un inversor de voltaje al circuito. Este inversor funciona únicamente cuando el sensor de nivel alto de agua está activo y cuando hay horas efectivas de sol. No se mantiene activo todo el tiempo ya que consume mucha energía. Para poder tener control sobre las horas efectivas del sol durante el día, se añadió una condición de zona a la programación. La cual indica al sistema eléctrico en qué momentos se pueden contar las horas de exposición del agua, para evitar que el sistema trabaje durante la noche y se genere una descarga de agua

sin desinfectar. La programación y funcionamiento con estas nuevas condiciones se puede observar en la Figura 83 y 84.

Figura 83: Programación de LOGO! (versión final).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84: Funcionamiento de programación final en LOGO!.



Fuente: Elaboración propia.

Tras finalizar las fases de diseño, desarrollo, implementación y mejoras, por fin se concluyó el proyecto. En la Figura 85 y 86 se observan los resultados finales del sistema completo.

Figura 85: Resultado final del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 86: Resultado final del módulo 2

(a) Tanque 2



(b) Tanque 2 y 3



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar una validación inicial del sistema se llevaron a cabo las pruebas de calidad de agua en base a los cinco parámetros establecidos: temperatura, pH, cloro residual, turbidez e indicador de bacterias presentes. Los parámetros: turbiedad y conteo de bacterias presentes se analizaron en un laboratorio certificado. Mientras que las pruebas de los parámetros: cloro residual y pH se realizaron con el equipo patrocinado por Hanna® Instruments. Para la toma de las muestras se siguió el protocolo de toma de muestras de agua (Ver Anexo 11.6).

Estos parámetros fueron comparados con los rangos admisibles d el Acuerdo Ministerial No. 523-2013 del Ministro De Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala y de la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 006 de agua para consumo humano.

Temperatura

El uso del colector solar parabólico provocó un aumento en la temperatura alcanzada en el agua del tanque 2, como se puede ver en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Comparación del incremento de temperatura con y sin colector solar.

Hora	Sin Colector	Con colector	Porcentaje de incremento
9:00	18.4°C	28.6°C	55.43 %
12:00	23.2°C	47.8°C	106.03 %

Fuente: Elaboración propia.

Potencial de hidrógeno, pH

De acuerdo con el Artículo 6 del Acuerdo Ministerial No. 523-2013 del Ministro De Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (Anexo 11.4), el agua se considera apta

para consumo humano cuando el valor del parámetro de calidad “potencial de hidrógeno” se encuentra entre 6.5 y 8.5 unidades de pH. Y como se puede ver en la Figura 87, el pH del agua tras pasar por el sistema de purificación fue de 7.1, manteniéndose dentro del rango admisible del Ministerio de Salud Pública del país.

Figura 87: Resultado de pH (medido con equipo Hanna® Instruments).



Fuente: Elaboración propia.

Cloro residual

Según el Artículo 7 del Acuerdo Ministerial No. 523-2013, el agua es considerada apta para consumo humano cuando la concentración de cloro residual libre se encuentra entre 0.5 mg/L y 1 mg/L. En la Figura 88 se observa que el nivel de cloro residual en el agua desinfectada fue inferior a 0.5 mg/L. Es importante señalar que la prueba de cloro residual libre es relevante únicamente si el agua ha pasado por un proceso de cloración. En este caso, el sistema no contaba con cloración adicional más allá del cloro añadido al agua entubada por la Municipalidad de Guatemala. Sin embargo, aunque el resultado de este parámetro no permite confirmar ni descartar que el agua sea apta para el consumo, es importante destacar que el nivel de cloro detectado está por debajo del límite máximo aceptable de 1 mg/L. Por lo tanto, se puede concluir que la cantidad de cloro presente en el agua no representa un riesgo para la salud.

Figura 88: Resultado de cloro residual libre (medido con equipo Hanna® Instruments).



Fuente: Elaboración propia.


Turbiedad y Bacterias presentes

El último parámetro fisicoquímico a evaluar era la turbidez del agua, seguido por el parámetro microbiológico establecido de bacterias presentes. Para validar la calidad del agua en base a estos parámetros se tomaron muestras siguiendo el **Protocolo de toma de muestras de agua** (ver Anexo 11.6) tras el proceso de desinfección SODIS y se llevaron al laboratorio para su análisis (ver Figura 89).

El resultado del conteo de bacterias fue <1.0 NMP/100mL, cumpliendo con el estándar microbiológico establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 006 de agua potable (Ver Anexo 11.5). Además, se registró una turbiedad de 0.20 NTU, encontrándose dentro de los límites aceptables según la misma normativa.

Figura 89: Resultados de laboratorio de agua tras su desinfección.

14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



Soluciones Analíticas
INFORME DE ANALISIS DE MICROBIOLOGIA
ACREDITADO ISO 17025
OGA-LE-031-09

Lotificación El Relicario, Lote 6
Carretera al Pacífico, Km. 91
Santa Lucía Cotz, Escuintla,
PBX: 7882-2428
sedes@solucionesanaliticas.com

Cliente : ANA LUCIA MORATAYA (14524)
Dirección : CIUDAD
Persona Responsable : ANA LUCIA MORATAYA
Número de orden : 121069
Código de muestra: 21.04.16.04.08
Fecha de ingreso : 16/04/2024
Fecha del informe : 17/04/2024
Asesor : RECEPCION INDUSTRIALES

Referencia Cliente : AGUA DE GRIFO

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 16/04/2024	Fecha de inicio del análisis	: 17/04/2024
Hora de Muestreo	: 14:30	Hora del análisis	: 10:20
Tipo de Muestra	: AGUA	Hora de Ingreso	: 15:41:01
Coordenadas	: NO INDICA	Temperatura de ingreso	: 9.8 °C
Recipiente	: BOLSA ESTERIL	Resp. de Muestreo	: CLIENTE
Apariencia	: CLARA	Temp. de almacenamiento	: 2.5±1.5 °C
Procedencia	PARQUE ECOLOGICO, LA ASUCION, ZONA 5.		

RESULTADOS

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	* VALOR PERMITIDO	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
** CONTEO DE BACTERIAS AEROBIAS	UFC/mL	< 10	---	< 10	SM 9215 B
COLIFORMES TOTALES	NMP/ 100 mL	<1.0	< 1.0	< 1.0	SM 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP/ 100 mL	<1.0	< 1.0	< 1.0	SM 9223 B

UFC: Unidades Formadoras de Colonia.
NMP: Número más probable.

* Según Norma Guatemalteca COGUANOR (NTG 29001) para análisis microbiológico de agua potable.

Metodología con base en:

Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO Asesor : RECEPCION INDUSTRIALES

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 16/04/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 16/04/2024
Hora de Muestreo	: 14:30	Hora de Ingreso	: 15:40:53
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 14.3
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: PARQUE ECOLOGICO, LA ASUCION, ZONA 5.	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
TURBIEDAD	NTU	0.20	0.01	SM 2130 B

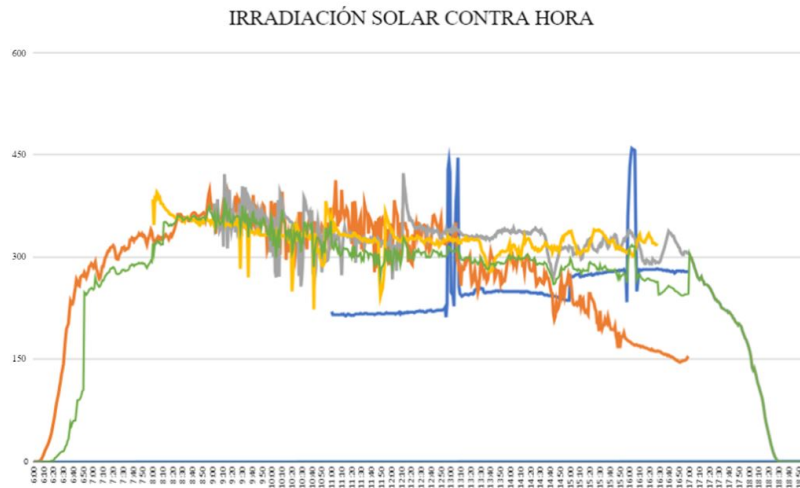
Metodología basada en:
Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (Eds.). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23 ed.). Washington, Nueva York, Estados Unidos: APHA, AWWA, WEF.

Fuente: Soluciones Analíticas S.A.

Dosis UV

Como se ha mencionado previamente, se requiere una irradiación de 555 Wh/m^2 durante 6 horas para que el método SODIS sea eficiente. Para asegurar que el sistema esté expuesto a esta dosis mínima, se realizaron mediciones de irradiancia solar durante 5 días en el mes de septiembre. Como se puede ver en la Figura 90, la irradiancia se mantuvo entre 300 y 400 W/m^2 desde las 6:00 hasta las 17:30 horas.

Figura 90: Irradiación en Parque Ecológico la Asunción durante 5 días.



Fuente: Elaboración propia.

Se calculó el promedio de irradiancia durante estos días y la cantidad de horas promedio en las que la irradiancia era mayor a 250 W/m^2 , con el fin de obtener la irradiación total incidente sobre el sistema. El promedio de irradiancia resultó ser de 343.60 W/m^2 durante 8.67 horas de exposición. Se utilizó nuevamente la ecuación 2 para obtener la dosis de radiación sobre el agua.

$$UV\text{dosage} = (343.60\text{W/m}^2)(8.67\text{h})$$

$$UV\text{dosage} = 2977.01\text{Wh/m}^2$$

Con base en estos resultados, se puede concluir que la irradiación solar incidente es suficiente para la eficacia del método SODIS.

Cuadro 16: Cumplimiento de requisitos.

Código	Descripción	Cumple
R-SP-01	El agua al salir del sistema debe ser aprobada por un laboratorio en base a la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 de Agua para consumo humano.	Sí se cumplió
R-SP-02	Se debe realizar pruebas de calidad de agua para verificar el saneamiento de la misma, en base a 5 parámetros: pH, turbidez, cloro residual, temperatura y bacterias presentes.	Sí se cumplió
R-SP-03	Los componentes en contacto con el agua deben de ser de un material de grado alimenticio.	Sí se cumplió
R-SP-04	El filtro de agua debe ser capaz de reducir el nivel de turbidez de la misma en más del 90 %	No se cumplió
R-SP-05	Emplear vidrio anti reflejante en el tanque SODIS para permitir la penetración de los rayos ultravioleta.	Sí se cumplió
R-SP-06	El depósito del sistema SODIS debe ser capaz de almacenar 0.3 metros cúbicos de agua.	Sí se cumplió
R-SP-07	Utilizar pegamentos de grado alimenticio para el ensamble del tanque SODIS para preservar la pureza del agua.	Sí se cumplió
R-SP-08	El tanque SODIS se debe poder dismantelar para realizar la limpieza del depósito.	Sí se cumplió
R-SP-09	Determinar el tiempo de exposición al sol del agua ya sea con el uso de un sensor de calidad o con un tiempo mínimo determinado, o según la radiación solar.	Sí se cumplió
R-SP-10	Los tanques deben aislarse debidamente evitando que ingresen en él partículas contaminantes mientras este se encuentre cerrado y funcionando.	Sí se cumplió
R-SS-11	La estructura metálica base del sistema SODIS debe ser capaz de soportar la carga total del agua a máxima capacidad y demás componentes.	Sí se cumplió
R-SS-12	La estructura principal del módulo 2 debe soportar el peso del tanque 2 a máxima capacidad, y demás componentes como el colector solar y tuberías.	Sí se cumplió
R-SS-13	Los componentes de este módulo deben de poder ensamblarse en el parque sin necesidad de una soldadora eléctrica.	Sí se cumplió
R-ST-14	Todo el sistema de tuberías y tanque debe estar conectado y aislado para evitar recontaminación del agua.	Sí se cumplió
R-ST-15	A partir del sistema SODIS, el flujo del agua se debe dar únicamente por acción de la gravedad.	Sí se cumplió
R-ST-16	Determinar la carga necesaria de la bomba para distribuir agua al tanque 2 desde el tanque 1.	Sí se cumplió
R-SE-17	El material de la tubería debe ser anticorrosivo y económico.	Sí se cumplió
R-SE-18	El sistema eléctrico debe de funcionar al mismo voltaje que el proporcionado por el módulo de energía.	Sí se cumplió
R-SE-19	Los cables deben encontrarse correctamente aislados para soportar las condiciones de intemperie.	Sí se cumplió
R-SE-20	El sistema de control debe de ser retroalimentado por medio de sensores.	Sí se cumplió
R-SE-21	Los sensores deben ser capaces de proporcionar señales digitales o analógicas al PLC seleccionado	Sí se cumplió

Cuadro 16: Cumplimiento de requisitos.

Código	Descripción	Cumple
R-SE-22	Se deben instalar breakers y/o relés para proteger el módulo lógico en casos de sobre carga o disparos de corriente.	Sí se cumplió
R-SE-23	Se debe instalar un panel eléctrico para proteger el sistema de control.	Sí se cumplió
R-SE-24	El módulo lógico debe contar con salidas a relé que soporten corrientes de 10 A.	Sí se cumplió
R-SE-25	Implementar sensores de nivel de agua en los 3 depósitos del sistema.	Sí se cumplió
R-SE-26	Integrar una electroválvula en la salida del depósito del sistema SODIS para automatizar el vaciado.	Sí se cumplió
R-SE-27	El sensor de nivel de agua del primer tanque debe indicar el nivel mínimo de agua necesario para accionar la bomba, evitando así que esta se quemara.	Sí se cumplió
R-SE-28	El sensor de nivel de agua del segundo tanque (SODIS) debe indicar el nivel máximo de agua, para evitar que se sobre llene.	Sí se cumplió
R-SE-29	El sensor de nivel de agua del tercer tanque debe indicar el nivel mínimo de agua, para permitir que el sistema se accione y que la electroválvula permita el paso de agua.	Sí se cumplió
R-G-30	El tiempo de exposición a la radiación solar debe de considerarse únicamente durante horas de sol efectivas durante el día.	Sí se cumplió
R-G-31	El sistema debe ser de un largo y ancho máximo de 7.40 y 3.50 metros respectivamente.	Sí se cumplió
R-G-32	Todos los componentes del sistema deben ser capaz de soportar condiciones de intemperie.	Sí se cumplió
R-G-33	Debe trasladarse por partes desde el parqueo del parque ecológico La Asunción hasta la ubicación seleccionada.	Sí se cumplió
R-G-34	El sistema no debe presentar partes filosas que puedan herir a alguien.	Sí se cumplió
R-G-35	El sistema debe de ensamblarse en el parque sin necesidad de soldadura extra.	Sí se cumplió

Fuente: Elaboración propia.

Como se discutió con anterioridad, el requisito **R-SP-01** (ver Cuadro 16) se cumplió. Las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas realizadas sobre muestras de agua resultante del sistema cumplieron con la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 de agua para consumo humano, y con el acuerdo Ministerial No. 523-2013 del Ministro de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala. Sin embargo, el sistema no puede ser acreditado como apto para distribuir agua potable con estas pruebas. Es necesario llevar acabo diversas pruebas fisicoquímicas y microbiológicas (así como pruebas más específicas de metales pesados) bimensualmente durante un año, en las que el 100 % de las muestras cumplan al 100 % los requisitos del MSPAS. Tras finalizar el procedimiento requerido por el MSPAS es posible certificar el sistema de purificación, pero esto no es parte del alcance de este trabajo.

Y, de los otros 34 requisitos planteados, no se cumplió con el requisito **R-SP-04** (ver Cuadro 16). El cual indica que el filtro de agua debía ser capaz de reducir el nivel de turbidez de la misma en más del 90 %. Sí se implementó un filtro de sedimentos al sistema, como se puede ver en la Figura 77. Sin embargo, no se puede comprobar que la turbidez del agua haya reducido en un 90 % ya que no se tienen datos de la turbidez inicial.

1. Las pruebas realizadas sobre las muestras de agua desinfectada y analizada demostraron que cumplen con los parámetros físico-químicos y microbiológicos establecidos por la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 006 y el Acuerdo Ministerial No. 523-2013 del MSPAS. Se encontró que el nivel de cloro residual fue inferior a 0.5 mg/L (debajo del límite máximo admisible de 1 mg/L); el pH, de 7.1 (manteniéndose dentro del rango de 6.5 a 8.5 unidades); el conteo de bacterias presentes, inferior a 1.0 NMP/100mL; y la turbidez, de 0.20 NTU (todos dentro de los límites aceptables para el consumo humano). Sin embargo, para certificar el sistema de purificación como apto para la distribución de agua potable, se requiere realizar pruebas adicionales, incluyendo pruebas bimensuales durante un año para garantizar el cumplimiento continuo de los estándares de calidad del MSPAS. Estas pruebas adicionales son esenciales para la certificación, pero están fuera del alcance de este trabajo.
2. Las mediciones realizadas durante cinco días en septiembre confirmaron que la irradiancia solar promedio se mantuvo entre 300 y 400 W/m² desde las 6:00 hasta las 17:30 horas. El promedio de irradiancia fue de 343.60 W/m² durante 8.67 horas de exposición, resultando en una dosis total de radiación de 2977 Wh/m². Estos resultados indican que la irradiación solar incidente es suficiente para la eficacia del método SODIS, cumpliendo con el requisito necesario de 555 Wh/m² para la purificación del agua mediante este método.
3. Se diseñó y construyó un tanque de agua utilizando vidrio antirreflejante y acero inoxidable para optimizar la exposición del agua a los rayos UV. Este tanque tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 0.02975 m³ (29.75 L). Comparado con el método SODIS tradicional, en botellas PET de 600 mL, el tanque desarrollado tiene una capacidad 50 veces mayor, lo que aumentó significativamente la escala del proceso de purificación de agua.
4. Se diseñó e implementó un colector solar parabólico, utilizando una lámina reflectiva caracterizada por la función $y = \frac{1}{960}x^2$, con el punto focal ubicado en el centro del tanque a una distancia de 240 mm desde el vértice. Con lo anterior, se incrementó la temperatura del agua de 23.2°C a 47.8°C.

5. Se diseñó e implementó un sistema eléctrico conformado por un PLC retroalimentado por tres sensores de nivel y un sensor de temperatura, el cual automatiza el proceso de llenado y vaciado del sistema de purificación. El tanque 2 se llenó en aproximadamente tres minutos al accionar una bomba hidráulica y vació su contenido en el tanque 3 en 28 minutos al accionar la electroválvula, tras finalizar el tiempo mínimo requerido de exposición al sol.

6. El sistema de tuberías, el sistema estructural y el sistema eléctrico cumplen con todos los requisitos establecidos de funcionalidad, seguridad, y desempeño.

1. Se recomienda realizar las pruebas de agua necesarias para asegurar la fiabilidad de los resultados del sistema que permitan llegar a conclusiones válidas. Esto se puede realizar siguiendo las indicaciones del Ministerio de Salud para certificar el sistema como apto para consumo humano.
2. Se recomienda mantener el área del colector solar libre de componentes que generen sombra sobre él para una mayor eficiencia.
3. Se recomienda que el ángulo de inclinación del colector solar esté diseñado de manera que maximice la exposición al sol durante la mayor parte del día. Puede variar según la ubicación geográfica y la estación del año. Un colector solar bien diseñado seguirá el movimiento del sol durante el día para mantener el punto focal en el contenedor de agua.
4. Se recomienda buscar alternativas para sellar de manera más adecuada/hermética el tanque, evitando la recontaminación por sedimentos.
5. Se recomienda brindar mantenimiento constante con base en el manual de mantenimiento propuesto (Anexo 11.7).
6. Debido a que la irradiación solar no es constante durante el año, se recomienda incorporar un sistema de medición de irradiación incidente, similar al del proyecto con Arduino, con el fin de mejorar su eficiencia.
7. Se recomienda añadir un sistema de cloración para mantener el agua más segura contra riesgos de re-contaminación. Si esto llega a realizarse, también se recomienda verificar que el cloro residual libre se mantenga dentro del rango admisible por el Ministerio de Salud.

- Baggini, S. P. (2020, julio). Enterobacterias (Parte 3). <https://bagginis.blogspot.com/2020/07/enterobacterias-parte-3.html>
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2016, mayo). *Mecanica de fluidos Fundamentos y Aplicaciones* (1.^a ed.). https://www.academia.edu/25669790/Mecanica_de_Fluidos_Fundamentos_y_Aplicaciones_Yunus_Cengel_y_John_Cimbala_Primer_Edicion
- de Seguridad e Higiene en el Trabajo, I. N. (2012). Entamoeba histolytica. <https://www.insst.es/documents/94886/354041/Entamoeba+histolytica+2016.pdf/2eb89214-8e9b-4ccd-b392-a8eb95eb0940>
- de-Hoyos, C., & Alonso, M. (2017). ABSORCIÓN DE LA LUZ. <https://aulaestudiolagosanabria.info/absorcion-de-la-luz/>
- Department of Microbiology, M. S. H. (2007). Parasitology: Protozoa: Giardia lamblia. <https://eportal.mountsinai.ca/Microbiology//pig/protozoa4.shtml>
- Derouin, S. (2018, febrero). Satellites Predict a Cholera Outbreak Weeks in Advance. <https://www.scientificamerican.com/article/satellites-predict-a-cholera-outbreak-weeks-in-advance/>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013, abril). *Solar Engineering of Thermal Processes*. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Engineeringtoolbox. (2012, abril). Pipe and Tube System Components - Minor (Dynamic) Loss Coefficients. https://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d_626.html
- for Environmental Science Technology (EAWAG), S. F. I., & Water Sanitation in Developing Countries (SANDEC), a. (2002, octubre). *SOLAR WATER DISINFECTION A GUIDE FOR THE APPLICATION OF SODIS. Water Sanitation in Developing Countries*. (inf. téc.). https://ec.europa.eu/echo/files/evaluation/watsan2005/annex_files/SKAT/SKAT1%20-Solar%20disinfection%20of%20water/Manual%20-%20solar%20disinfection%20of%20water%20-%20SODIS.pdf
- Health, K. (2015, marzo). Rotavirus, la causa más común de diarrea grave en neonatos y niños pequeños. <https://faros.hsjdbcn.org/es/articulo/rotavirus-causa-mas-comun-diarrea-grave-neonatos-ninos>
- Johnston, R. (s.f.-a). 1.3 Water-borne pathogens. <https://www.coursera.org/learn/water-treatment/lecture/11C20/1-3-water-borne-pathogens>
- Johnston, R. (s.f.-b). 3.2 Ultraviolet radiation. <https://www.coursera.org/learn/water-treatment/lecture/vTs2m/3-2-ultraviolet-radiation>
- LightHouse, P. (2023). Solar path calculator. <https://www2.pvlighthouse.com.au/calculators/solar%20path%20calculator/solar%20path%20calculator.aspx>
- Ligon, M. (2021, julio). PVC Piping Dimension Chart for Sch 40 amp; Sch 80. <https://www.commercial-industrial-supply.com/resource-center/pvc-pipe-and-fittings-dimensions/>

- Ltd., S. S. F. S. C. (2019). Self-cleaning filter, basket filter crushing calculation selection. <http://www.stablefilter.com/theory/175.html>
- Marine, F. N. (s.f.). HAILEA DS-1500 Low Water Level Pump (1650 L/H). <https://www.freshmarine.com/products/hailea-ds-1000-low-water-level-pump-1290-l-h-copy>
- Mateo, M., Samson, I., & Echarri, R. (2016, julio). *Simulación de un Colector para Refrigerador Solar por Adsorción* [Tesis doctoral]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30030.48963>
- McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H.-J., Du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., & Fernandez-Ibañez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. *Journal of hazardous materials*, 235-236, 29-46. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.053>
- Medical, C. C. (2020). E. coli Infection. <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/16638-e-coli-infection>
- Medina, A. (s.f.). PBDISEÑO DE VIDRIO.pdf. <https://es.scribd.com/document/276989668/PBDISEÑO-DE-VIDRIO-pdf>
- News, A. (2015, junio). CDC Warns of Pool Parasite This Summer. <https://abcnews.go.com/Health/cdc-warns-pool-parasite-summer/story?id=32060444>
- NIST. (2023, noviembre). Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP): Version 9.1. <https://www.nist.gov/srd/refprop>
- Osorio. (s.f.). *Capítulo 3. Tuberías de PVC y Polietileno PAD*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/osorio_e_fj/capitulo3.pdf
- Sciortino, A., & Ravikumar, R. (2010). Chapter 2 - WATER QUALITY MONITORING, STANDARDS AND TREATMENT. <https://www.fao.org/3/X5624E/x5624e05.htm#2.2%20testing%20procedures>
- SoftWaterFiltration. (s.f.). Water Softener and Water Filter Comparison Table. <https://www.softwaterfiltration.com/comparison/>
- Spuhler, D., & Meierhofer, R. (s.f.). Desinfección solar (método SoDis). <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/manejo-seguro-en-el-hogar/desinfecci%C3%B3n-solar-%28m%C3%A9todo-sodis%29>
- Ubomba-Jaswa, E., Fernández-Ibañez, P., Navntoft, C., Polo-López, M. I., & McGuigan, K. G. (2010). Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for household use. *Journal of chemical technology and biotechnology/Journal of chemical technology biotechnology*, 85(8), 1028-1037. <https://doi.org/10.1002/jctb.2398>
- WeatherSpark. (s.f.). El clima y el tiempo en Guatemala por mes, temperatura media. <https://es.weatherspark.com/countries/GT>
- Wiley, J., Hoboken., I., & MWH. (2006). *Water Treatment Principles and Design*. 2nd Edition, - References - Scientific Research Publishing. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=1327435>
- Wypych, G. (2015, enero). *Handbook of UV Degradation and Stabilization* (Second Edition). <https://doi.org/10.1016/b978-1-895198-86-7.50005-x>

11.1. Carta SIEMENS®

Guatemala, 21 de mayo del 2021

Señores

SIEMENS Guatemala

Estimados Señores,

En nombre del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala les escribimos por este medio para presentarles la siguiente solicitud.

Actualmente nos encontramos trabajando en un proyecto de graduación con orientación social conocido como GuatePotable, el cual consiste en la construcción e implementación de un sistema purificador de agua a partir de rayos ultravioleta provenientes del sol. Para el funcionamiento del proyecto se necesita implementar un sistema de control para que se automatice el proceso de purificación, por ello se requiere de la instalación de un módulo lógico, como lo es el LOGO! 12 RCE de Siemens.

Les comentamos que el año pasado nuestro equipo participó en un concurso de Proyectos de Desarrollo Sostenible organizado por la Municipalidad de Guatemala, ganando el 2do. lugar. El premio consistió en Q7,500.00 en efectivo para el desarrollo y construcción del proyecto. Este monto debe ser utilizado en su totalidad para el proyecto, por lo que no se puede optar a obtener más fondos monetarios para su construcción y desarrollo. Sin embargo, tras realizar un presupuesto se concluyó que el monto brindado no será suficiente. Esto debido a que se requiere de otros dispositivos tales como paneles solares, bombas centrífugas, filtros de agua, tuberías, materiales de construcción, entre otros.

A su vez, la Municipalidad de Guatemala otorgó, como parte del apoyo brindado, un espacio en el cual implementar el proyecto, ubicado en el Parque Ecológico la Asunción, zona 5. GuatePotable tendrá exposición en este parque ecológico y puede llegar a ser replicado más adelante. Este parque es un ambiente recreativo abierto a todo público, y tiene como principales objetivos concientizar a la población sobre la importancia de la preservación de los recursos naturales, y dar a conocer el indispensable rol que desempeñan las especies de flora y fauna del país.

El Parque Ecológico la Asunción presenta una afluencia semanal de 1,022 personas, incluyendo mujeres, hombres y niños. Quienes disfrutan de los ambientes del parque, como lo son las canchas deportivas, los juegos para niños, las churrasqueras y los senderos cubiertos de información sobre la flora y fauna presentes. El proyecto será ubicado en una zona estratégica del parque, colocándose en medio de las canchas deportivas y los juegos para niños, brindándole así a los visitantes un espacio donde rehidratarse con el agua purificada. A su vez, como parte de la construcción del proyecto, se añadirán paneles informativos frente a este, explicando la importancia del recurso hídrico, las formas en las que se puede purificar el agua, y una breve explicación del proyecto y su impacto social. Estos paneles informativos son además el lugar perfecto para dar a conocer a los entes que hicieron posible GuatePotable.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito, queremos plantear a la empresa SIEMENS Guatemala la posibilidad de ser uno de los patrocinadores del proyecto. El patrocinio solicitado consiste en el aporte de un **LOGO! 12 RCE**, un módulo de señal analógica para LOGO!, un panel de contención para LOGO! y un dispositivo de protección de amperaje (aprox. 0.8A) para el LOGO! en donación.

En agradecimiento a su apoyo, colocaremos en nuestro panel informativo un agradecimiento especial a la compañía SIEMENS Guatemala por su indispensable apoyo en la realización de este proyecto, junto al logo de la empresa y alguna otra información que ustedes deseen.

Muchísimas gracias de antemano por su atención y apoyo.

Deseándole éxitos en sus labores diarias me suscribo atentamente.



Ana Lucía Morataya Urizar
Representante Equipo Guatepotable

Vo. Bo. Ing. Victor Hugo Ayerdi
Director de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecánica Industrial
Departamento de Ingeniería Mecánica

11.2. Carta HANNA® Instruments

Guatemala, 23 de febrero del 2021

Señores

Hanna Instruments Guatemala,

Estimados Señores,

Mi nombre es **Ana Lucía Morataya Urízar**, me identifico con el número de DPI **3011986910101**, y soy estudiante de 5to. año de Ingeniería Mecánica en la Universidad del Valle de Guatemala. Les escribo por este medio para presentarles la siguiente solicitud.

Actualmente estoy trabajando en mi proyecto de graduación junto a dos compañeros más, conocido como GuatePotable, el cual consiste en la construcción e implementación de un sistema purificador de agua a partir de rayos ultravioleta provenientes del sol. Para el funcionamiento del proyecto necesitamos corroborar su eficacia, por lo cual debemos realizar las pruebas de calidad de agua respectivas, como lo son el pH, la turbidez, la temperatura, la cantidad de cloro presente, y el oxígeno disuelto, o de ser posible, la presencia de bacterias.

Les comento que el año pasado participamos en un concurso de Proyectos de Desarrollo Sostenible organizado por la Municipalidad de Guatemala, ganando el 2do. lugar. El premio consistió en Q7,500.00 en efectivo para el desarrollo y construcción de Guatepotable. Este monto debe ser utilizado en su totalidad para el proyecto, por lo que no podemos optar a obtener más fondos monetarios para su construcción y desarrollo. Sin embargo, tras realizar nuestro presupuesto concluimos que el monto brindado no será suficiente. Esto debido a que requerimos de otros dispositivos tales como paneles solares, bombas centrífugas, filtros, PLCs, tuberías, material de construcción, entre otros.

A su vez, la Municipalidad de Guatemala nos otorgó, como parte del apoyo brindado, un espacio en el cual implementar el proyecto, ubicado en el Parque Ecológico la Asunción, zona 5. La idea inicial del proyecto es poder implementarlo en escuelas o asentamientos, pues la población en estos sectores tienen limitado el acceso a agua potable. No obstante, debido a las limitantes de la pandemia no podíamos cumplir con este objetivo, por lo que GuatePotable tendrá exposición en este parque ecológico y puede llegar a ser replicado más adelante. Este parque es un ambiente recreativo abierto a todo público, y tiene como principales objetivos concientizar a la población sobre la importancia de la preservación de los recursos naturales, y dar a conocer el indispensable rol que desempeñan las especies de flora y fauna del país.

El Parque Ecológico la Asunción presenta una afluencia semanal de 1022 personas, incluyendo mujeres, hombres y niños. Quienes disfrutan de los ambientes del parque, como lo son las chanchas, los juegos, las churrasqueras y los senderos cubiertos de información sobre la flora y fauna presentes. Nuestro proyecto será ubicado en una zona estratégica del parque, colocándose en medio de las canchas deportivas y los juegos para niños, brindándole así a los visitantes un espacio donde rehidratarse con nuestra agua purificada. A su vez, como parte de la construcción del proyecto, se añadirán paneles informativos frente a este, explicando la importancia del recurso hídrico, las formas en las que se puede purificar el agua, y una breve explicación del proyecto y su impacto social. Estos paneles informativos son además el lugar perfecto para dar a conocer a los entes que hicieron posible Guatepotable.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito, queremos plantear a la empresa **Hanna Instruments Guatemala la posibilidad de ser el patrocinador de nuestro proyecto, GuatePotable**. Con su apoyo podremos asegurar que el agua sea correctamente purificada y así poder mostrar la importancia del recurso hídrico y las formas de purificar agua, de una forma práctica y didáctica a los guatemaltecos. El patrocinio solicitado consistiría en el aporte de un **medidor de pH HI98100** y un **kit de pruebas para cloro libre HI3831F**, en donación para poder llevar a cabo adecuadamente el proyecto. Estos dos equipos que estamos solicitando podrán medir tres de los cinco parámetros previamente mencionados. Nosotros, como agradecimiento de tan valiosa ayuda, colocaremos en nuestro panel informativo un agradecimiento especial a la compañía Hanna Instruments por su indispensable apoyo en la realización de este proyecto, junto a su logo y alguna otra información que ustedes deseen.

Considero pertinente reiterar lo importante que es esta ayuda para nuestro proyecto. A su vez, cabe mencionar que como parte del mantenimiento que el parque deberá brindar al proyecto incluyen pruebas recurrentes de la calidad del agua. Por lo que los reactivos y accesorios necesarios para realizar estas pruebas continuarán siendo adquiridos por el parque posteriormente, asegurándole a la empresa compras recurrentes de los mismos.

Muchísimas gracias de antemano por su apoyo y atención.

Deseándole éxitos en sus labores diarias me suscribo atentamente,



Ana Lucía Morataya Urizar

GUATEPOTABLE

11.3. Acero inoxidable 304

Mechanical Property Specification (single values are minima except as noted)

Grade	Tensile Strength (MPa) min	Yield Strength 0.2% Proof (MPa) min	Elongation (% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
304	515	205	40	92	201
304L	485	170	40	92	201
304H	515	205	40	92	201

304H also has a requirement for a grain size of ASTM No 7 or coarser.

Physical Properties

(typical values in the annealed condition)

Grade	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Coefficient of Thermal Expansion			Thermal Conductivity		Specific Heat (J/kg.K) 0-100°C	Electrical Resistivity (nΩ.m)
			0-100°C (µm/m/°C)	0-315°C (µm/m/°C)	0-538°C (µm/m/°C)	at 100°C (W/m.K)	at 500°C (W/m.K)		
304/L/H	7900	193	17.2	17.8	18.4	16.3	21.5	500	720

11.4. Acuerdo Ministerial

ACUERDO MINISTERIAL No. 523-2013

Guatemala, 3 de octubre de 2013.

EL MINISTRO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL

CONSIDERANDO:

Que la Constitución Política de la República de Guatemala establece que, el estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico; se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. Que todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles; su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social;

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con el Código de Salud, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social establecerá las normas vinculadas a la administración, construcción y mantenimiento de los servicios de agua potable para consumo humano, vigilando en coordinación con las Municipalidades y la comunidad organizada, la calidad del servicio y del agua de todos los abastos para uso humano, sean estos públicos o privados;

CONSIDERANDO:

Que por medio del Acuerdo Gubernativo Número 113-2009, se emitió el Reglamento de Normas Sanitarias para la Administración, Construcción, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano; el que establece que en la ausencia de la Norma Guatemalteca Obligatoria de especificaciones COGUANOR NGO 29001, 1ª. Revisión; "Agua Potable. Especificaciones", el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, debe establecer las especificaciones para la vigilancia y control de la calidad del agua. Que mediante Acuerdo Gubernativo Número 83-2013, se aprobó, entre otras, la norma COGUANOR NTG 29001 "Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones", por lo que procede emitir el Acuerdo Ministerial de observancia general, que establece el Manual de Especificaciones para la Vigilancia y el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, en el marco de las acciones pertinentes para la prevención y control de las enfermedades causadas por microorganismos patógenos, sustancias químicas y toxinas naturales, transmitidas a través del agua;

POR TANTO:

En el ejercicio de las funciones y con fundamento en los Artículos 97 y 194, literales a) y f) de la Constitución Política de la República de Guatemala; 27 literal m) del Decreto Número 114-97, Ley del Organismo Ejecutivo; 86 del Decreto Número 90-97, Código de Salud, ambos del Congreso de la República y 16 del Acuerdo Gubernativo Número 113-2009, Reglamento de Normas Sanitarias para la Administración, Construcción, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano;

ACUERDA:

Emitir el siguiente,

"MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA VIGILANCIA Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO"

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Objeto. El presente Manual de Especificaciones para la Vigilancia y el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, en adelante Manual, tiene como objeto establecer las especificaciones técnicas que se deben aplicar, para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano en la República de Guatemala.

Artículo 2. Competencia. Le corresponde hacer cumplir las disposiciones del presente Manual, al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Artículo 3. Norma de referencia. Para efectos de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, se establece como norma de referencia la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones”. La interpretación de la norma se debe realizar conforme a lo dispuesto en este Manual.

Artículo 4. Ámbito de aplicación. La aplicación del presente Manual se extiende a todo sistema de abastecimiento de agua para consumo humano a nivel nacional. Para tal efecto, los términos “agua potable” y “agua apta para consumo humano” se consideran como sinónimos.

Artículo 5. Sistemas urbanos y rurales. Para efectos de la aplicación del presente Manual, se dividirá a los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano en sistemas urbanos y sistemas rurales; tomando como base las formas de ordenamiento territorial dispuestas por el Código Municipal, y el Censo Nacional XI de Población y VI de Habitación del Instituto Nacional de Estadística.

Se considerarán como sistemas urbanos, aquellos que abastezcan a los siguientes sitios poblados:

- a) Cabeceras municipales;
- b) Aldeas y caseríos;
- c) Otras formas de ordenamiento territorial que cuenten con más de 2,000 habitantes, siempre y cuando el 51% o más de los hogares disponga de alumbrado con energía eléctrica y abastecimiento domiciliario de agua por tubería (chorro) dentro de las viviendas, independiente de su denominación como paraje, cantón, barrio, zona, colonia, lotificación o parcelamiento.

Consecuentemente, los demás sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, se considerarán como sistemas rurales.

CAPÍTULO II ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

Artículo 6. Potencial de hidrógeno. El agua será considerada apta para consumo humano cuando el valor del parámetro de calidad “potencial de hidrógeno” se encuentre entre seis punto cinco (6.5) y ocho punto cinco (8.5) unidades de pH. El valor de la medición debe ajustarse a una temperatura de referencia de veinticinco grados Celsius (25°C).

Artículo 7. Cloro residual libre. En el caso del parámetro de calidad “cloro residual libre”, el agua será considerada apta para consumo humano cuando la concentración se encuentre entre cero punto cinco miligramos por litro (0.5 mg/L) y un miligramo por litro (1 mg/L). En situaciones de emergencia, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social podrá modificar la consideración anterior; con base en las consideraciones técnicas y las particularidades de cada situación, en función de garantizar la prevención y control de las enfermedades transmitidas a través del agua.

Artículo 8. Hierro total. En el caso del parámetro de calidad “hierro total”, se establece como recomendación, un valor máximo de dos miligramos por litro (2 mg/L).

Artículo 9. Aspectos radiológicos. En el caso de la categoría “aspectos radiológicos” de la norma de referencia, el agua será considerada apta para consumo humano cuando el valor estimado de la dosis efectiva se encuentre por debajo de cero punto uno microsieverts por año (0.1 mSv/año). En todo caso, habrá de realizarse estudios específicos cuando el valor de “radioactividad alfa total” sobrepase cero punto cinco becquerels por litro (0.5 Bq/L); o bien, la “radioactividad beta total” exceda un valor de uno punto cero becquerels por litro (1.0 Bq/L). Al realizarse un análisis profundo, deberá usarse como referencia los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud, para cada radionúclido.

Artículo 10. Límites máximos permisibles. Para todos los demás parámetros de calidad, deberá interpretarse que el agua es apta para consumo humano cuando el valor de la concentración no exceda el establecido como “límite máximo permisible” en la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.”

CAPÍTULO III VIGILANCIA Y CONTROL

Artículo 11. Vigilancia de cloro residual libre. La frecuencia con que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social deberá efectuar la vigilancia del parámetro “cloro residual libre”, en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, es la siguiente:

- a) Para los sistemas urbanos, al menos una vez por día.
- b) Para los sistemas rurales, al menos una vez por semana.

Artículo 12. Vigilancia microbiológica. La frecuencia con que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social deberá efectuar la vigilancia de los parámetros “coliformes totales” y “Escherichia coli”, en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, es la siguiente:

- a) Para sistemas urbanos que abastezcan a más de cien mil (100,000) habitantes, al menos una vez al día.
- b) Para los sistemas urbanos que abastezcan menos de cien mil (100,000) habitantes; debe consultarse la siguiente tabla:

Habitantes abastecidos	Muestras por mes	Habitantes abastecidos	Muestras por mes
1 – 5000	1	50001 – 55000	11
5001 – 10000	2	55001 – 60000	12
10001 – 15000	3	60001 – 65000	13
15001 – 20000	4	65001 – 70000	14
20001 – 25000	5	70001 – 75000	15
25001 – 30000	6	75001 – 80000	16
30001 – 35000	7	80001 – 85000	17
35001 – 40000	8	85001 – 90000	18
40001 – 45000	9	90001 – 95000	19
45001 – 50000	10	95001 – 100000	20

- c) Para los sistemas rurales, al menos una vez por bimestre.

Artículo 13. Vigilancia por el programa de análisis mínimo. La frecuencia con que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social deberá efectuar la vigilancia por medio de la aplicación del “programa de análisis mínimo” recomendado por la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones”; en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, es la siguiente:

- a) Para sistemas urbanos que abastezcan a más de cien mil (100,000) habitantes, al menos dos veces por mes.
- b) Para los sistemas urbanos que abastezcan menos de cien mil (100,000) habitantes; al menos una vez por año, por cada cinco mil (5,000) habitantes servidos.
- c) Para los sistemas rurales, al menos una vez por año.

Artículo 14. Control de cloro residual libre. La frecuencia con que los prestadores del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano deberán efectuar el control del parámetro “cloro residual libre”, en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano a su cargo, es la siguiente:

- a) Para los sistemas urbanos, al menos una vez por día.
- b) Para los sistemas rurales, al menos una vez por semana.

Artículo 15. Control microbiológico. La frecuencia con que los prestadores del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano deberán efectuar el control de los parámetros “coliformes totales” y “Escherichia coli”, en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano a su cargo, es la siguiente:

- a) Para sistemas urbanos que abastezcan a más de veinte mil (20,000) habitantes, al menos una vez al día.
- b) Para los sistemas urbanos que abastezcan menos de veinte mil (20,000) habitantes; debe consultarse la siguiente tabla:

Habitantes abastecidos	Muestras por semana	Habitantes abastecidos	Muestras por semana
1 – 5000	1	10001 – 15000	3
5001 – 10000	2	15001 – 20000	4

- c) Para los sistemas rurales, al menos una vez por mes.

Artículo 16. Control por el programa de análisis mínimo. La frecuencia con que los prestadores del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano deberán efectuar el control de la calidad del agua, por medio de la aplicación del programa de análisis mínimo” recomendado por la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones”; en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano a su cargo, es la siguiente:

- a) Para sistemas urbanos que abastezcan a más de veinte mil (20,000) habitantes, al menos una vez por mes.
- b) Para los sistemas urbanos que abastezcan menos de veinte mil (20,000) habitantes; al menos una vez por semestre, por cada cinco mil (5,000) habitantes servidos.
- c) Para los sistemas rurales, al menos una vez por semestre.

Artículo 17. Informe del control. Los prestadores del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano deberán presentar ante la autoridad sanitaria local, de forma mensual, un informe escrito que contenga los resultados cuantitativos y cualitativos del control de la calidad del agua abastecida que hayan efectuado. Para el efecto, dispondrán de un plazo de quince días, después de concluido el mes previo. El formato para la presentación del informe es el que se establece en el Anexo 1.

Artículo 18. Puntos de muestreo. Para efectos de asegurarse que la vigilancia y el control de la calidad del agua sean suficientemente representativos; los puntos de muestreo deberán ser los siguientes:

- a) Al menos un punto en cada tanque de distribución; establecido a una profundidad de, entre treinta (30) y sesenta (60) centímetros, medidos a partir de la superficie del agua presente en el tanque al momento del muestreo;
- b) Al menos tres puntos de la red de distribución, seleccionados aleatoriamente, de tal forma que dos de los puntos se encuentren en los extremos de la red, lo más distantes posibles.

Artículo 19. Métodos de muestreo y análisis. Todo resultado de análisis relacionado con la vigilancia y el control de la calidad del agua que se realice por medio de laboratorios externos al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será considerado admisible cuando se haya obtenido por medio de los métodos vigentes de muestreo y análisis establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; o bien, los recomendados por la Asociación Americana de Salud Pública, la Asociación Americana de Obras de Agua y la Federación de Ambientes Acuáticos, en la edición más reciente de la publicación “Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater (Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales)”.

CAPÍTULO IV GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Artículo 20. Resultados puntuales. Deberá entenderse que el resultado del análisis de una muestra puntual refleja únicamente las condiciones específicas del sistema de abastecimiento en el lugar y tiempo en que fue tomada la muestra.

Artículo 21. Muestra puntual apta para consumo humano. Una muestra de agua se considerará “apta para consumo humano” cuando cumpla con las especificaciones de

calidad establecidas para todos los parámetros examinados, siempre y cuando se hayan aplicado los métodos de muestreo y análisis establecidos en el artículo 19 del presente Manual.

Artículo 22. Agua apta para consumo humano. Se considerará que un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano ha suministrado agua “apta para consumo humano” durante cierto período de tiempo cuando el cien por ciento (100%) de las muestras analizadas durante ese lapso, hayan sido consideradas “aptas para consumo humano”; siempre y cuando el muestreo respectivo se haya efectuado conforme a lo establecido en el Capítulo III del presente Manual.

Artículo 23. Clasificación y acciones. Para efectos de las acciones de promoción y prevención de la salud, especialmente para el desarrollo de estudios epidemiológicos; el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social deberá clasificar los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, de acuerdo con su capacidad para cumplir con las especificaciones establecidas, con base en períodos de vigilancia semestrales, de acuerdo a la referencia siguiente:

- a) Excelente, cuando la proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” sea mayor o igual que el noventa y cinco por ciento (95.0%).
- b) Regular, cuando la proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” sea mayor que noventa y cinco por ciento (95.0%), pero menor que el noventa y cinco por ciento punto cero (95.0%).
- c) Deficiente, cuando la proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” sea menor que noventa y cinco por ciento (95.0%).

Para efectos de la certificación de la calidad del agua abastecida, establecido en el artículo 22 del Acuerdo Gubernativo 113-2009; se considerará que los resultados de la vigilancia son satisfactorios cuando el sistema de abastecimiento haya sido clasificado como “excelente”. La emisión del certificado será procedente únicamente en ese caso.

Cuando se clasifique un sistema de abastecimiento como “regular”, deberá interpretarse que existe un riesgo moderado a la salud humana; por lo que la autoridad sanitaria local deberá aplicar, según el caso, los artículos 17 y 18 del Acuerdo Gubernativo Número 113-2009; quedando obligado el prestador del servicio a ejecutar medidas extraordinarias de control y rendir informes detallados ante la referida autoridad.

Cuando se clasifique un sistema de abastecimiento como “deficiente”, deberá interpretarse que existe un alto riesgo a la salud humana; por lo que la autoridad sanitaria local deberá aplicar los artículos 17, 18 y 21 del Acuerdo Gubernativo Número 113-2009; ordenando al prestador del servicio la ejecución de medidas extraordinarias de control, rendición de informes detallados e implementación de medidas correctivas para mejorar la calidad del agua abastecida. La referida autoridad deberá establecer un plazo máximo de tres meses contados a partir de la respectiva notificación, para que el prestador del servicio cumpla con lo ordenado.

En el caso que un sistema de abastecimiento tenga una proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” menor que sesenta por ciento, deberá interpretarse que existe un inminente y grave riesgo a la salud humana; por lo que la autoridad sanitaria local deberá aplicar de inmediato el artículo 21 del Acuerdo Gubernativo Número 113-2009; ordenando al prestador del servicio la ejecución de medidas correctivas urgentes para mejorar la calidad del agua abastecida. La referida autoridad deberá establecer un plazo máximo de una semana contada a partir de la respectiva notificación, para que el prestador del servicio cumpla con lo ordenado.

Artículo 24. Aplicación del programa de análisis complementario. La aplicación del “programa de análisis complementario” recomendado por la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones” deberá realizarse cuando se estime necesario para la prevención y control de las enfermedades transmitidas a través del agua, de acuerdo con la información epidemiológica disponible a nivel local y central. El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el encargado de ordenar su ejecución, ya sea como parte de la vigilancia que éste debe ejecutar o como una medida de control a ejecutar por el prestador del servicio.

Artículo 25. Análisis complementario para proyectos de abastecimiento. El análisis de la calidad del agua, cuando se aplique a la certificación de la calidad del agua para proyectos de abastecimiento, deberá realizarse conforme a lo establecido por el Acuerdo Gubernativo Número 178-2009. Dados los parámetros incluidos para el efecto, puede considerarse una variación del “programa de análisis complementario” recomendado por la norma de referencia.

CAPÍTULO V INFRACCIONES Y SANCIONES

Artículo 26. Infracciones. Los prestadores del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano que incumplan las obligaciones que establece el Capítulo III del presente Manual, cometen infracción sanitaria que será sancionada, de conformidad con el procedimiento establecido en el Libro III del Código de Salud, Decreto Número 90-97 del Congreso de la República, sin perjuicio de las responsabilidades penales o civiles en que puedan incurrir.

Artículo 27. Procedimiento. El funcionario o empleado público del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, que determine o conozca de la comisión de una infracción sanitaria a lo establecido el presente Manual, deberá proceder, de acuerdo a lo establecido en el Libro III del Código de Salud, Decreto Número 90-97 del Congreso de la República, caso contrario, será sancionado de conformidad con la ley.

CAPÍTULO VI DISPOSICIONES FINALES

Artículo 28. Transitorio. Se fija el plazo de seis meses, contado a partir de la vigencia del presente Acuerdo Ministerial, para que los prestadores de servicios de abastecimiento de agua para consumo humano, regularicen sus acciones de control, conforme a las especificaciones establecidas en el presente Manual.

Artículo 29. Epígrafes. Los epígrafes que preceden a los artículos carecen de validez interpretativa y, por tanto, no pueden citarse en cuanto al contenido y alcance de los mismos.

Artículo 30. Vigencia. El presente Acuerdo empieza a regir el día siguiente de su publicación en el Diario de Centro América.

COMUNÍQUESE,

DR. JORGE ALEJANDRO VILLAVICENCIO ÁLVAREZ

**ANEXO 1.
INFORME DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.**

Información General del Sistema de Abastecimiento				
Prestador del servicio				
Nombre del sistema				
Tipo de sistema (urbano/rural)		Población abastecida		
Comunidades abastecidas				
Control de la calidad del agua (cloro residual libre)				
	Fecha y hora	Dirección y Coordenadas (si están disponibles)		
Muestra # 1				
Muestra # 2				
Muestra # 3				
Parámetro de calidad		Muestra # 1	Muestra # 2	Muestra # 3
Cloro residual libre				
Control microbiológico de la calidad del agua				
	Fecha y hora	Dirección y Coordenadas (si están disponibles)		
Muestra # 1				
Muestra # 2				
Muestra # 3				
Parámetro de calidad		Muestra # 1	Muestra # 2	Muestra # 3
Coliformes totales				
<i>Escherichia coli</i>				
Control de la calidad del agua por el programa de análisis mínimo				
	Fecha y hora	Dirección y Coordenadas (si están disponibles)		
Muestra # 1				
Muestra # 2				
Muestra # 3				
Parámetro de calidad		Muestra # 1	Muestra # 2	Muestra # 3
Coliformes totales				
<i>Escherichia coli</i>				
Color				
Turbiedad				
Potencial de hidrógeno (pH)				
Conductividad				
Cloro residual libre				
Cloruros				
Dureza total				
Sulfatos				
Calcio				
Magnesio				
Nitratos				
Nitritos				
Hierro total				
Manganeso total				

11.5. Norma COGUANOR NTG 29001 de Agua para consumo humano

**NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA**

**COGUANOR NTG
29001**

Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Edificio Centro Nacional de Metrología
Calzada Atanasio Tzul 27-32, zona 12
Teléfono: (502) 2476-6784 al 7
Info-coguanor@mineco.gob.gt
www.mineco.gob.gt

Referencia
ICS: 13.060.20

CONTENIDO

Prólogo COGUANOR.....	3
1. OBJETO	4
2. CAMPO DE APLICACIÓN.....	4
3. NORMAS A CONSULTAR	4
4. DEFINICIONES	4
5. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES.....	6
5.1 Características físicas y organolépticas	6
5.2 Características químicas.....	7
6 CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS.....	10
6.1 Límites	10
7. ASPECTOS RADIOLÓGICOS.....	10
8. MÉTODOS DE ANÁLISIS	10
9. MUESTREO.....	11
10. CORRESPONDENCIA	11
BIBLIOGRAFÍA	12

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es la de proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

El proceso de normalización se realiza a través de Comités Técnicos de Normalización (CTN), lo que garantiza la participación de todos los sectores interesados.

El estudio de la presente norma *COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones*, estuvo a cargo del Comité Técnico de Normalización de Metodologías Microbiológicas, habiendo participado los siguientes profesionales, a título personal o en representación de organizaciones y entidades relacionadas con el contenido de la norma:

INTEGRANTES DEL CTN METODOLOGÍAS MICROBIOLÓGICAS

Licda. Maricruz Álvarez Mury	Universidad del Valle de Guatemala (UVG)
Lic. Julio César Flores	Alimentos Kern's
Lic. Sergio Lickes	Alimentos Kern's
Lic. William Estrada	Instituto de Fomento Municipal (INFOM)
Licda. Lilian de Batres	Programa Integral de Protección Agrícola y Ambiental (PIPAA)
Licda. Juventina González	GUATELABS
Licda. Patricia Maldonado de García	Independiente
Licda. Karin Herrera	Depto. Microbiología/Fac. CCQQ y Farmacia/USAC
Lic. Víctor Jiménez	Laboratorio Nacional de Salud (LNS)
Ing. Héctor Gudiel	Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA)
Licda. Teresita de Miranda	Independiente
Licda. Xiomara Juárez	UBL. S.A.
Licda. Claudia Alvarado	3M
Ing. Nelson Mendoza	COGUANOR

Agua para consumo humano. Especificaciones.

1. OBJETO

Esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, etc. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

Se excluyen a las aguas purificadas envasadas y aguas carbonatadas, las cuales son cubiertas por normas específicas.

3. NORMAS A CONSULTAR

COGUANOR NGO 4010. Sistema Internacional de Unidades (SI).

COGUANOR NGO 29 018 h21. Agua. Prueba de sustrato enzimático para determinación de coliformes totales y *Escherichia coli*.

Mientras las normas COGUANOR relacionadas no sean actualizadas, se aplicarán los métodos normalizados establecidos en *Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater*, APHA, en su última edición.

Además de los métodos indicados, se podrán emplear los establecidos en la versión mas reciente de las Normas ISO 5667 1 a la 19, ISO 9695 (beta total) e ISO 9696 (alfa total).

Measurement of radionuclides in food and the environment. A Guidebook. Technical Report. Series No. 295. International Atomic Energy, Vienna, 1989.

4. DEFINICIONES

4.1

agua apta para consumo humano **agua potable**

es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la presente norma.

4.2

características físicas y organolépticas del agua

son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.

4.3

características químicas del agua

son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos,

4.4

características microbiológicas del agua

son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

4.5

cloro residual libre

parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.

4.6

Límite Máximo Aceptable (LMA)

es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

4.7

Límite Máximo Permisible (LMP)

es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

4.8

programa de análisis mínimo

los análisis en esta etapa de control son: a. Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; b. Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total.¹

4.9

programa de análisis complementario²

comprende la ejecución del programa de análisis mínimo, ampliado con: aluminio, cobre, arsénico, cadmio, cianuro, cromo total, mercurio total, plomo, selenio, cinc, sólidos totales disueltos y sustancias orgánicas (plaguicidas) que afecten la salud del consumidor.

Cuando se requiera un análisis específico, la norma contempla en los cuadros 1 al 8 aquellos parámetros que no han sido enunciados en los numerales 4.8 y 4.9 con sus respectivos Límites Máximos Permisibles (LMP)

¹ Para aguas sin tratamiento la autoridad competente será el ente encargado de indicar los parámetros mínimos a ser requeridos.

² Este análisis debe hacerse por lo menos una vez previo a autorizar la distribución o consumo del agua o cuando sea requerido por la autoridad competente.

4.10**redes de distribución**

conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades. Se consideran parte de una red de distribución: camiones cisterna y depósitos de cualquier naturaleza.

4.11**sustancia plaguicida**

término genérico que incluye a compuestos que forman parte de los siguientes grupos: insecticidas, herbicidas, fungicidas, acaricidas, nematocidas, alguicidas entre otros, productos derivados y sus metabolitos, productos de degradación y de reacción de los mismos.

4.12**radionúclidos****radioisótopo**

Núcleo atómico que se caracteriza por emitir radiaciones ionizantes para transformarse en otro, que a su vez puede o no emitir radiaciones, hasta llegar a alcanzar la estabilidad nuclear, transformándose al final en un núclido estable.

5. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES**5.1 Características físicas y organolépticas**

Cuadro 1. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm ^(d)
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 ^{(c) (d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
 (c) En unidades de pH
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25 °C.

5.2 Características químicas

Cuadro 2. Características químicas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) ^(b)	0,3	-----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.

b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Cuadro 3. Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN ⁻)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO ₃ ⁻)	50,0
Nitrito (NO ₂ ⁻)	3,0

Cuadro 4. Sustancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Grupo	LMP (µg/L)
<u>Compuestos organoclorados</u> ^(a)	
Aldrín y Dieldrín	0,03
Clordano	0,20
Clorotolurón	30,0
DDT y sus metabolitos	1,00
Endrín	0,60
Lindano	2,00
Metoxicloro	20,0
Pentaclorofenol	9,00
<u>Acidos fenoxi</u>	
2,4-D	30,0
2,4-DB	90,0
2,4,5-T	9,00
Mecoprop	10,0
Dicloroprop	100,0
MCPA	2,00
<u>Fumigantes</u>	
1,2-Dicloropropano	40,0
1,3-Dicloropropeno	20,0
DBCP (1,2-Dibromo-3-cloropropano)	1,00
<u>Triazinas</u>	
Atrazina	2,00
Simazina	2,00
<u>Acetanilidas</u>	
Alacloro	20,0
Metolacloro	10,0
<u>Carbamatos</u>	
Aldicarb y sus metabolitos	10,0
Carbofurán	7,00
Isoproturón	9,00
Molinato	6,00
Pendimetalina	20,0
<u>Amidas</u>	
Di (etil-hexil) ftalato	8,00
Trifluralín	20,0
<u>Organofosforados</u>	
Carbofurán	7,00
Clorpirifós	30,0
Dimetoato	6,00

^(a) Aunque algunas de estas sustancias ya no son permitidas se asignan los valores límite, debido a su persistencia ambiental.

Cuadro 5. Sustancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Compuesto	LMP (µg/L)
Acido edético (EDTA) ⁽⁴⁾	600,0
Acido nitrilo triacético	200,0
Benceno	10,0 ⁽¹⁾
Cloruro de vinilo	0,3, ⁽¹⁾
o-diclorobenceno	1000,0 ⁽²⁾
p-diclorobenceno	300,0 ⁽²⁾
1,2-dicloroetano	30,0 ⁽¹⁾
1,1-dicloroetano	30,0
1,2-dicloroetano	50,0
cis-1,2-dicloroetileno	50,0
trans-1,2-dicloroetileno	50,0
Diclorometano	20,0
1,2-dicloropropano	40,0 ⁽³⁾
Di(2-etilhexil)ftalato	8,0
1,4-dioxano	50,0 ⁽¹⁾
Estireno	20,0 ⁽²⁾
Etilbenceno	300,0 ⁽²⁾
Hexaclorobutadieno	0,6
Pentaclorofenol	9,0 ^{(1) (3)}
Tetracloruro de carbono	4,0
Tetracloroetano	40,0
Tolueno	700,0 ⁽²⁾
Tricloroetano	20,0 ⁽³⁾
Xileno	500,0 ⁽²⁾

(1) El valor de referencia de las sustancias que se consideran cancerígenas es la concentración en el agua asociada con un límite de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer por cada 100,000 personas que ingieren agua de bebida con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de 10^{-4} y 10^{-6} pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

(2) Concentraciones de la sustancia iguales o superiores al valor de referencia basado en criterios de salud pueden afectar la apariencia, gusto u olor del agua, dando lugar a reclamos por parte de los consumidores.

(3) Valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero existe escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.

(4) Aplica al ácido libre.

6 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

6.1 Límites

Cuadro 6. Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua

Microorganismos	Límite Máximo Permissible
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

7. ASPECTOS RADIOLÓGICOS

Cuadro 7. Valores guía para los aspectos radiológicos en agua

Características	Valor Máximo Aceptable	Observaciones
Radioactividad alfa total	0,10 Bq/L ⁽¹⁾	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos.
Radioactividad beta total	1,0 Bq/L	

⁽¹⁾ Bq es Bequerel que es la unidad radiométrica utilizada para medir la actividad de una fuente. Se simboliza por Bq y es equivalente a 1 desintegración/segundo.

Cuadro 8. Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua

Radiación	Indicador	Límites
Alfa artificial	Americio 241	0,1 Bequerel/L
Beta artificial	Estroncio 90	1,0 Bequerel/L
Gamma artificial	Cesio 137	No definido

8. MÉTODOS DE ANÁLISIS

8.1 Las determinaciones de las especificaciones y características fisicoquímicas, microbiológicas y aspectos radiológicos del agua, indicadas en la presente norma, se deben realizar de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes. Mientras las normas COGUANOR no estén actualizadas, se podrán emplear los métodos establecidos en el capítulo 3 de esta norma.

9. MUESTREO

9.1 El muestreo para el análisis fisicoquímico, microbiológico y los aspectos radiológicos del agua, indicado en la presente norma, y los criterios de aceptación o rechazo, se deben realizar de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes. Mientras las normas COGUANOR no estén actualizadas, se podrán emplear los métodos establecidos en el capítulo 3 de esta norma.

10. CORRESPONDENCIA

Para la elaboración de la presente norma se han tomado en cuenta los siguientes documentos.

- a) Norma COGUANOR NGO 29 001. Primera revisión 1999. AGUA POTABLE. Especificaciones.
- b) Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud. 3ª.edición, Ginebra. 1995, corresponden al volumen 1, 2ª. edición.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), 21st Edition, 2005.
- [2] Solsona, Felipe. Guías para elaborar normas de agua potable en países en vías en desarrollo. Organización Mundial de la Salud. 2002.
- [4] UNIT 833:2008. Agua potable. Requisitos.
- [5] Normas oficiales para la calidad de agua Argentina. Disposiciones de la Ley 18284 (Código alimentario argentino) sobre aguas.
- [6] Norma Boliviana NB 512. 2005. Calidad de agua potable para consumo humano. Requisitos
- [7] Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- [8] Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.04:2006. Agua. Agua potable.

--- Última Línea ---

11.6. Protocolo de muestras de agua

PROTOCOLO

Toma de muestras de agua para análisis microbiológico proveniente del Parque Ecológico La Asunción

Objetivo y ámbito de la aplicación

Este documento establece las directrices para la recolección de muestras de agua destinadas al consumo humano dentro del Parque Ecológico La Asunción. La toma de muestras es un proceso esencial en el análisis del agua potable, ya que se busca obtener una representación precisa del agua en cuestión sin alterar sus propiedades, lo que garantiza la fiabilidad de los resultados obtenidos en su composición. Para la realización de este protocolo se consultó el procedimiento adecuado según el laboratorio Soluciones Analíticas S.A.

Análisis Microbiológico y fisicoquímico en laboratorio

A partir de la siguiente muestra se obtienen los resultados del análisis de turbiedad y de bacterias presentes. Pruebas realizadas por un laboratorio certificado para realizar pruebas acorde la Norma COGUANOR NTG 29001.

1. Materiales necesarios para el muestreo

- Utensilios estériles
- Alcohol al 70%o cloro (hipoclorito de sodio)
- Recipientes para transporte: bolsas Whirl-Pak o plásticas limpias de primer uso. O envases de vidrio y/o plástico previamente limpio y esterilizado
- Guates limpios y estériles, rociados con alcohol al 70%

2. Tamaño de la muestra

Todo recipiente debe ser, como mínimo, de 150 mL. para poder realizar los análisis en una muestra.

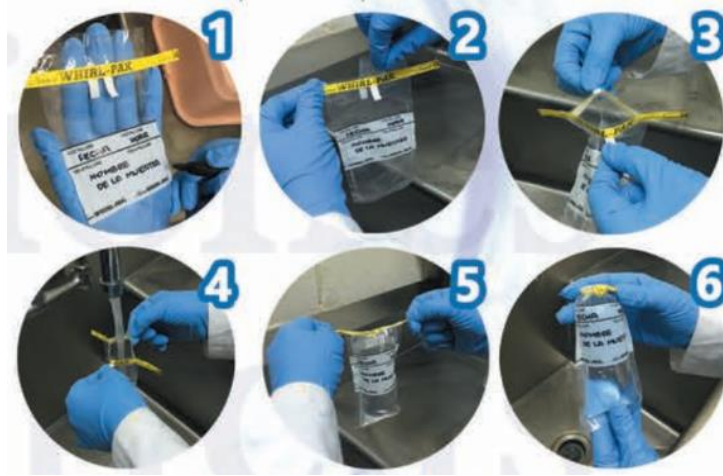
3. Identificación de la muestra

- Fecha, hora y lugar de toma de la muestra
- Nombre de la persona responsable
- Datos de contacto
- Parámetros a evaluar
- Condiciones de almacenamiento

4. Almacenamiento y transporte

La muestra debe ser llevada al laboratorio lo más pronto posible para evitar cambios en la población microbiana, de no poder llevarse al laboratorio antes de una hora, debe de mantenerse a una temperatura de 8°C evitando el uso de hielo para evitar contaminar la muestra. La muestra debe ser transportada en una hielera limpia, hermética, con suficiente hielo empacado.

5. Procedimiento



Soluciones Analíticas S.A.

1. Identifica la bolsa o envase para la muestra previo a su colecta.
2. Retirar tira plástica colocada en la parte superior de la bolsa, rasgando en la línea punteada.
3. Jalar las 2 tiras blancas para abrir la bolsa.
4. Llenar la bolsa con agua hasta la boquilla
5. Para cerrar se debe jalar las dos cintas de alambre y dar 2 vueltas sobre sí misma evitando que se salga el contenido.
6. Voltear ambas cintas de alambre dejando una de cada lado, para evitar que la bolsa se abra.

6. Consideraciones durante el muestreo

- No soplar las bolsas plásticas para abrirlas
- Evitar contaminar la parte interna del envase (boquilla/tapadera)
- Después del muestreo, limpiar el material utilizado y descartar adecuadamente.

Tabla 1. Registro: pruebas de laboratorio

Prueba No.	Encargado	Comentarios / Observaciones	Fecha de Realización: (DD/MM/AAAA)	Próxima prueba: (DD/MM/AAAA)
1				
2				
3				
4				
5				

Análisis Físicoquímico Instantáneo

Este procedimiento describe la toma de muestras para los análisis de potencial de hidrogeno pH, y cloro residual. Estas pruebas son instantáneas, ya que se deben de realizar tan pronto se toma la muestra de agua. Para que los datos sean confiables se tienen 15 minutos luego de la toma de la muestra para que las pruebas se realicen.

1. Materiales necesarios para el muestreo

- Utensilios estériles
- Alcohol al 70%o cloro (hipoclorito de sodio)
- Recipientes previamente limpios y esterilizados
- Guates limpios y estériles, rociados con alcohol al 70%
- Equipo Hanna Instruments para medición de Ph
- Equipo Hanna Instruments para medición de cloro residual

2. Tamaño de la muestra

Todo recipiente debe ser, como mínimo, de 60 mL. para poder realizar los análisis.

3. Procedimiento

pH

1. Identifica envase para la muestra previo a su colecta.
2. Seguir instrucciones de calibración del medidor de pH
3. Llenar envase con agua a medir
4. Retirar tapa protectora del electrodo
5. Encender medidor de pH
6. Sumergir medidor de pH hasta cubrir por completo el electrodo.
7. Registrar lectura que aparece en pantalla.



Cloro residual

Esta prueba se realiza directamente en el recipiente de medición.

1. Llenar el recipiente de medición de cloro residual previamente esterilizado
2. Colocar dos gotas de reactivo 1 dentro del recipiente
3. Colocar dos gotas de reactivo 2 dentro del recipiente



4. Colocar tapa del recipiente y agitar levemente con movimientos suaves durante 30 segundos.
5. Observar cambio de color e identificar a cual se asemeja más en la escala del recipiente.



4. Consideraciones durante el muestreo

- Evitar contaminar la parte interna del envase (boquilla/tapadera)
- Después del muestreo, limpiar el material utilizado y descartar adecuadamente.
- Asegurarse de que haya suficientes soluciones de limpieza y reactivos para la próxima prueba.



Tabla 2. Registro: pruebas instantáneas.

Prueba No.	Encargado	Comentarios / Observaciones	Fecha de Realización: (DD/MM/AAAA)	Próxima prueba: (DD/MM/AAAA)
1				
2				
3				
4				
5				

11.7. Manual de mantenimiento

PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

Sistema de Purificación de Agua y Tuberías

Objetivo: Garantizar el funcionamiento correcto del sistema de purificación de agua y del sistema de tuberías, mediante el mantenimiento regular de los tanques de almacenamiento y las vías de distribución.

Frecuencia de Mantenimiento: Se recomienda realizar bimensualmente el mantenimiento de los tanques de agua 2 y 3, y una vez cada dos meses el tanque de agua 1. Llevar a cabo en paralelo el mantenimiento al sistema de tuberías.

Herramientas y Materiales Necesarios:

- Equipo de protección personal (guantes, gafas de seguridad, mascarilla)
- Cepillos de limpieza de diferentes tamaños
- Cloro o desinfectante aprobado para uso en sistemas de agua potable
- Cubetas o recipientes para la recolección de agua residual
- Trapo limpio
- Cepillo o esponja suave
- Agua limpia para enjuagar
- Reemplazos de mangueras y accesorios (de ser necesario)
- Repuesto de filtro de sedimentos

Procedimiento:

- 1. Preparación:**
 - Detener el suministro de agua durante el proceso de limpieza.
 - Utilizar equipo de protección personal para evitar contacto directo con el agua, sedimentos y/o químicos.
- 2. Drenaje de Tanques:** Abrir las válvulas de los tanques 2 y 3 para permitir que el agua residual se drene por completo.
- 3. Inspección:** Realizar una inspección visual de todas las tuberías, mangueras y accesorios. Buscar signos de fugas, desgaste, grietas o conexiones sueltas.
- 4. Revisión y Limpieza del Filtro de Sedimentos:** Retirar el filtro de sedimentos y reemplazarlos de ser necesario.
- 5. Verificación de Conexiones:** Inspeccionar y ajustar todas las conexiones y uniones de las tuberías y mangueras para asegurar que no haya fugas.
- 6. Revisión de la Manguera y Accesorios:** Examinar la manguera de suministro de la bomba al tanque de purificación en busca de desgaste o daños. Reemplazar la manguera o los accesorios defectuosos según sea necesario para mantener la integridad del sistema.

7. Limpieza Interior del Tanque:

- Utilizar los cepillos de limpieza para limpiar las paredes interiores de los tanques, eliminando cualquier residuo o sedimento acumulado.
- Enjuagar el tanque con agua limpia para eliminar los residuos sueltos y asegurar que esté completamente limpio.

8. Desinfección del Tanque:

- Preparar la solución de desinfectante aprobado para uso en sistemas de agua potable, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Aplicar la solución al interior del tanque.
- Dejar actuar el desinfectante durante el tiempo recomendado por el fabricante para garantizar una desinfección efectiva.

9. Enjuague Final: Enjuagar el tanque con agua limpia varias veces para eliminar cualquier residuo de desinfectante y asegurarse de que el agua esté completamente limpia y segura para el consumo.

10. Cierre y Reanudación del Suministro de Agua:

- Cerrar las válvulas de los tanques una vez completada la limpieza y desinfección.
- Reanudar el suministro de agua y verifique que no haya fugas u otros problemas en el sistema.

Registro: Registrar la fecha y los detalles del mantenimiento realizado en un registro de mantenimiento del sistema, como se puede ver en la Tabla 1. Anotar cualquier problema encontrado durante el proceso y las acciones correctivas tomadas.

Tabla 1. Registro: Mantenimiento del sistema de purificación

Limpieza No.	Encargado	Comentarios / Observaciones	Fecha de Realización: (DD/MM/AAAA)	Próxima limpieza: (DD/MM/AAAA)
1				
2				
3				
4				
5				

Sistema Eléctrico

Objetivo: Asegurar el funcionamiento correcto del sistema eléctrico y sus componentes, incluyendo los sensores de nivel de agua, electroválvulas, PLC, panel solar, batería y demás componentes eléctricos, para garantizar la operatividad continua del sistema de purificación de agua.

Frecuencia de Mantenimiento: El mantenimiento del sistema eléctrico debe realizarse de forma regular, con una frecuencia mínima de cada 6 meses, y según sea necesario en función de las condiciones ambientales y el uso del sistema.

Herramientas y Materiales Necesarios:

- Multímetro digital
- Destornilladores de diferentes tamaños
- Limpiador de contactos eléctricos
- Trapo limpio
- Lubricante dieléctrico

Procedimiento:

1. **Inspección Visual:** Realizar una inspección visual de todos los componentes del sistema eléctrico, incluyendo los sensores de nivel de agua, las electroválvulas, el PLC, el panel solar, la batería de carro y demás componentes. Buscar signos de desgaste, corrosión, suciedad o daños visibles, en los cables o componentes.
2. **Verificación de Conexiones Eléctricas:** Inspeccionar todas las conexiones eléctricas para asegurarse de que estén bien ajustadas y libres de corrosión. Apretar los terminales sueltos según sea necesario para garantizar una conexión segura.
3. **Prueba de Funcionamiento:** Realizar pruebas de funcionamiento en cada uno de los componentes eléctricos del sistema, incluyendo los sensores de nivel de agua, el PLC y los relés. Verificando que todos los componentes respondan correctamente y que no haya problemas de funcionamiento.
4. **Limpieza:** Limpiar cuidadosamente el PLC y los relés utilizando un trapo limpio y un limpiador de contactos eléctricos si es necesario. Eliminar cualquier suciedad, polvo o residuo acumulado que pueda afectar su rendimiento.
5. **Mantenimiento Preventivo del PLC:** Realizar una inspección visual del PLC para asegurarse de que esté protegido adecuadamente dentro del panel de control. Verifique que no haya señales de humedad, polvo o daños físicos. Si es necesario, aplicar lubricante dieléctrico en los conectores y terminales para protegerlos contra la corrosión.
6. **Verificación del Panel Solar y Batería:** Inspeccionar el panel solar y la batería para detectar posibles daños o signos de desgaste. Verificar que estén funcionando correctamente y que no haya obstrucciones que puedan afectar su rendimiento.

Registro: Registrar todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo la fecha, las acciones tomadas y cualquier problema encontrado durante el proceso. Mantener un registro actualizado para facilitar el seguimiento del mantenimiento y la resolución de problemas en el futuro.

Tabla 2. Registro: mantenimiento del sistema eléctrico

Limpieza No.	Encargado	Comentarios / Observaciones	Fecha de Mantenimiento: (DD/MM/AAAA)	Próximo Mantenimiento: (DD/MM/AAAA)
1				
2				
3				
4				
5				

Sistema Estructural

Objetivo: Asegurar la integridad del sistema estructural, garantizando la durabilidad del sistema de purificación de agua.

Frecuencia de Mantenimiento: El mantenimiento del sistema estructural debe realizarse mínimo cada 6 meses, o según sea necesario en función de las condiciones ambientales y el uso del sistema.

Herramientas y Materiales Necesarios:

- Equipo de protección personal (guantes, gafas de seguridad)
- Cepillo de alambre
- Pintura anticorrosiva
- Pinceles o rodillos
- Llave inglesa ajustable
- Destornilladores
- Sellador de roscas para tuberías
- Lubricante para juntas
- Agua y trapo limpio

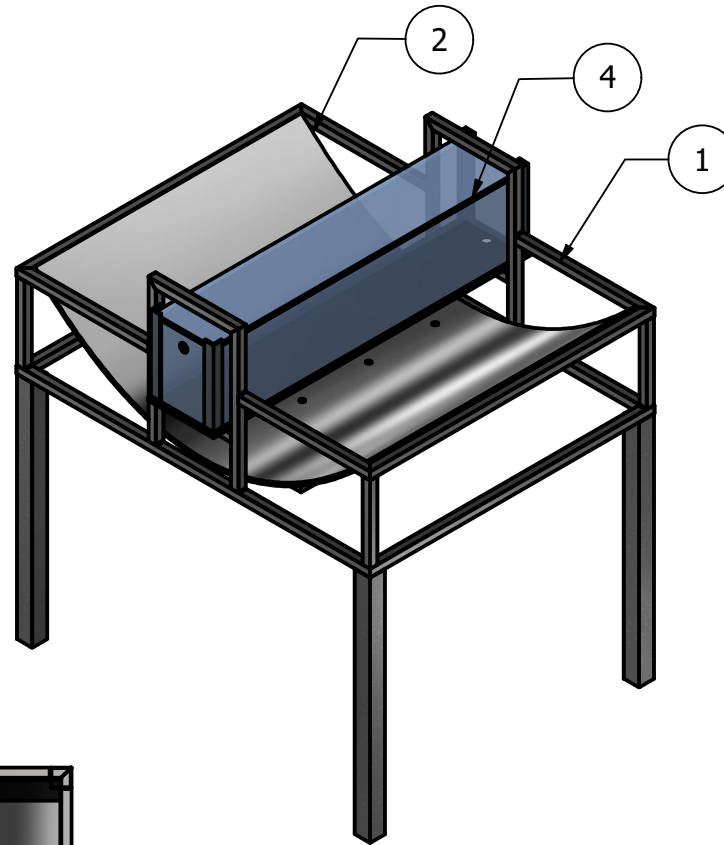
Procedimiento:

- 1. Inspección Visual:** Realizar una inspección visual de todas las estructuras de acero soldadas que sostienen el tanque de agua, el panel solar y otros componentes. Buscar signos de corrosión, desgaste, grietas o deformaciones.
- 2. Limpieza:** Limpie las estructuras con agua y un trapo limpio para eliminar polvo, suciedad y otros residuos que puedan haber acumulado. Prestar especial atención al colector parabólico, asegurando que no tenga suciedad.
- 3. Tratamiento de Corrosión:** Si se detecta corrosión, utilizar un cepillo de alambre para eliminar el óxido. Aplicar una nueva capa de pintura anticorrosiva en las áreas afectadas para prevenir futuros problemas de oxidación.
- 4. Verificación de Soldaduras y Uniones:** Inspeccionar todas las soldaduras y uniones para asegurarse de que estén intactas y seguras. Realizar reparaciones o refuerzos de ser necesario.

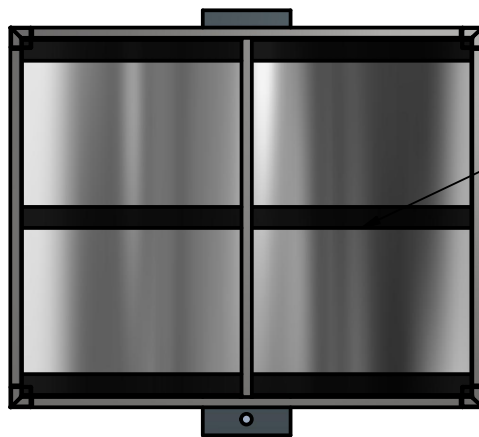
Tabla 3. Registro: mantenimiento del sistema estructural

Limpieza No.	Encargado	Comentarios / Observaciones	Fecha de Mantenimiento: (DD/MM/AAAA)	Próximo Mantenimiento: (DD/MM/AAAA)
1				
2				
3				
4				
5				

11.8. Planos del módulo 2



LISTADO DE PARTES			
ELE-MENTO	CANT.	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ESQUELETO MÓDULO 2	ESTRUCTURA DE ACERO GALVANIZADO
2	1	COLECTOR SOLAR PARABÓLICO	LÁMINA REFLECTIVA
3	3	SOPORTE COLECTOR SOLAR	LÁMINA METÁLICA
4	1	TANQUE 2	TANQUE DE PURIFICACIÓN DE AGUA



VISTA INFERIOR

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL .X ±
.XX ±
.XXX ±
ANGULAR ±
FRACCIONES ±
RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR LUCÍA MORATAYA
FECHA 27/08/21

DISEÑADO POR LUCÍA MORATAYA
FECHA 11/03/21

REVISADO POR
FECHA

APROBADO POR
FECHA

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40
info@uvg.edu.gt

TÍTULO: SISTEMA MÓDULO 2

NÚMERO DE DIBUJO: 001

FORMATO A ESCALA: 1 / 17 UNIDADES: mm

PÁGINA 1 DE 17

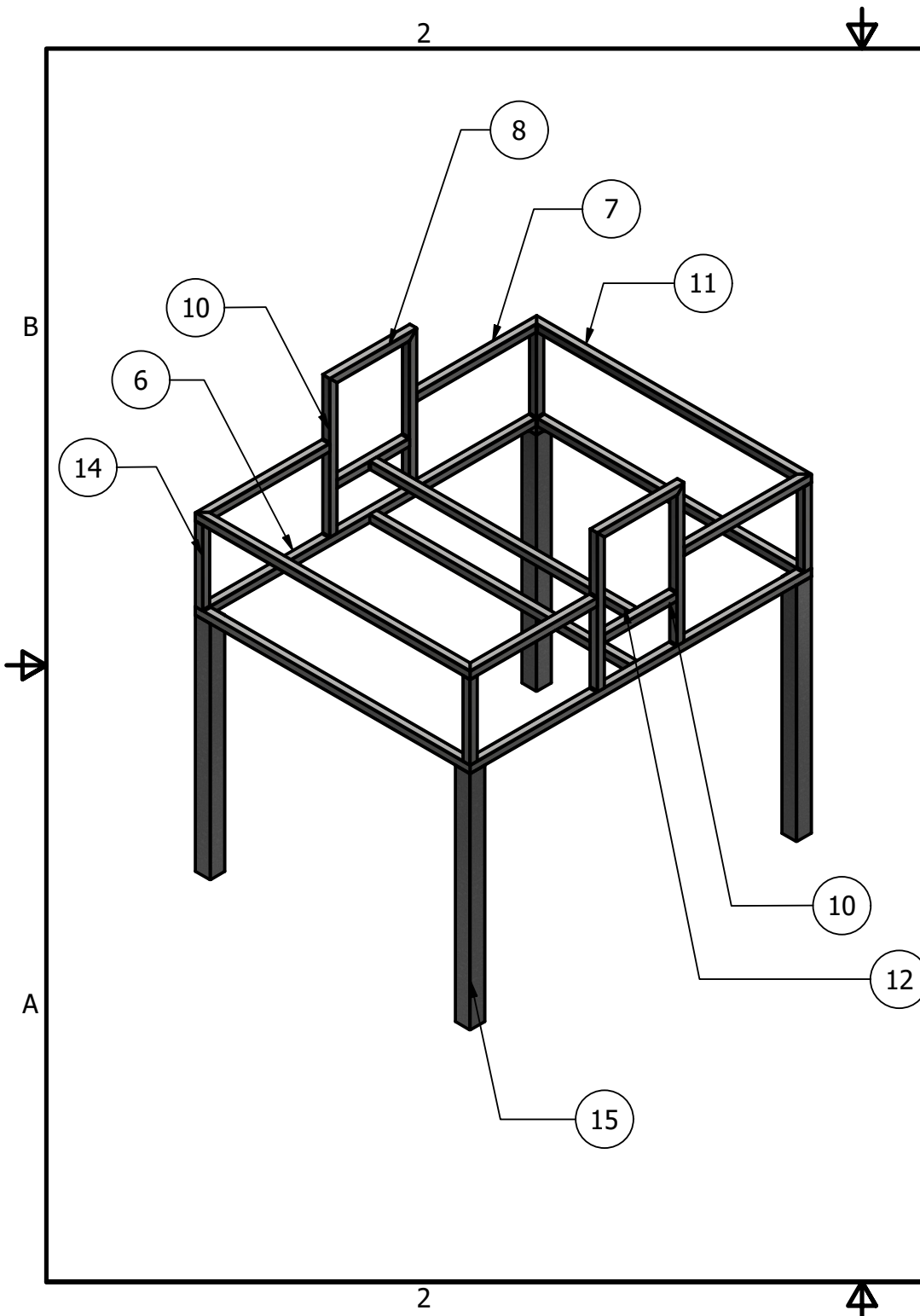
REV 0

MATERIAL ACERO GLVNZDO, TRATAMIENTO

MASA: N/A

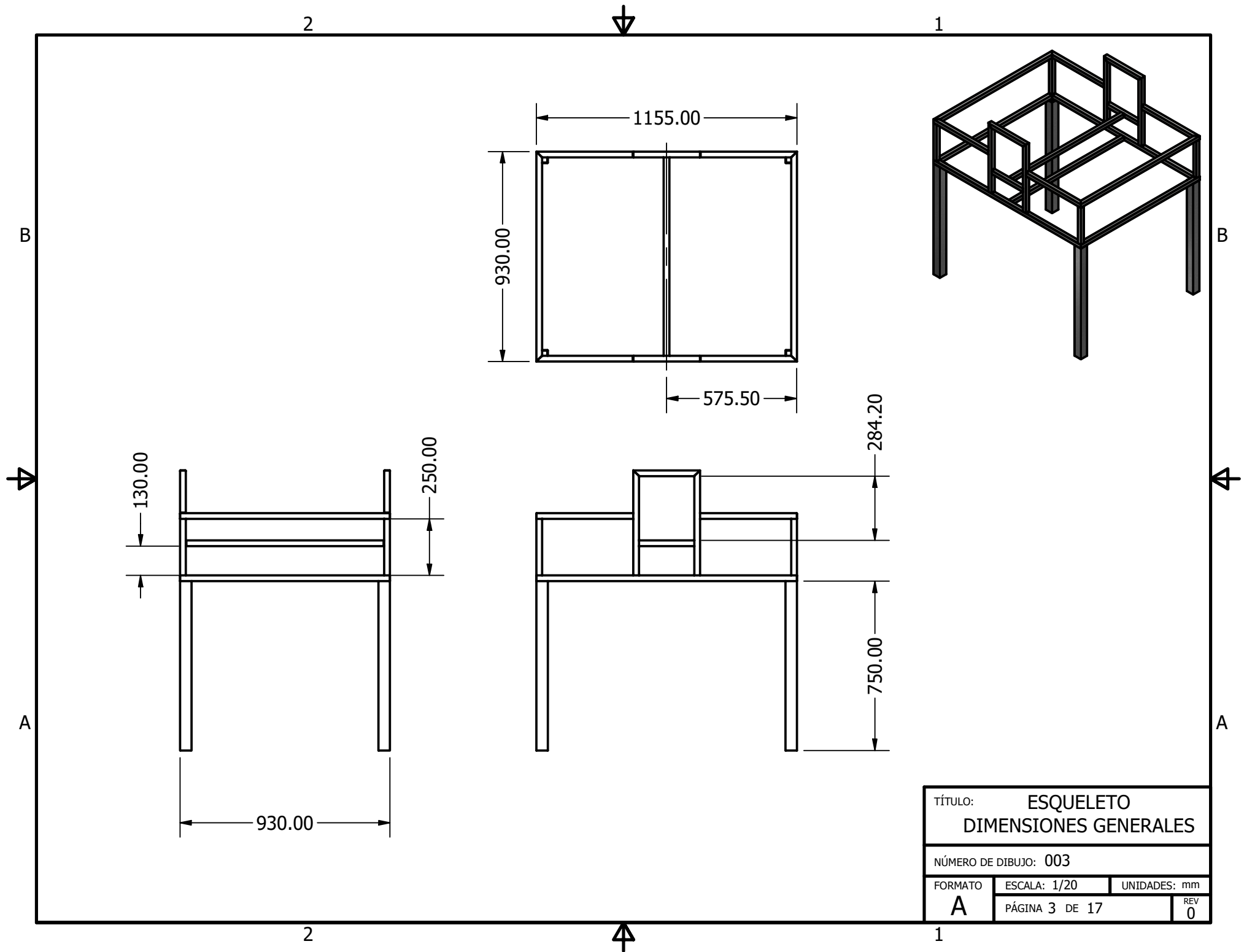


TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN

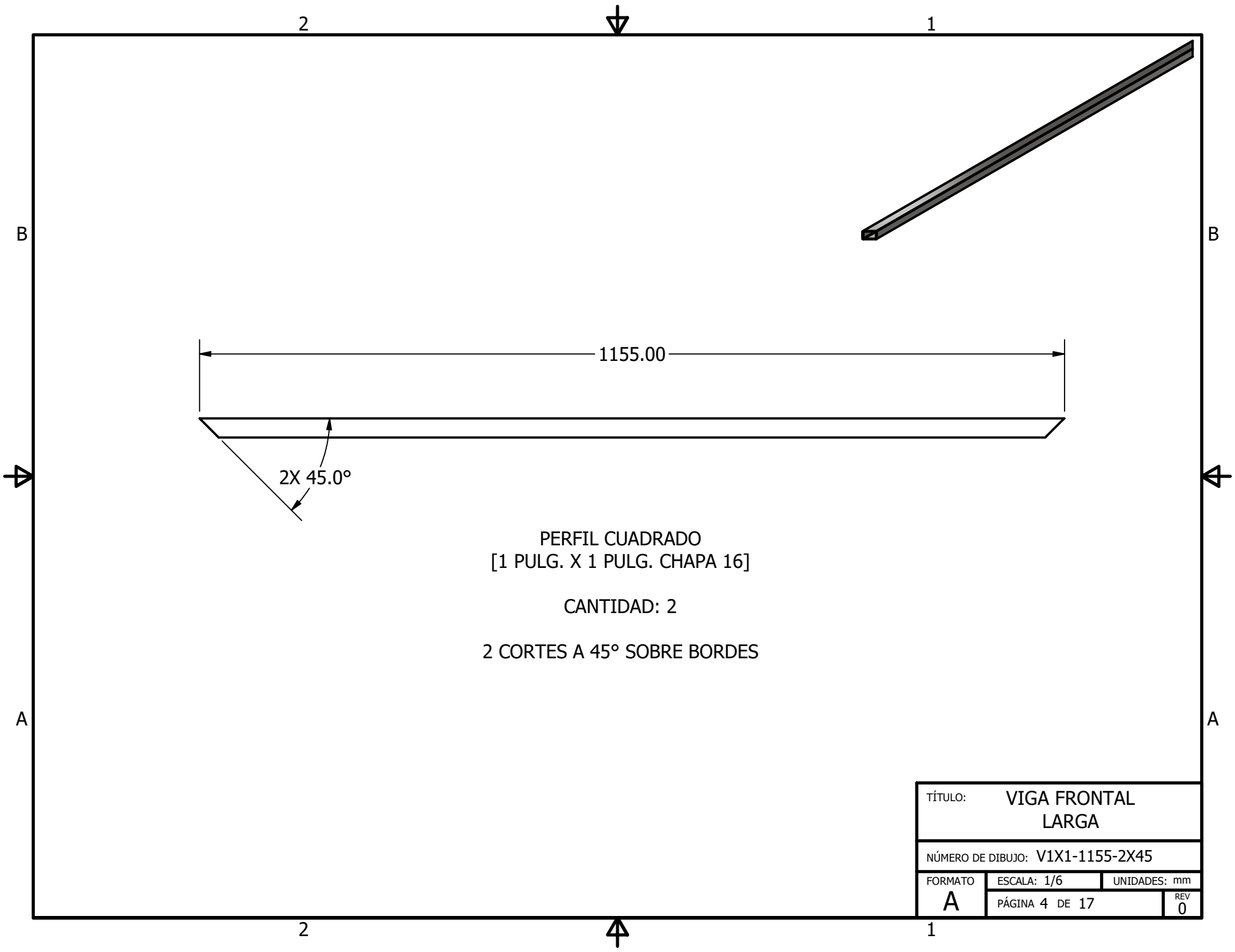


LISTADO DE PARTES			
ITEM	CANT	NÚMERO DIBUJO	DESCRIPCIÓN
6	2	V1X1-1155-2X45	VIGA FRONTAL LARGA
7	4	V1X1-430-1X45	VIGA FRONTAL MEDIA
8	2	V1X1-295-2X45	VIGA FRONTAL CORTA SUPERIOR
9	2	V1X1-244.2-2X90	VIGA FRONTAL CORTA INFERIOR
10	4	V1X1-465-1X45	VIGA FRONTAL VERTICAL
11	4	V1X1-930-2X45	VIGA TRANSVERSAL EXTERNA
12	1	V1X1-879.2-2X90	VIGA TRANSVERSAL INTERNA SUPERIOR
13	1	V1X1-879.2-2X90-A	VIGA TRANSVERSAL INTERNA INFERIOR
14	4	V1X1-250-2X90	VIGA LATERAL CORTA
15	4	V2X2-750-2X90	VIGA SOPORTE

TÍTULO: LISTADO DE PARTES ESQUELETO ESTRUCTURAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 002		
FORMATO	ESCALA: 1/15	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 2 DE 17	REV 0



TÍTULO: ESQUELETO		
DIMENSIONES GENERALES		
NÚMERO DE DIBUJO: 003		
FORMATO	ESCALA: 1/20	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 3 DE 17	REV 0

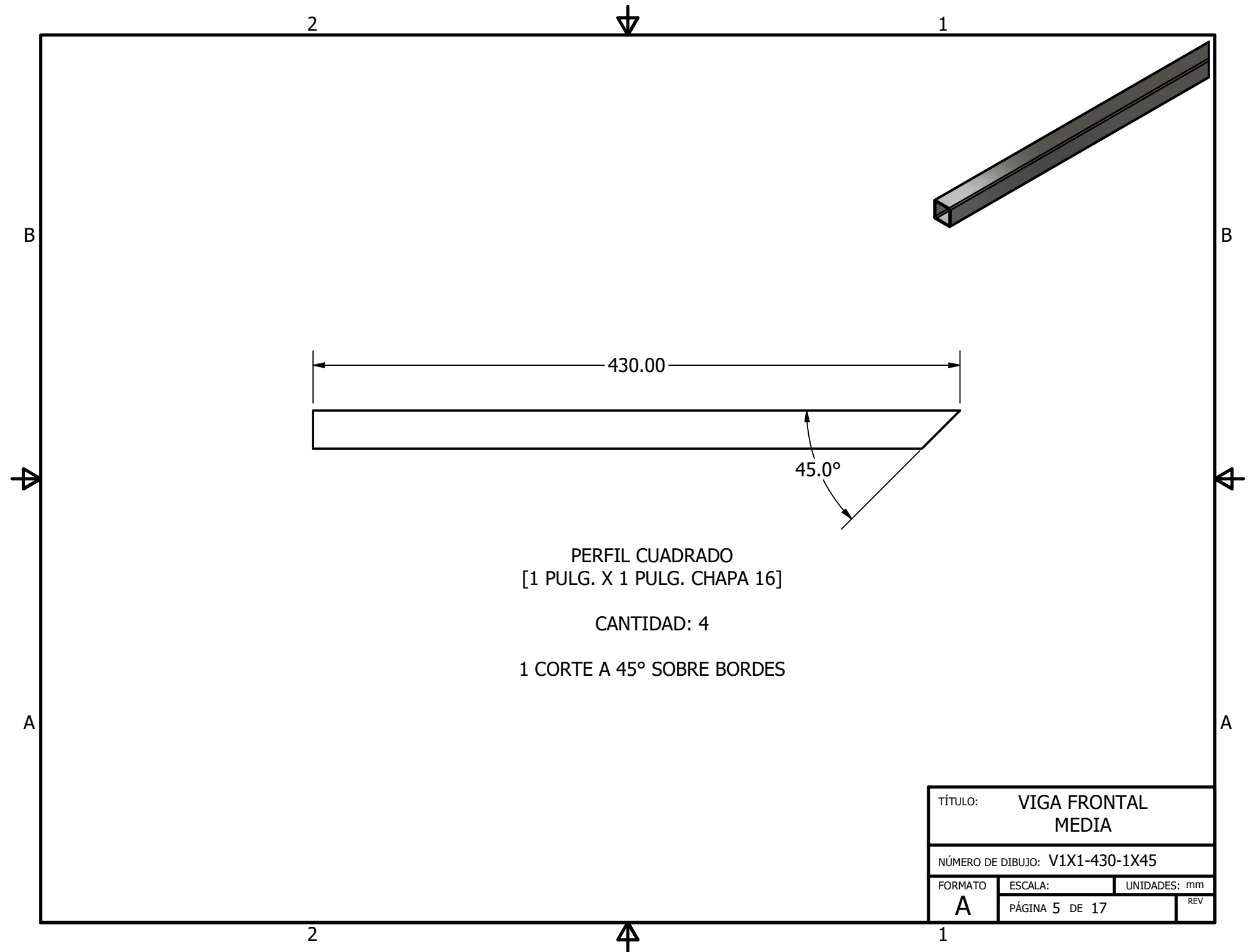


PERFIL CUADRADO
 [1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]

CANTIDAD: 2

2 CORTES A 45° SOBRE BORDES

TÍTULO: VIGA FRONTAL LARGA			
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-1155-2X45			
FORMATO	ESCALA: 1/6	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 4 DE 17	REV	0

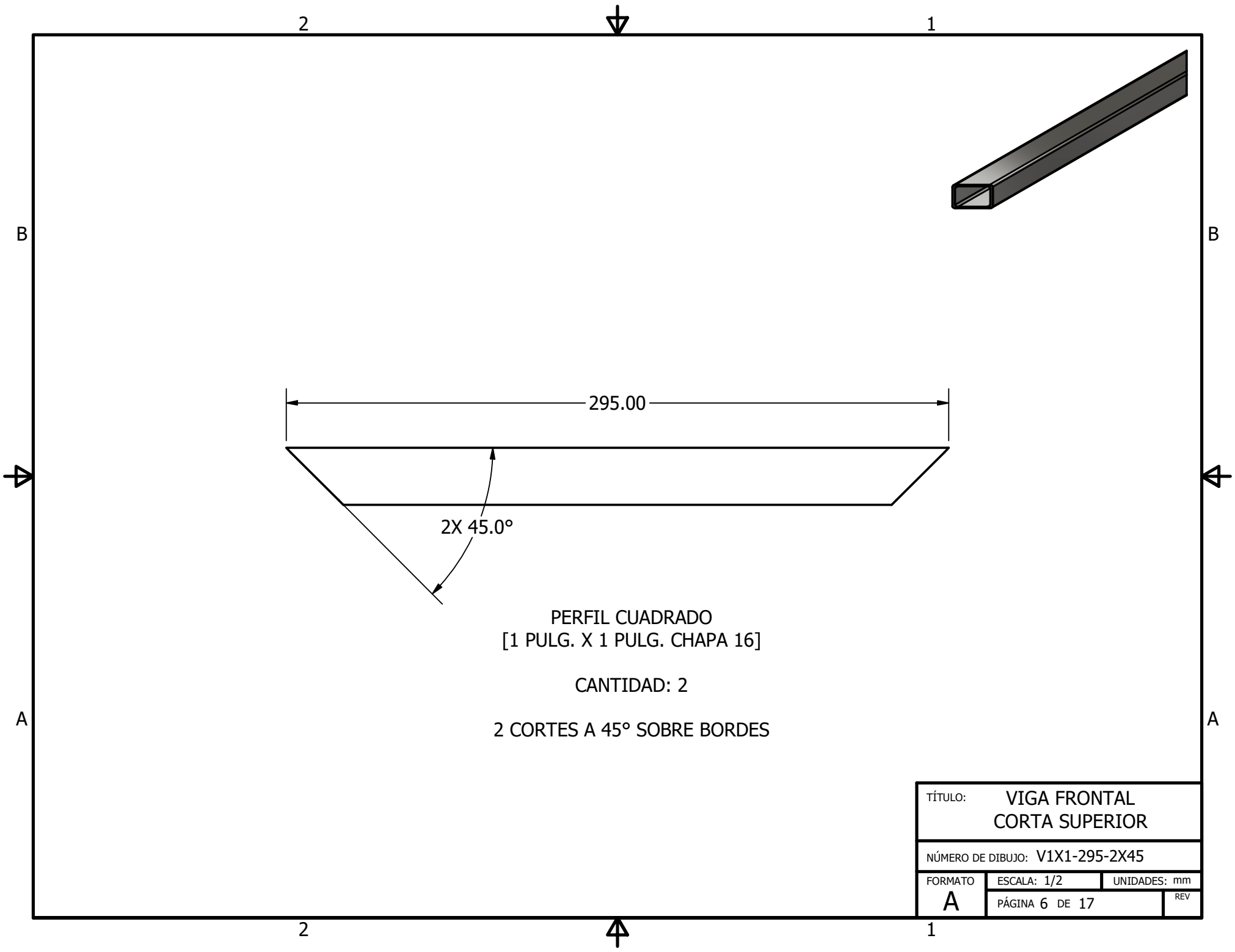


PERFIL CUADRADO
 [1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]

CANTIDAD: 4

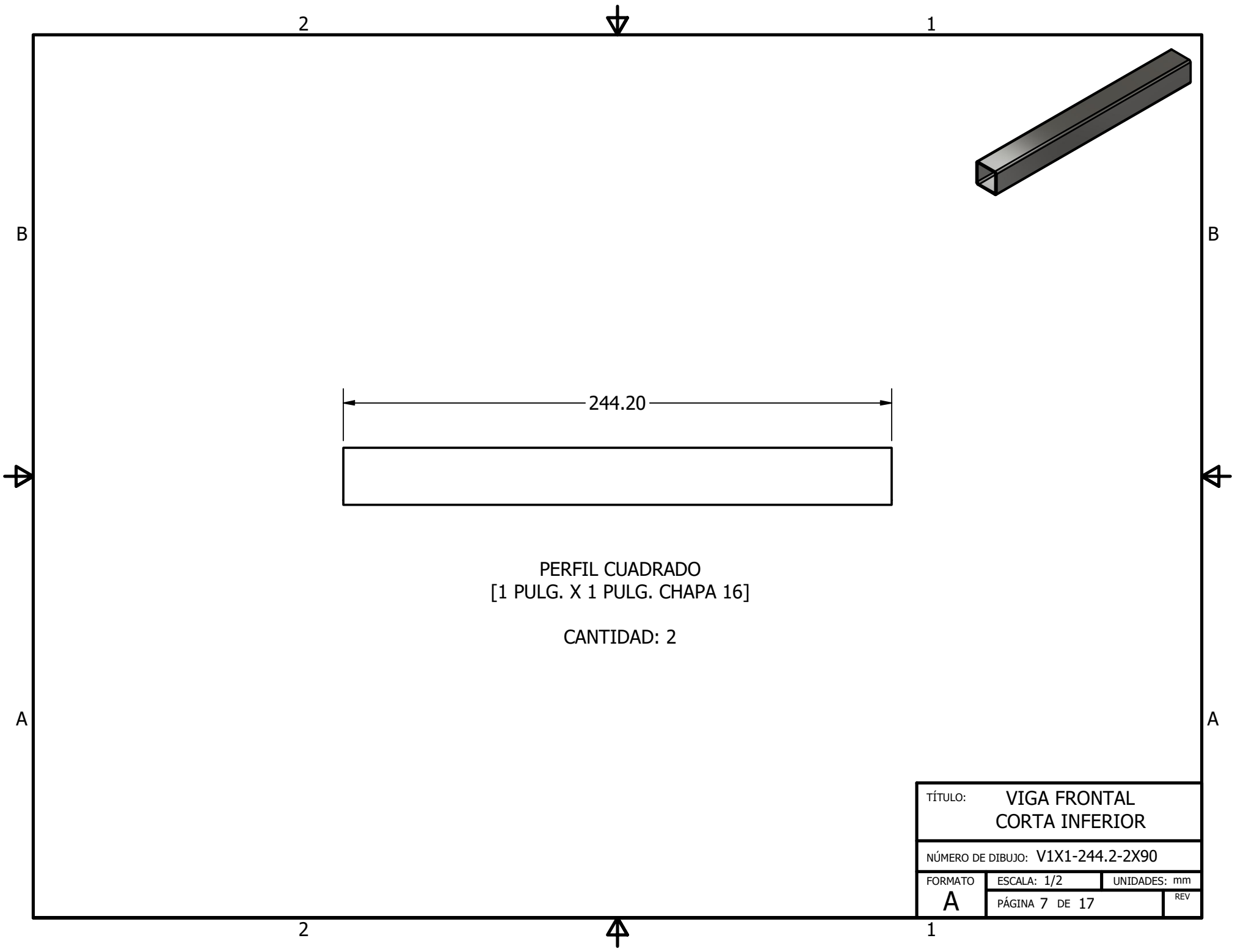
1 CORTE A 45° SOBRE BORDES

TÍTULO: VIGA FRONTAL MEDIA		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-430-1X45		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 5 DE 17	REV



PERFIL CUADRADO
 [1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]
 CANTIDAD: 2
 2 CORTES A 45° SOBRE BORDES

TÍTULO: VIGA FRONTAL CORTA SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-295-2X45		
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 6 DE 17	REV



2

1

B

B

244.20

PERFIL CUADRADO
[1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]

CANTIDAD: 2

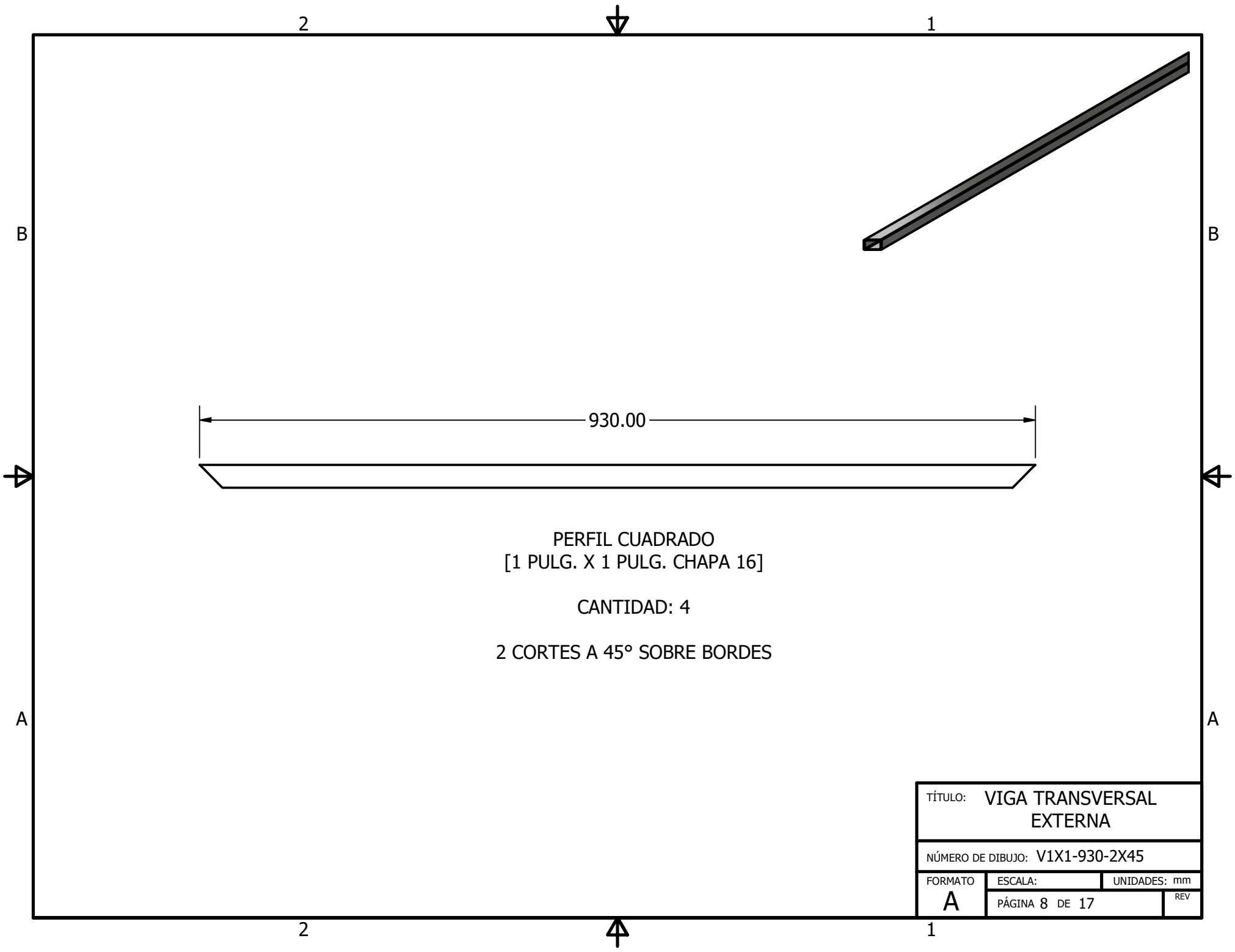
A

A

2

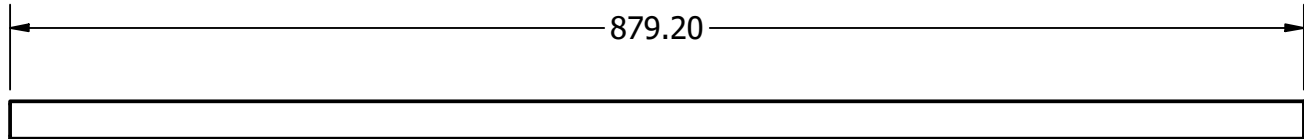
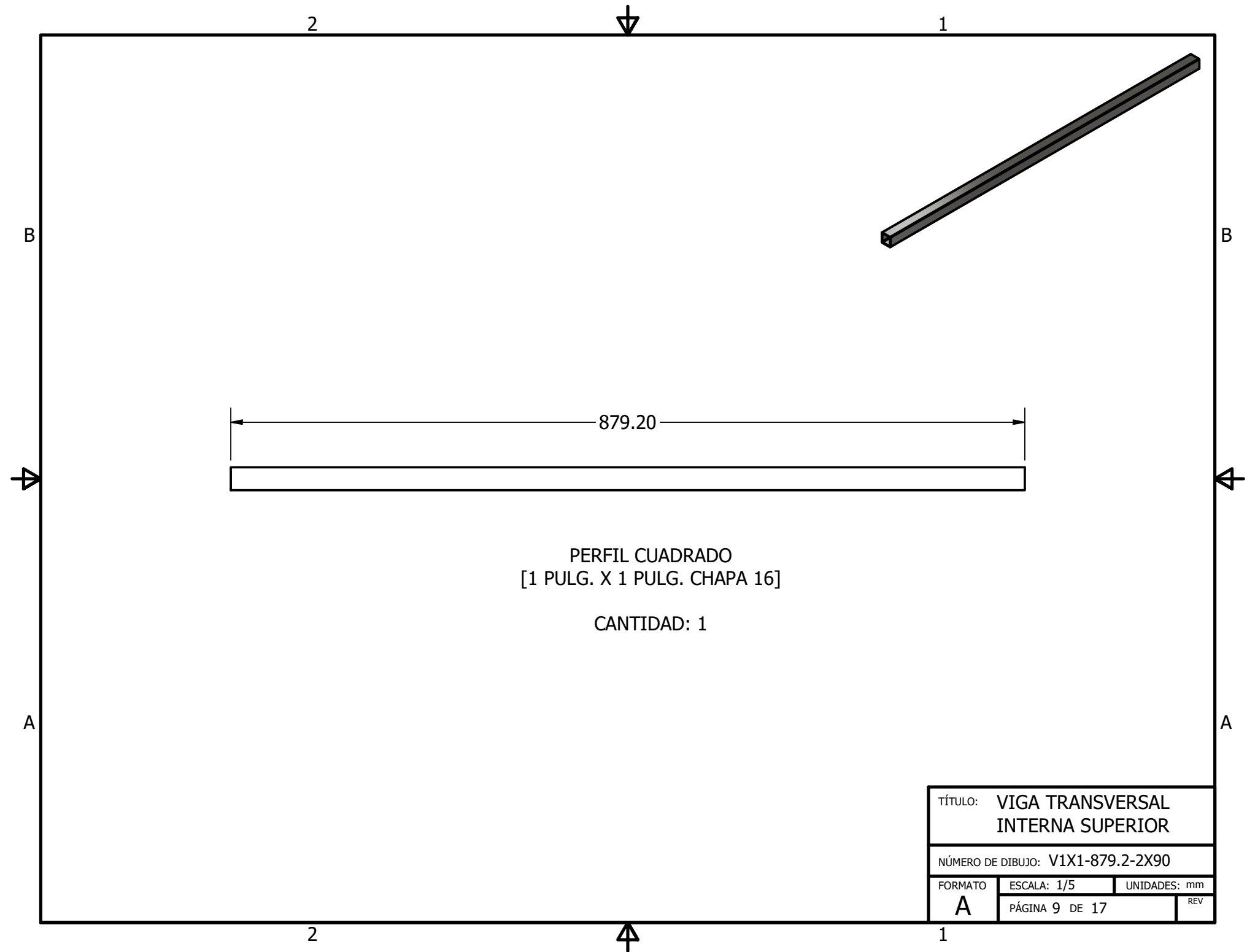
1

TÍTULO: VIGA FRONTAL CORTA INFERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-244.2-2X90		
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 7 DE 17	REV



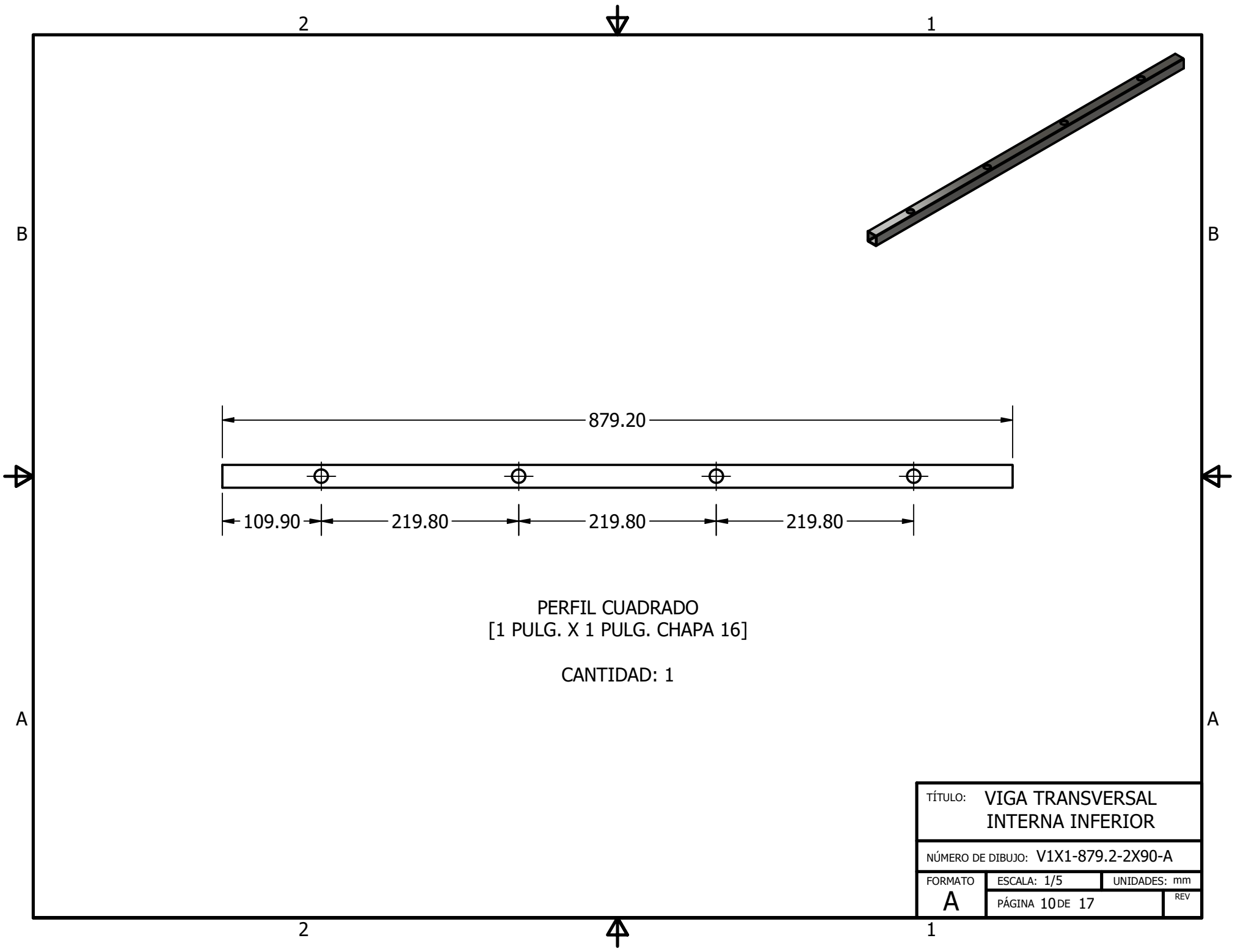
PERFIL CUADRADO
[1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]
CANTIDAD: 4
2 CORTES A 45° SOBRE BORDES

TÍTULO: VIGA TRANSVERSAL EXTERNA		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-930-2X45		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 8 DE 17	REV



PERFIL CUADRADO
 [1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]
 CANTIDAD: 1

TÍTULO: VIGA TRANSVERSAL INTERNA SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-879.2-2X90		
FORMATO	ESCALA: 1/5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 9 DE 17	REV



PERFIL CUADRADO
 [1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]

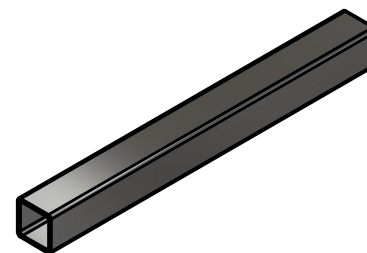
CANTIDAD: 1

TÍTULO: VIGA TRANSVERSAL INTERNA INFERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-879.2-2X90-A		
FORMATO	ESCALA: 1/5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 10 DE 17	REV

2

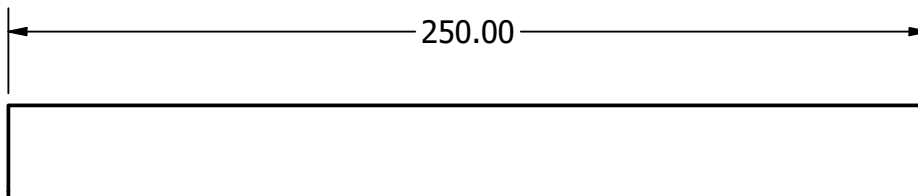


1



B

B



PERFIL CUADRADO
[1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 16]

CANTIDAD: 4

A

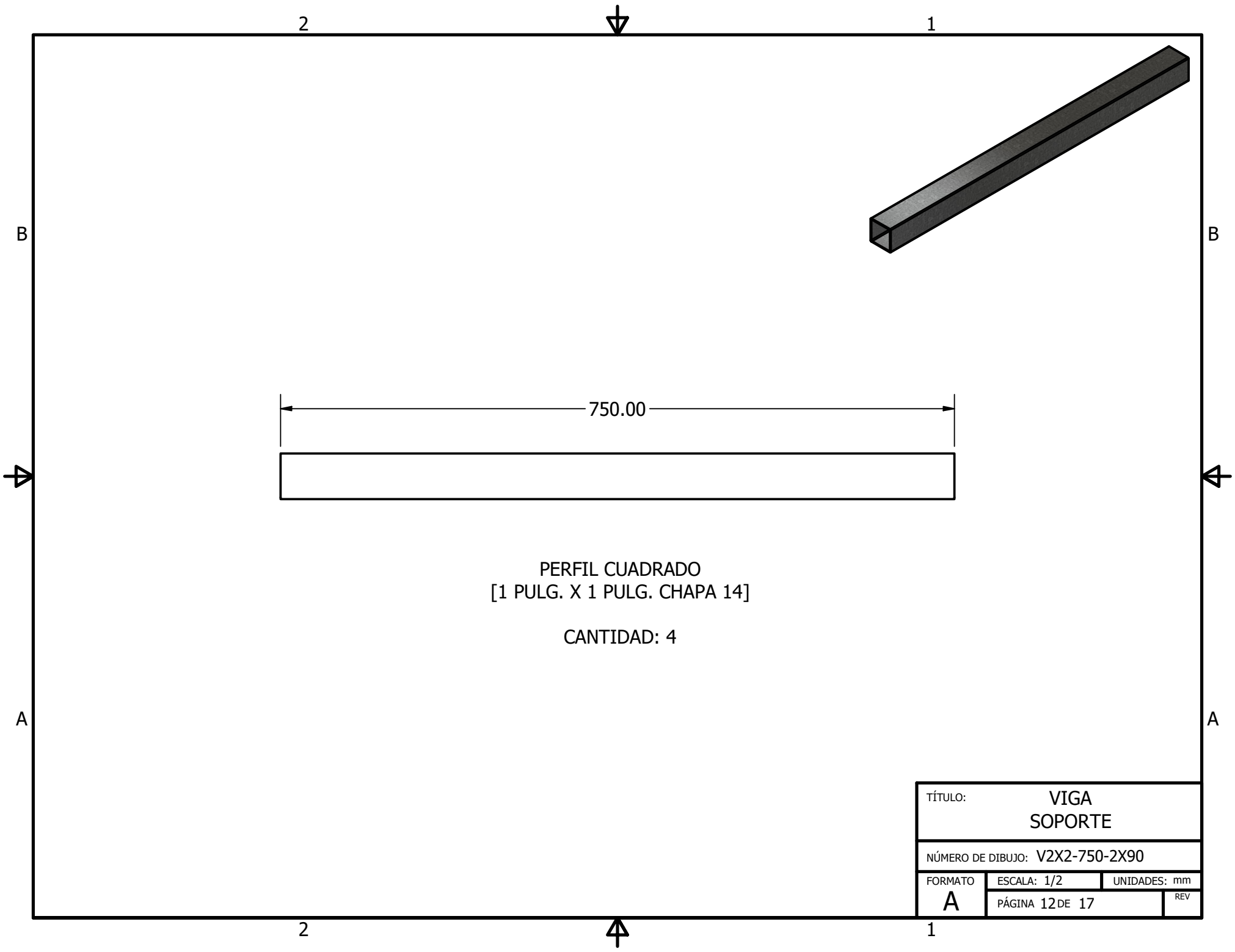
A

2



1

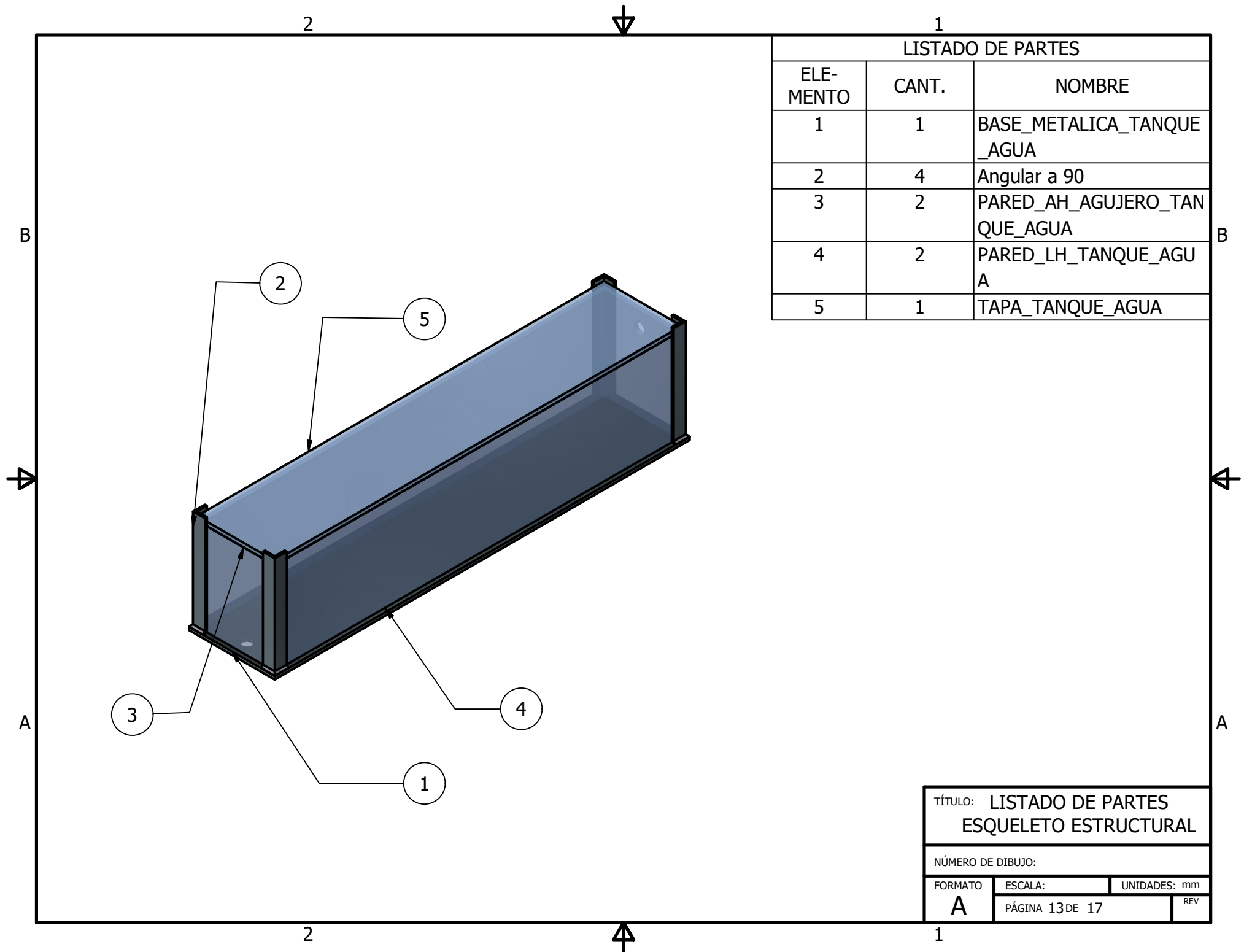
TÍTULO: VIGA LATERAL CORTA		
NÚMERO DE DIBUJO: V1X1-250-2X90		
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 11 DE 17	REV



PERFIL CUADRADO
 [1 PULG. X 1 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 4

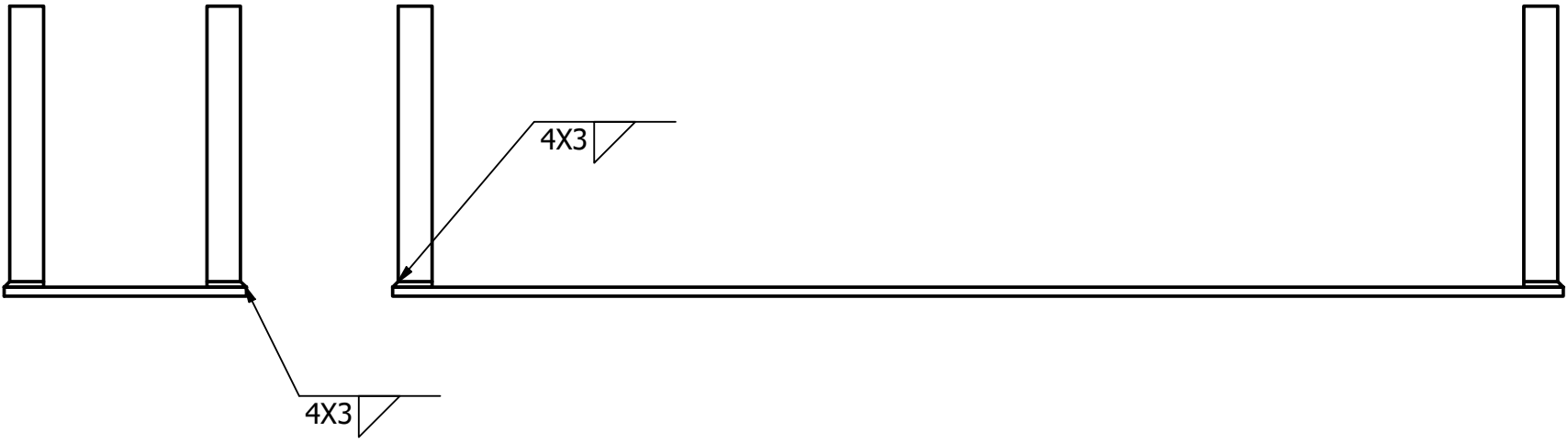
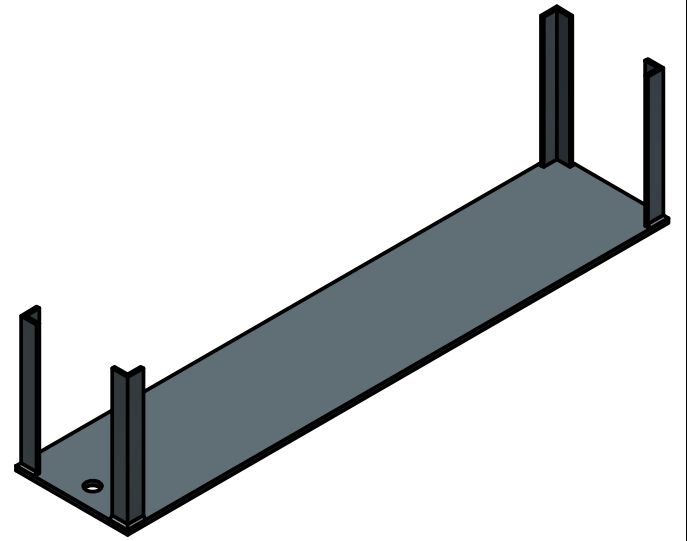
TÍTULO:		VIGA SOPORTE	
NÚMERO DE DIBUJO: V2X2-750-2X90			
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 12 DE 17	REV	



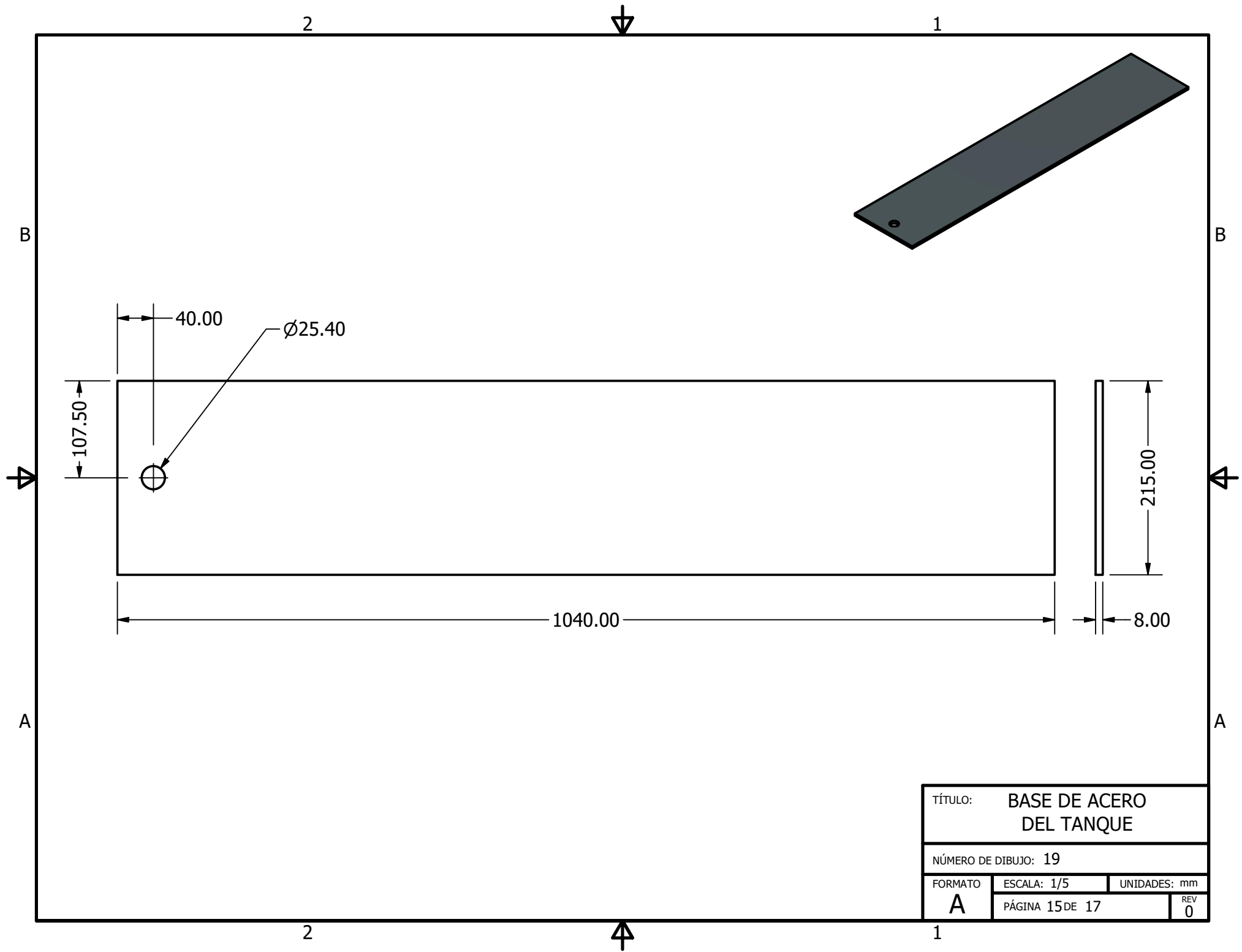
LISTADO DE PARTES		
ELE-MENTO	CANT.	NOMBRE
1	1	BASE_METALICA_TANQUE_AGUA
2	4	Angular a 90
3	2	PARED_AH_AGUJERO_TANQUE_AGUA
4	2	PARED_LH_TANQUE_AGUA
5	1	TAPA_TANQUE_AGUA

TÍTULO: LISTADO DE PARTES ESQUELETO ESTRUCTURAL		
NÚMERO DE DIBUJO:		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 13 DE 17	REV

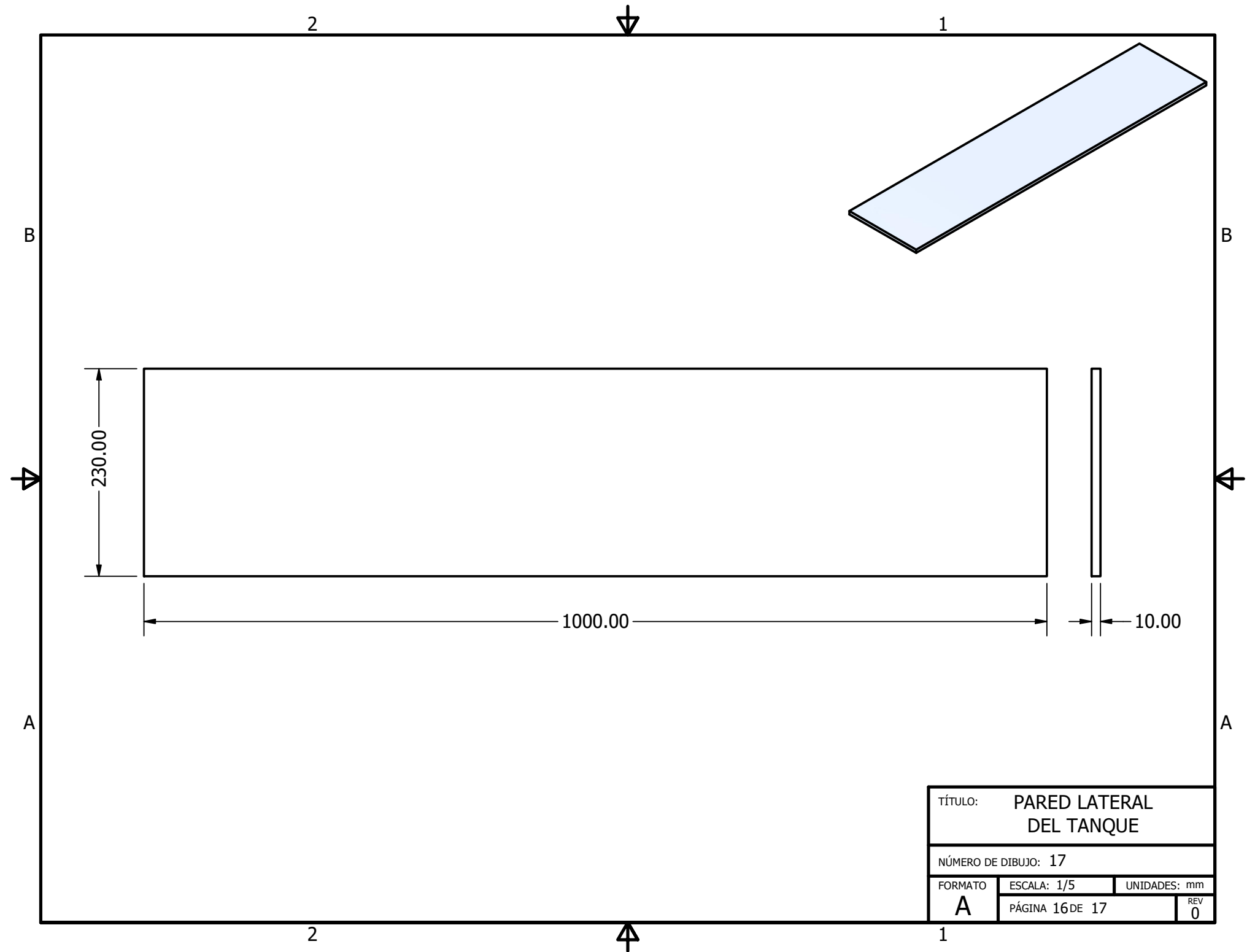
MISMA SOLDADURA PARA LOS 4 PERFILES



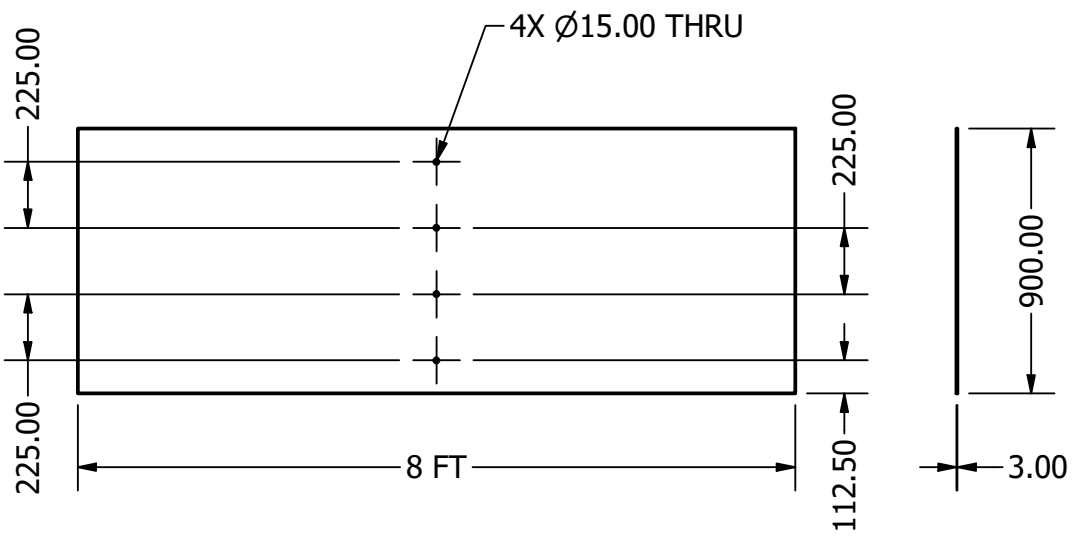
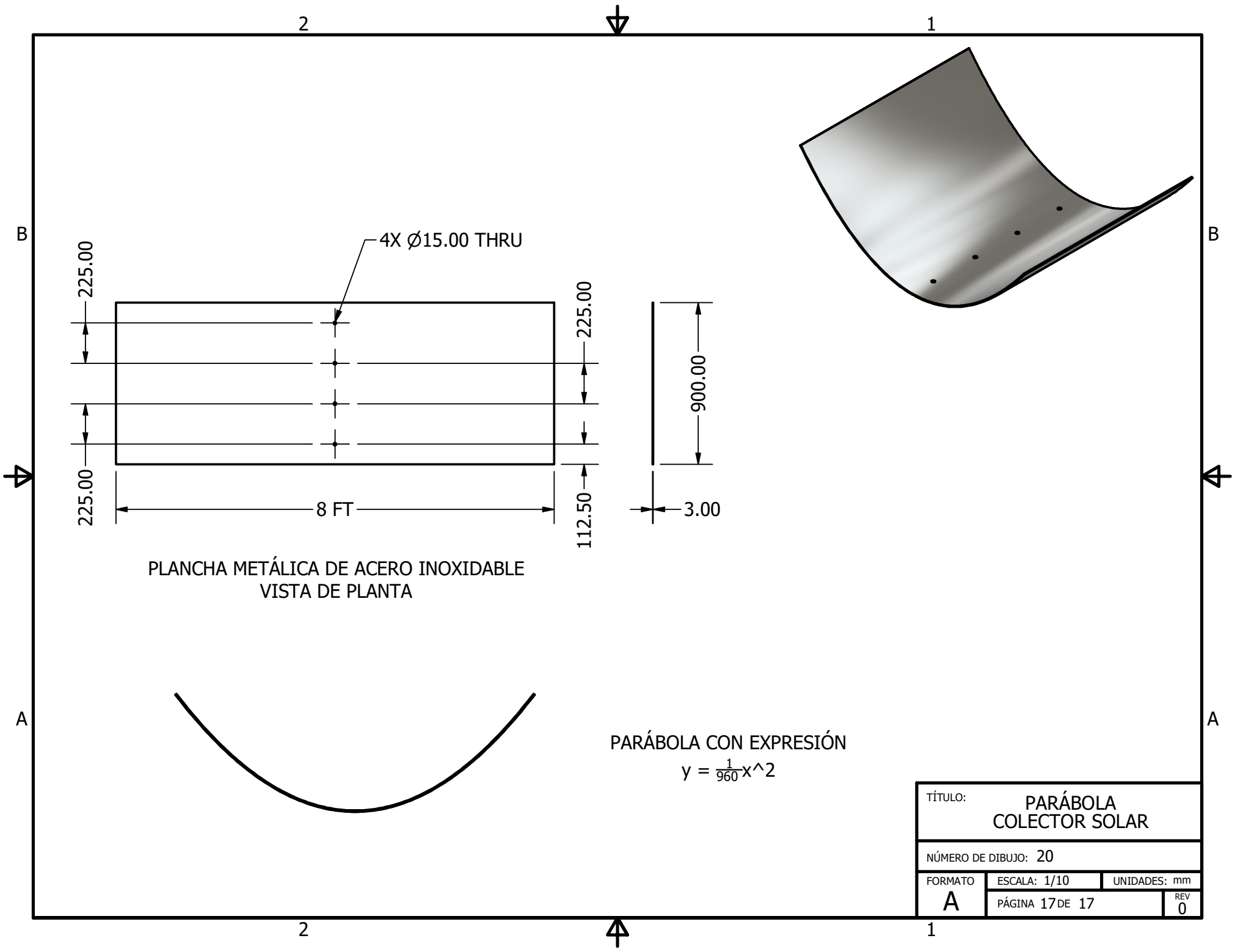
TÍTULO: SOLDADURA TANQUE SODIS		
NÚMERO DE DIBUJO: 14		
FORMATO	ESCALA: 1/6	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 14 DE 17	REV 0



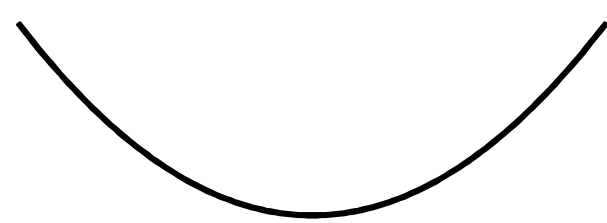
TÍTULO: BASE DE ACERO DEL TANQUE			
NÚMERO DE DIBUJO: 19			
FORMATO	ESCALA: 1/5	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 15 DE 17	REV	0



TÍTULO: PARED LATERAL DEL TANQUE		
NÚMERO DE DIBUJO: 17		
FORMATO	ESCALA: 1/5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 16 DE 17	REV 0



PLANCHA METÁLICA DE ACERO INOXIDABLE
VISTA DE PLANTA



PARÁBOLA CON EXPRESIÓN
 $y = \frac{1}{960}x^2$

TÍTULO:			PARÁBOLA COLECTOR SOLAR		
NÚMERO DE DIBUJO: 20					
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: mm		REV	
A	PÁGINA 17 DE 17		0		