

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA COMPUERTA PLANA PARA
APERTURA Y CIERRE AUTOMÁTICO ALIMENTADA CON ENERGÍA
SOLAR**

**AUTORES:
JONATHAN CAMILO ZAMORA PILATUÑA
PABLO ALBERTO ARIAS RICAURTE**

**TUTOR:
CARLOS IVÁN MALDONADO DÁVILA**

Quito, agosto de 2019

CESION DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jonathan Camilo Zamora Pilatuña con cédula de ciudadanía N° 1718758731 y Pablo Alberto Arias Ricaurte con cédula de ciudadanía N° 1714026430, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA COMPUERTA PLANA PARA APERTURA Y CIERRE AUTOMÁTICO ALIMENTADA CON ENERGÍA SOLAR”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Jonathan Camilo Zamora Pilatuña
C.I. 1718758731



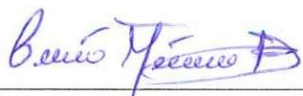
Pablo Alberto Arias Ricaurte
C.I. 1714026430

Quito, agosto de 2019.

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo Carlos Iván Maldonado Dávila declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA COMPUERTA PLANA PARA APERTURA Y CIERRE AUTOMÁTICO ALIMENTADA CON ENERGÍA SOLAR” realizado por Pablo Alberto Arias Ricaurte y Jonathan Camilo Zamora Pilatuña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto de 2019



Carlos Iván Maldonado Dávila

C.I. 1711156073

DEDICATORIA

Este paso de mi vida va dedicado a mis viejos, por el apoyo incondicional que me han dado siempre, porque la educación y el amor que me brindaron día a día han sido los cimientos para lograr ser la persona que soy, más aún por el empuje para que pudiese alcanzar este logro en mi vida, los amo con el alma JAIME y JENNY, les agradezco por su ayuda en toda esta etapa, pero sobre todo, con el corazón en la mano quiero agradecerles a ustedes y a Dios porque los tengo como mis Padres.

Quiero dedicar esta y todas las metas que deseo cumplir contigo a mi lado, porque hasta en la distancia no me permitiste abandonar, me impulsaste a terminar, porque cambiaste mi vida, porque me diste la meta más grande que quiero, una familia contigo y Majo, por las ganas junto con el motivo para ser mejor que generas en mí, por todo tu amor y apoyo te dedico de ahora en más mi vida, hoy como siempre Te Amo mi muñeca Gina Paola.

Pablo Arias.

Primeramente a Dios por darme unos Padres extraordinarios que inculcaron en mí, la perseverancia en cada uno de mis sueños, enfocado en mis metas con los valores en cada aspecto de mi vida.

Mis hermanos Sarai y Jair, mi ángel de luz mi sobrino Elián, mi cuñado Gabriel Zambrano que me ayudan constantemente en mis proyectos, dedicando su apoyo incondicional.

Jonathan Zamora.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a toda mi familia, que han sido un apoyo durante toda mi formación académica.

Al Consejo Provincial de Pichincha por darme la oportunidad de tomar este proyecto y culminar.

A mis compañeros de trabajo Paul Pilatuña, Maria Queipo, Joahan Moncayo, Paulina Fabara, Diana Velez.

A mi amiga incondicional Maria Jose Suntaxi que estuvo en toda la formación académica y mis amigos y compañeros de universidad.

Al Ingeniero Carlos Maldonado por ser parte fundamental en el desarrollo del presente trabajo.

Jonathan Zamora.

Mis agradecimientos son para todas las personas que siempre han estado de uno u otro modo en mi vida con su apoyo o sus consejos, a mi papá que me ayudó con mis estudios, a mi mamá que siempre ha sido el soporte de nuestra familia, a mi hermano Javier quien me ayudó de diferentes maneras, a toda mi familia que siempre ha estado presente, a mis compañeros y amigos con los que espero siempre contar, por supuesto a todos los Ingenieros que ayudan para que nosotros los estudiantes podamos aprender de su conocimiento además quiero agradecer al Ing. Carlos Maldonado por su guía, su ayuda en todo el proceso de este proyecto.

Pablo Arias.

ÍNDICE

CESION DE DERECHOS DE AUTORES	i
DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN.....	xiv
Planteamiento del problema.....	xvi
Importancia	xvi
Objetivos	xvii
Objetivo general.....	xvii
Objetivos específicos	xvii
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Descripción compuerta hidráulica.....	1
1.2 Tipos de compuertas	1
1.2.1 Compuerta segmento.....	1
1.2.2 Compuerta rodante	2
1.2.3 Compuerta de lagarto	3
1.2.4 Compuerta (drop leaf).....	4
1.2.5 Compuerta plana deslizante	5
1.3 Tipos de módulos fotovoltaicos (paneles solares)	7
1.4 Tipos de energía	8
1.4.1 Energía química	9
1.4.2 Energía radiante	9
1.4.3 Energía eléctrica.....	9
1.5 Factores que intervienen en el sistema fotovoltaico	9
1.5.1 Potencia.....	9
1.5.2 Voltaje	9
1.5.3 Intensidad	10
1.5.4 Resistencia eléctrica.....	10
1.5.5 Demanda energética.....	10
1.5.6 Irradiancia	10
1.5.7 Radiación.....	10

1.5.8 Energía solar.....	11
1.6 Componentes del sistema fotovoltaico	12
1.6.1 Regulador	12
1.6.2 Acumuladores	12
1.6.3 Tipos de batería	13
1.6.4 Inversor	13
1.7 Posibilidad de accionamientos	13
1.7.1 Motor reductor	14
1.7.2 Servomotores	14
CAPÍTULO 2: SELECCIÓN DEL TIPO DE COMPUERTA Y PANEL SOLAR ..	16
2.1 Matriz de evaluación para selección de compuerta.....	16
2.1.1 Parámetros para comparación	17
2.1.2 Matriz de evaluación de compuerta segmento	18
2.1.3 Matriz de evaluación de compuerta rodante	19
2.1.4 Matriz de evaluación de compuerta de lagarto	19
2.1.5 Matriz de evaluación de compuerta (drop leaf)	20
2.1.6 Matriz de evaluación de compuerta plana deslizante.....	20
2.2 Matriz de evaluación para selección de paneles solares fotovoltaicos	21
2.2.1 Parámetros de comparación	21
2.2.2 Evaluación de tipos de paneles solares	22
CAPITULO 3: DISEÑO MECÁNICO Y ELÉCTRICO	25
3.1 Posibilidad de accionamientos	25
3.2 Selección de los materiales que conforman la compuerta	25
3.2.1 Marco y pantalla de la compuerta	25
3.2.2 Marco empotrado para el soporte y la guía.....	25
3.2.3 Tuercas y tornillos de presión	26
3.2.4 Eje de izamiento y acoples de la compuerta	26
3.2.5 Guías de deslizamiento y asentamiento	26
3.2.6 Goma EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM)	26
3.3 Diseño de compuerta plana deslizante 1130 x 1670 mm.....	27
3.3.1 Cálculos.....	27
3.3.2 Diseño del sistema de elevación	35
3.3.3 Método de cálculo por números finitos.....	46
3.3.4. Simulación del soporte superior.....	47
3.3.5 Simulación de la compuerta con todos los elementos.....	51

3.3.6 Comportamiento de la compuerta a diferentes presiones	56
3.3.7 Análisis de soldadura	58
3.3.8 Especificaciones técnicas de los elementos del sistema de elevación	59
3.3.9 Dimensionamiento fotovoltaico	61
3.3.10 Cálculo de número de paneles.....	64
3.3.11 Selección del inversor	65
3.3.12 Dimensionamiento de la batería.....	66
3.3.13 Dimensionamiento del controlador de carga.....	67
3.3.14 Características de elementos del sistema fotovoltaico diseñado.....	67
3.3.15 Diagrama eléctrico	72
3.4 Estudio ambiental.....	73
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS	74
4.1 Costos del sistema.....	74
4.1.1 Costos de equipos y materiales mecánicos	75
4.1.2 Costos de equipos y materiales eléctricos.....	76
4.1.3 Costos de instalación y transporte.....	77
4.1.4 Resumen de costos del sistema fotovoltaico y elevación de la compuerta deslizante.....	77
4.1.5 Valor inicial de inversión.....	77
4.1.6 Costos de depreciación.....	78
4.1.7 Análisis de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)	78
4.1.8 Ingreso generado	79
4.1.9 Payback Period.....	80
4.1.10 Cálculos VAN Y TIR.....	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS.....	86
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Compuerta segmento	2
Figura 2. Compuerta rodante	3
Figura 3. Compuerta de lagarto	4
Figura 4. Compuertas (drop leaf).....	5
Figura 5. Compuerta deslizante plana.....	6
Figura 6. Componentes de un sistema solar fotovoltaico	12
Figura 7. Partes de un motor reductor.....	14
Figura 8. Servomotor	15
Figura 9. Triangulo de presiones en el lugar de instalación.....	27
Figura 10. Distribución de presiones	28
Figura 11. Esquema de la viga.....	30
Figura 12. Diagrama del momento máximo de la compuerta.....	30
Figura 13. Coeficientes para el cálculo de esfuerzos admisibles.....	31
Figura 14. Compuerta diseño	32
Figura 15. Esquema de soporte superior.....	33
Figura 16. Diagrama del momento máximo del soporte superior.....	34
Figura 17. Diagrama del momento en el pasador	38
Figura 17. Representación de los elementos de mallado	47
Figura 18. Mallada del soporte superior	47
Figura 19. Esfuerzo de Von Mises del soporte superior	48
Figura 20. Deformación del soporte superior	49
Figura 21. Factor de seguridad del soporte superior.....	50
Figura 22. Mallado de la compuerta	51
Figura 23. Esfuerzo de Von Mises de la pantalla compuerta.....	53
Figura 24. Esfuerzo de Von Mises vista posterior de la pantalla compuerta.....	53
Figura 25. Deformación de la pantalla compuerta.....	54
Figura 26. Deformación vista posterior de la pantalla compuerta	55
Figura 27. Factor de seguridad de la pantalla compuerta	55
Figura 28. Esfuerzo de Von Mises de la pantalla compuerta a presión de 13,05 psi	57
Figura 29. Factor de seguridad de la pantalla compuerta a presión de 13,05 psi	57
Figura 30. Motor	60
Figura 31. Reductor sinfín	60

Figura 32. Panel solar fotovoltaico	68
Figura 33. Inversor.....	69
Figura 34. Batería.....	70
Figura 35. Control de Carga.....	71
Figura 36. Diagrama eléctrico.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Partes de una compuerta deslizante plana.....	6
Tabla 2. Comparación paneles solares	8
Tabla 3. Tipos de batería	13
Tabla 4. Valores para determinar oportunidades o amenazas	16
Tabla 5. Matriz de evaluación de compuerta segmento.....	18
Tabla 6. Matriz de evaluación de compuerta rodante.	19
Tabla 7. Matriz de evaluación de compuerta de lagarto.	19
Tabla 8. Matriz de evaluación de compuerta (drop leaf).	20
Tabla 9. Matriz de evaluación de compuerta plana deslizante.....	20
Tabla 10. Evaluación de paneles solares fotovoltaicos.	22
Tabla 11. Matriz de evaluación de panel solar mono cristalino.....	23
Tabla 12. Matriz de evaluación de panel solar poli cristalino.....	23
Tabla 13. Matriz de evaluación de panel solar capa fina.	24
Tabla 14. Presión hidrostática 1	28
Tabla 15. Presión hidrostática 2	28
Tabla 16. Fuerza hidrostática 1	29
Tabla 17. Fuerza hidrostática 2	29
Tabla 18. Cálculo del módulo de sección de la pantalla	31
Tabla 19. Fuerza de fricción lateral.....	32
Tabla 20. Fuerza de elevación.....	33
Tabla 21. Cálculo del módulo de sección del soporte superior.....	34
Tabla 22. Área del tornillo	35
Tabla 23. Diseño de la tuerca	36
Tabla 24. Tornillo y tuerca, características	36
Tabla 25. Diseño de elevación	37
Tabla 26. Cálculo de fuerza para el volante	37
Tabla 27. Selección del perno	39
Tabla 28. Selección de la cadena.	39
Tabla 29. Relación de transmisión.	40
Tabla 30. Potencia corregida.....	41
Tabla 31. Cálculo de diámetro primitivo	42
Tabla 32. Cálculo de longitud de cadena	43

Tabla 33. Cálculo de velocidad lineal	43
Tabla 34. Cálculo de esfuerzo útil.....	44
Tabla 35. Cálculo de fuerza centrífuga	45
Tabla 36. Cálculo de coeficientes de seguridad	45
Tabla 37. Cálculo de presión máxima de contacto.....	46
Tabla 38. Propiedades del material	47
Tabla 39. Propiedades del material	51
Tabla 40. Parámetros para simulación de la pantalla	52
Tabla 41. Material de aporte, características.....	58
Tabla 42. Cordón de soldadura, características.....	59
Tabla 43. Motor.....	59
Tabla 44. Reductor sinfín.....	60
Tabla 45. Irradiancia cantones Cayambe y Pedro Moncayo.....	62
Tabla 46. Consumo diario del equipo a instalar.....	64
Tabla 47. Panel solar	68
Tabla 48. Inversor	69
Tabla 49. Batería	70
Tabla 50. Controlador de carga	71
Tabla 51. Sección de conductores	72
Tabla 52. Costos de materiales y equipos del sistema de elevación	75
Tabla 53. Costos de materiales y equipos del sistema fotovoltaico	76
Tabla 54. Costos del sistema fotovoltaico.....	77
Tabla 55. Costos.....	77
Tabla 56. Ingresos generados	80
Tabla 57. VAN y TIR.....	82

NOMENCLATURA

MPa	Mega Pascal
Pa	Pascal
psi	Libras por pulgada cuadrada
kN	Kilo Newton
N	Newton
PH	Presión hidrostática
ρ	Densidad
m^3	Metro cúbico
m^2	Metro cuadrado
m	Metro
mm	Milímetro
g	Gravedad
h	Altura
S	Módulo de sección
M	Momento máximo
σ	Esfuerzo admisible
TF	Fuerza de fricción lateral
μ	Coefficiente de fricción
Fl	Fuerza lateral
Fe	Fuerza de elevación
W	Carga propio peso
A	Sección mínima resistente
H	Longitud de tuerca
d	Diámetro interior
T	Torque
dm	Diámetro medio
P	Paso
S_{ut}	Esfuerzo a la tracción
S_{ty}	Esfuerzo a la fluencia
S_{vm}	Esfuerzo de Von Mises
f_{max}	Deformación máxima
n	Factor de seguridad

V	Voltios
Hz	Hertz
rpm	Revoluciones por minuto
HPS	Horas de pico solar
D_{aut}	Días de autonomía
PGF	Factor de generación del panel
P_{max}	Potencia máxima
Y_1	Pérdidas de la batería
Y_2	Descarga profunda
Y_3	Voltaje nominal de la batería
Y_4	Consumo máximo
CO_2	Dióxido de carbono

RESUMEN

Se ha analizado la necesidad de contar con un sistema de distribución de agua para las comunidades que pertenecen a Cayambe – Pedro Moncayo. La implementación de un sistema automático con su respectiva fuente de poder, en una o más compuertas planas, tiene por propósito optimizar su funcionamiento para la distribución del agua a través de canales. Para lograr este objetivo las condiciones de trabajo del sistema mecánico y la frecuencia de uso van a ser evaluados y calculados; esta automatización no puede ser alimentada adecuadamente por el sistema eléctrico debido a la ubicación del canal, en consecuencia, el sistema fotovoltaico ha sido diseñado para proveer energía y controlar la apertura-cierre automático de dichas compuertas. El principal objetivo es ofrecer un sistema alternativo que reemplace la operación manual optimizando recursos en la distribución del agua por el canal de riego. Como resultado, este proyecto fue determinado viable, ya que energía renovable está siendo usada, su diseño alcanza estándares y ofrece resultados para el buen uso del sistema mecánico y fotovoltaico.

ABSTRACT

The need for a distribution water system for communities that belong to Cayambe – Pedro Moncayo has been analyzed. The implementation of an automatic system with its respective power source, in one or more flat gates, is intended to optimize its operation for the water distribution through canals. To achieve this objective, the working conditions of the mechanical system and the frequency of use will be assessed and calculated; due to the lack of electric power, it cannot be automated, consequently the photovoltaic system has been designed to provide energy, and control the automatic opening-closing of said gates. The main project-objective is to offer an alternative system that replaces manual operation by optimizing resources in the distribution of water through the irrigation canal. As a result, this project was determined viable, since renewable energy is being used, its design reaches standards and offers results for the good use of the mechanical and photovoltaic system.

Planteamiento del problema

Este proyecto se desarrolla por la necesidad de las comunidades en Tupigachi, Tabacundo Olmedo, La Esperanza, Malchingui, Ayora y Tocachi de abastecerse con el líquido vital para las parcelas de sus residentes mediante el represamiento de agua de los ríos Arturo Boquerón y San Pedro que nacen por el deshielo en el nevado Cayambe, para de esta manera incrementar la producción en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo por lo que se ha construido el canal de riego para proveer de agua las plantaciones el cual será regulado por compuertas planas deslizantes en épocas de crecidas por el invierno, las mismas que se han implementado en los distintos puntos de captación de agua de tal modo que se dirija dicho líquido al canal de riego para las comunidades antes mencionadas.

Importancia

La realización de este proyecto ayudará a miles de pequeños productores y provee del líquido vital a cerca de 14 mil hectáreas en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. En su administración el prefecto de Pichincha en los años 2006 a 2019, Gustavo Baroja, aseguró que se tiene la capacidad de proveer los volúmenes de agua que requieren en toda el área. Olmedo, es una de las parroquias más favorecidas, con la necesidad de regar 528 ha, se le ha asignado el volumen de 146 litros por cada hectárea. [1]

Se tomó en cuenta que, para los inicios de operación del sistema de riego, habría un acumulado de 452 mil toneladas de alimento de origen agrícola, al igual que 135 millones de litros de leche, teniendo en cuenta que estos aportes forman gran parte de la seguridad alimentaria del país y por supuesto la región. [1]

El Gobierno de Pichincha también generó y ayudó en el proceso de líneas de crédito con BanEcuador para los productores que financiarán las redes terciarias, entonces el agua del sistema llegará a cada una de sus zonas. [1]

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y simular una compuerta plana para apertura y cierre automático alimentada con energía solar.

Objetivos específicos

- Diseñar la compuerta plana mediante levantamiento de planos en acuerdo al Consejo Provincial de Pichincha.
- Diseñar los sistemas mecánicos elaborando planos de construcción a detalle para la compuerta.
- Analizar el desempeño de la compuerta con el motor alimentado mediante paneles de energía solar.
- Validar el comportamiento mecánico de la compuerta mediante simulación.
- Realizar evaluación de costos y la viabilidad del proyecto.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Descripción compuerta hidráulica

La compuerta es una estructura mecánica-hidráulica compuesta de una superficie plana o curva de acuerdo a la necesidad, sirve para controlar el represamiento de agua, dicha estructura crea una abertura entre el borde inferior del canal y el borde inferior de la compuerta, el control que proporciona el uso de las compuertas sirve para crear sistemas de drenaje, cierres de emergencia en los canales para su mantenimiento, proyectos para irrigación de campos y control de inundaciones. Al momento existen varios tipos de compuertas que dependen de la aplicación, tamaño, forma del orificio o apertura a instalarse e incluso su movimiento y operación.

1.2 Tipos de compuertas

A continuación, algunos de los principales tipos de compuertas:

1.2.1 Compuerta segmento

La compuerta de segmento parte de una estructura de control móvil, consiste en una placa de revestimiento en forma curva que provoca un remanso en el canal con circulación, soportada por brazos comprimidos que trasladan las fuerzas hidráulicas a los cojinetes fijos (Fig. 1).

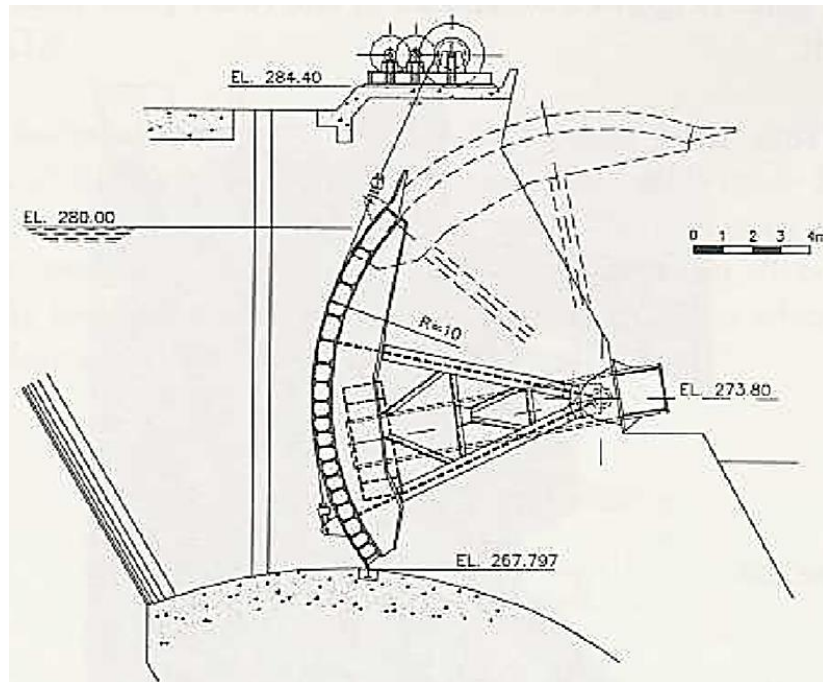


Figura 1. Compuerta segmento [2]

Estas compuertas suelen proyectar para cierre por gravedad con la máxima carga se diseña para que la lámina de agua o cualquier flotante no coincida sobre la compuerta estando es su posición de máxima apertura. [3]

1.2.2 Compuerta rodante

Para elevar o bajar la compuerta, se levanta con las cadenas que la hacen rodar hacia arriba en la cremallera. Las compuertas rodantes se diseñaron para compuertas anchas donde su rigidez estructural y alta resistencia a la torsión. La puerta es compleja de fabricar, impone dificultades para diseñar sellos laterales efectivos y es vulnerable a atascos si se acumulan restos en el estante. [4]

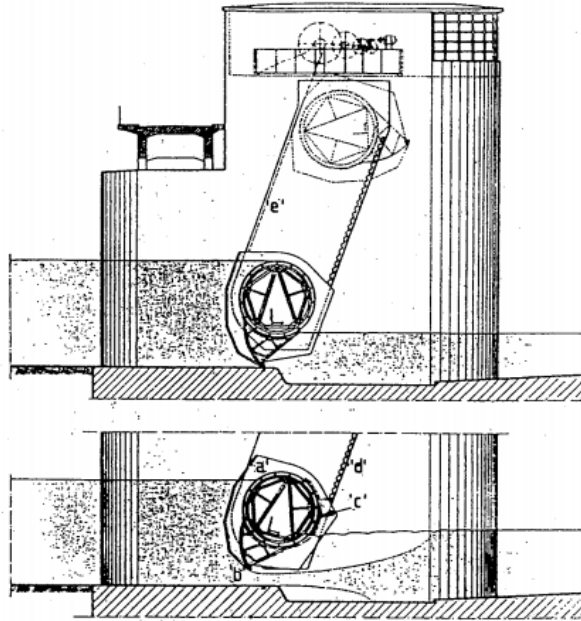


Figura 2. Compuerta rodante [4]

1.2.3 Compuerta de lagarto

Esta compuerta consta de rodillos laterales que se deslizan en el plano vertical.

Los trenes de rodillos recorren con la puerta, fricción baja en los rodillos y su capacidad alta de carga recomienda el uso de la compuerta, para apertura y cierre las tomas de presión, para la acción descargas de fondo. [5]

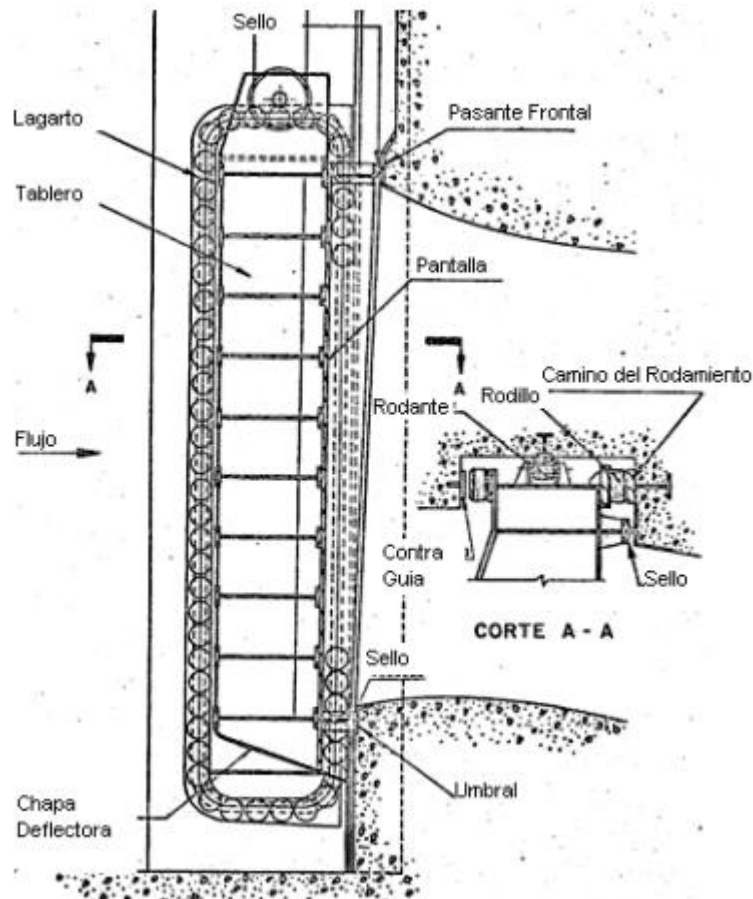


Figura 3. Compuerta de lagarto [5]

Generalmente se diseñan como compuertas de entrada de alta potencia y se usan solo en las posiciones totalmente abiertas o cerradas, excepto para llenar el conducto en las operaciones de agrietamiento y cierres de emergencia. La apertura y el cierre normales se llevan a cabo bajo presiones equilibradas. [5]

1.2.4 Compuerta (drop leaf)

Las compuertas drop leaf son fabricadas a partir de placas y ángulos estructurales de acero incorporadas con soldadura (Fig. 4). Su fabricación depende de la presión hidrostática y del diseño del tipo de sellado, por lo que esta compuerta no es tan hermética como otras compuertas. [6]

Esta compuerta está diseñada para unas cabezas de 1,52 a 3 metros. Su uso más común son proyectos de conservación de suelos, represas de cabeza pequeña, control de flujo, como reemplazo de compuertas Taintor y en proyectos de irrigación. [6]



Figura 4. Compuertas (drop leaf) [7]

1.2.5 Compuerta plana deslizante

Estas compuertas son corredizas y su funcionamiento es muy simple deslizándose, recorriendo los rieles laterales que sirven de guías los cuales se colocan fijos en el lugar donde la compuerta se va a usar y que generalmente es un canal hecho de concreto.

En este caso la compuerta plana que estará en contacto con dichos rieles debe ser de una superficie lo suficientemente deslizante, y aunque los materiales de fabricación pueden ser de hierro, aluminio, acero al carbón, antiguamente de madera o acero estructural, hoy por hoy lo más común es hacerlas metálicas, porque al tener contacto en sus partes de apoyo van a actuar como sellos y se las puede recubrir con plástico reforzado con fibra de vidrio para cuando se tiene condiciones muy altas de corrosión.

Como estas compuertas se operan de una manera simple pero segura no requieren de gran esfuerzo ni constante mantenimiento, y los usos más comunes de las compuertas planas deslizantes son en canales de riego, aliviaderos de depósitos, alcantarillas usándolas como control de niveles o volúmenes de agua.

En gran parte las compuertas elevadas verticalmente se contrapesan para minimizar su carga al elevarse, sin embargo, para una utilización óptima son instaladas en alturas reducidas y para todo rango de presión, pero depende su tamaño necesitan una gran fuerza aplicada para que se muevan, tomando en cuenta su tamaño resultan generalmente más económicas.

Partes de una compuerta plana deslizante:

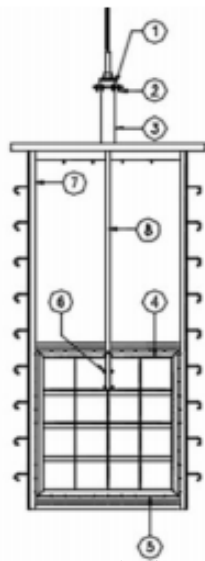


Figura 5. Compuerta deslizante plana [2]

Tabla 1. Partes de una compuerta deslizante plana.

Parte	Descripción
1	Mecanismo de izaje y tornillo
2	Tuerca arandela acople de mecanismo de izaje
3	Soporte superior
4	Pantalla de compuerta
5	Conjunto tornillo exterior, tuerca arandela, acople arandelas, acople sellos
6	Conjunto tornillo exterior, tuerca arandela, acople tornillo a pantalla
7	Guía
8	Tornillo

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

1.3 Tipos de módulos fotovoltaicos (paneles solares)

Para los diferentes paneles más usados en la actualidad se pueden destacar las siguientes tres tecnologías. [8]

- Silicio monocristalino.
- Silicio policristalino.
- Capa fina (amorfo).

Un módulo fotovoltaico de silicio está constituido por la agrupación de diferentes células interconectadas entre sí, para formar el panel de las características eléctricas de potencia, tensión y corriente deseadas. Las células mono cristalinas están formadas por un único tipo de cristal de silicio. Durante el proceso de fabricación se controla el crecimiento para que cristalice en una sola dirección consiguiendo un alineamiento, casi perfecto. [8]

En cambio, en las células poli cristalinas no se controla el crecimiento del cristal de silicio. El cristal crece en todas las direcciones creando un conjunto de cristales diferentes unidos entre sí. [8]

Aunque inicialmente el sistema de fabricación del cristal monocristalino era un poco más caro que el del policristalino, se ha venido utilizando esta técnica porque se conseguía obtener más rendimiento de las células. Con la mejora de los procesos de fabricación estas diferencias, tanto de coste como de rendimiento, han ido disminuyendo. [8]

Los paneles llamados de capa fina se fabrican depositando de manera continua diferentes capas de material fotovoltaico, como pueden ser silicio amorfo, telurio de cadmio u otros materiales. Presentan menos rendimiento lo que hace que su utilización suponga una mayor superficie. Su relación de precio global, para una potencia dada instalada, es similar a los de silicio cristalino. [8]

Con todo lo anterior, al día de hoy la tecnología propuesta para utilizar en las aplicaciones, como la que ocupan esta guía, es la de silicio policristalino. [8]

En la siguiente imagen se encuentran las diferencias de acuerdo con la tecnología usada para su fabricación.

Tabla 2. Comparación paneles solares [9]

Silicio	Rendimiento en laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
Monocristalino	24 %	15-18 %	Son típicos azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
Policristalino	19-20 %	12-14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
Amorfo	16 %	<10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

1.4 Tipos de energía

La energía puede expresarse de diferentes maneras siendo estas:

- Energía química
- Energía radiante
- Energía eléctrica
- Energía térmica
- Energía nuclear

Se enfocará en las energías radiante, química y eléctrica porque son los factores para el diseño de los paneles fotovoltaicos.

1.4.1 Energía química

Es la energía asociada a las reacciones químicas. Estas reacciones, como la combustión de gas, son exotérmicas y liberan calor. [10]

1.4.2 Energía radiante

Es la que tienen las ondas electromagnéticas, como la luz, los rayos ultravioletas, etc. Pueden transmitirse sin necesidad de soporte material alguno, en el vacío, como es el caso de la energía del Sol. [10]

1.4.3 Energía eléctrica

Está relacionada con el movimiento de las cargas eléctricas a través de los materiales conductores. [10]

1.5 Factores que intervienen en el sistema fotovoltaico

A continuación, se define los factores a usarse en este diseño.

1.5.1 Potencia

Es la transferencia de energía por unidad de tiempo. [10]

1.5.2 Voltaje

Es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica. [10]

1.5.3 Intensidad

Se define como la cantidad de carga eléctrica que pasa por una sección de conductor por unidad de tiempo. Se mide en amperios (A). [10]

1.5.4 Resistencia eléctrica

Es la oposición que presentan los cuerpos al paso de las corrientes eléctricas, es decir, que los electrones de los cuerpos rozan con los átomos del material. Sus usos más comunes son limitar la corriente, dividir el voltaje y generar calor [11]

1.5.5 Demanda energética

Es la carga energética requerida por una determinada fuente durante un lapso de tiempo concreto, que mide el consumo de energía, más no el valor del consumo mismo [11]

1.5.6 Irradiancia

Densidad de potencia de la radiación incidente sobre una superficie, es decir, el cociente entre el flujo radiante incidente sobre la superficie y el área de esa superficie. [12]

1.5.7 Radiación

Cantidad de energía que recibe la tierra por parte del sol en forma de ondas electromagnéticas. La radiación atraviesa el espacio vacío en todas las direcciones y no sufre pérdidas apreciables.

1.5.7.1 Radiación directa

Es la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber experimentado cambios de dirección [13]

1.5.7.2 Radiación difusa

Es la radiación que llega a la superficie de forma dispersa, es decir, sin una orientación determinada (días cubiertos) [13]

1.5.7.3 Radiación solar reflejada

Este tipo de radiación solar es la que refleja la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. [14]

1.5.8 Energía solar

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, pudiendo ser de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos. [14]

1.5.8.1 Energía solar fotovoltaica

La tecnología solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la radiación del sol en electricidad. Esta conversión se realiza a través de la célula solar, unidad básica en la que se produce el efecto fotovoltaico. [15] La energía solar fotovoltaica tiene una extensas aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer

las necesidades energéticas de los que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red).

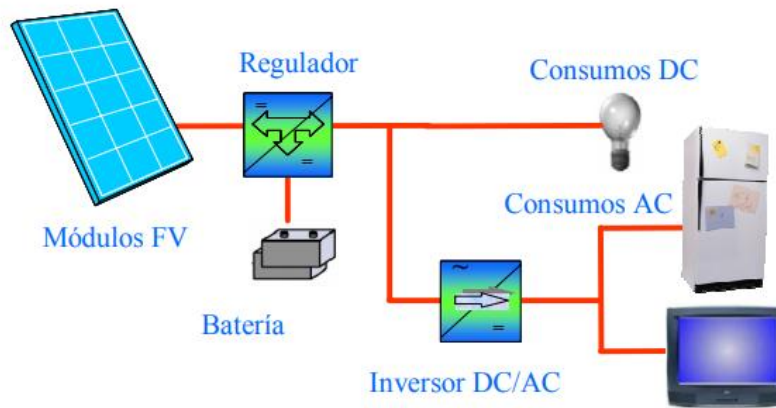


Figura 6. Componentes de un sistema solar fotovoltaico [15]

1.6 Componentes del sistema fotovoltaico

1.6.1 Regulador

Un regulador de carga es un equipo electrónico capaz de evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador [13]

Para el correcto funcionamiento hay que instalar un sistema de regulación de carga en la conexión entre los paneles solares y las baterías, este componente tiene con finalidad evitar situaciones de carga y sobrecarga de la batería con su objetivo de alargar la vida útil.

1.6.2 Acumuladores

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. [16]

Los módulos fotovoltaicos no se producen de manera uniforme, estas variaciones pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida.

1.6.3 Tipos de batería

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados.

Tabla 3. Tipos de batería [9]

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga (Horas)	Auto descarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad
Plomo - ácido	2	8 - 16	< 5 %	Medio	30-50
+ ida					W-h / kg
Ni-Cd (níquel - cadmio)	1,2	1	20 %	Elevado	50-80
					W-h / kg
Ni-Mh (níquel - metal hydride)	1,2	2 - 4	20 %	medio	60-120
					W-h / kg
Li-ion (ion litio)	3,6	2 - 4	6 %	Medio- bajo	110-160
					W-h / kg

1.6.4 Inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 50 Hz [16]

1.7 Posibilidad de accionamientos

Las opciones por considerar para el accionamiento de la compuerta tanto para el cierre como para su apertura son:

- Motor reductor
- Servomotor

1.7.1 Motor reductor

Los reductores o motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente. [17]

Los motorreductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz. [17]

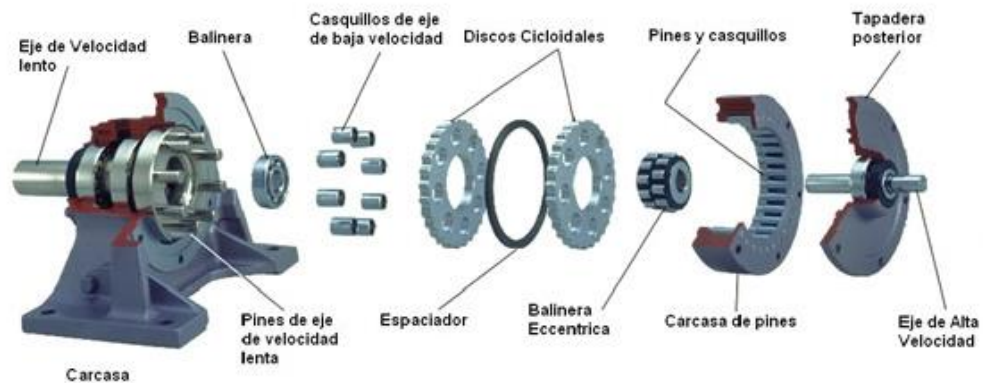


Figura 7. Partes de un motor reductor [18]

1.7.2 Servomotores

Un servomotor es un arreglo mecatrónico basado en un motor eléctrico, una caja de reducción y control de potencia. [19]

Su principal característica son el par y la velocidad, la tensión de alimentación esta entre 4 y 8 voltios. Los servomotores son de aplicación habitual en la industria, los hay de gran torque, así como de velocidad. [19]



Figura 8. Servomotor [19]

CAPÍTULO 2: SELECCIÓN DEL TIPO DE COMPUERTA Y PANEL SOLAR

Para realizar la selección de la compuerta a usarse se realizó el reconocimiento del lugar en una visita técnica teniendo en cuenta sus características y medidas para de esta manera dar garantía que este diseño cumplirá su trabajo de la forma solicitada y esperada.

2.1 Matriz de evaluación para selección de compuerta

Con el análisis se diagnostica cual compuerta es mejor para su instalación en el canal en el cual detallamos en la tabla 2 cuyos resultados se generaron a partir de una cadena de valor.

El siguiente paso es asignar una calificación de 1 a 4 a cada factor para indicar cuán efectivamente las estrategias actuales responden ante el factor, multiplicar el peso de cada factor por su calificación, para obtener una calificación ponderada; y sumar las calificaciones ponderadas.

Tabla 4. Valores para determinar oportunidades o amenazas

Valores de calificación	Puntuación
Amenaza importante	1
Amenaza menor	2
Oportunidad menor	3
Oportunidad importante	4

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

En la Matriz el total ponderado más alto que puede obtener es 4.0 y el total ponderado más bajo posible es 1.0. El valor del promedio ponderado es 2.5, un promedio ponderado de 4.0 indica de manera excelente las oportunidades. Lo que quiere decir que están aprovechando con eficacia las oportunidades existentes, un promedio

ponderado de 1.0 indica que no están muy bien las oportunidades como lo señala la calificación. [20]

Esta etapa corresponde a la evaluación con el objeto de diagnosticar cuál de las compuertas es la más indicada para su instalación y su diseño en el canal.

2.1.1 Parámetros para comparación

En las matrices de evaluación se toma en cuenta los principales aspectos para la comparación que son:

- Fabricación
- Manejo operacional
- Instalación
- Mantenimiento
- Costos

2.1.1.1 Fabricación

Este parámetro indica cuál de las alternativas tiene mayor o menor dificultad en su proceso de construcción y uno de los más importantes a tomar en cuenta para la selección.

2.1.1.2 Formación operacional

Aquí se hace referencia a la capacitación que se le da al personal que se encargará de la operación del equipo.

2.1.1.3 Instalación

Se considera el nivel de dificultad en la instalación y acoplamiento de la compuerta al canal para su correcto funcionamiento.

2.1.1.4 Mantenimiento

Para este se toma en cuenta el nivel de dificultad que se le genera a la persona a cargo del mantenimiento cuando tenga que manipular el equipo o las piezas del mismo.

2.1.1.5 Costos

Cada opción de compuerta a escoger tiene un valor en lo que se refiere tanto a materiales como mano de obra y repuestos, es otro parámetro más importante en las matrices para esta selección.

2.1.2 Matriz de evaluación de compuerta segmento

Tabla 5. Matriz de evaluación de compuerta segmento.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Fabricación	0,16	3	0,48
Formación operacional	0,16	3	0,48
Instalación	0,16	2	0,32
Mantenimiento	0,2	2	0,4
Soporte técnico de proveedores	0,12	3	0,36
Costos	0,2	1	0,2
Total ponderado	1		2,24

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.1.3 Matriz de evaluación de compuerta rodante

Tabla 6. Matriz de evaluación de compuerta rodante.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Fabricación	0,16	1	0,16
Formación operacional	0,16	1	0,16
Instalación	0,16	2	0,32
Mantenimiento	0,2	2	0,4
Soporte técnico de proveedores	0,12	3	0,36
Costos	0,2	1	0,2
Total ponderado	1		1,6

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.1.4 Matriz de evaluación de compuerta de lagarto

Tabla 7. Matriz de evaluación de compuerta de lagarto.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Fabricación	0,16	1	0,16
Formación operacional	0,16	2	0,32
Instalación	0,16	1	0,16
Mantenimiento	0,2	1	0,2
Soporte técnico de proveedores	0,12	2	0,24
Costos	0,2	1	0,2
Total ponderado	1		1,28

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.1.5 Matriz de evaluación de compuerta (drop leaf)

Tabla 8. Matriz de evaluación de compuerta (drop leaf).

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Fabricación	0,16	3	0,48
Formación operacional	0,16	3	0,48
Instalación	0,16	3	0,48
Mantenimiento	0,2	2	0,4
Soporte técnico de proveedores	0,12	3	0,36
Costos	0,2	4	0,8
Total ponderado	1		3,00

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.1.6 Matriz de evaluación de compuerta plana deslizante

Tabla 9. Matriz de evaluación de compuerta plana deslizante.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Fabricación	0,16	4	0,64
Formación operacional	0,16	3	0,48
Instalación	0,16	4	0,64
Mantenimiento	0,2	3	0,6
Soporte técnico de proveedores	0,12	3	0,36
Costos	0,2	4	0,8
Total ponderado	1		3,52

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

La obtención de un valor total inferior a 1,28 muestra que la compuerta de lagarto está por debajo del promedio. En el caso de la compuerta plana deslizante generó una puntuación de 3,52, lo cual indica que es favorable debido a la simplicidad de su diseño y mantenimiento, representando costos inferiores en relación a las demás compuertas.

El diseño seleccionado es la compuerta plana deslizante, este tipo de compuerta se ajusta y cumple con los requerimientos para el control de caudal, su funcionamiento es bastante eficiente, sencillo y de fácil mantenimiento en el lugar a usarse.

2.2 Matriz de evaluación para selección de paneles solares fotovoltaicos

Se usará la calificación establecida en los puntos 2.1 de matriz de evaluación de oportunidades y amenazas para la selección del más óptimo.

2.2.1 Parámetros de comparación

2.2.1.1 Eficiencia

La cantidad de energía que el panel solar es capaz de irradiar los paneles solares pueden variar según el fabricante y las condiciones climáticas.

2.2.1.2 Costo

Los costos para la implementación del sistema solar fotovoltaico son altos por lo tanto se debe hacer un estudio para la inversión que se realizara.

2.2.1.3 Vida útil

Para el estudio del proyecto se pretende que los paneles solares cumplan con un tiempo de trabajo duradero para recuperar la inversión inicial.

2.2.1.4 Tamaño del equipo



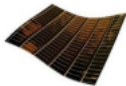
La importancia de las dimensiones de los paneles solares para pueda ser ubicado en el espacio físico.

2.2.1.5 Voltaje nominal

Con este dato se seleccionará la batería, inversor y regulador.

2.2.2 Evaluación de tipos de paneles solares

Tabla 10. Evaluación de paneles solares fotovoltaicos.

Paneles	Grafico	Eficiencia	Costo (USD / W)	Vida útil (años)	Tamaño del equipo m ² /kW	Voltaje nominal
Mono cristalino		18 %	0,50 – 0,8	25 - 30	7 - 9	30
Poli cristalino		14 %	0,40 – 0,5	23 - 27	8 - 11	30
Capa fina		21 %	1,1 - 1,4	10 - 14	11 - 13	32

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.2.2.1 Matriz de evaluación de panel solar mono cristalino

Tabla 11. Matriz de evaluación de panel solar mono cristalino.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Eficiencia	0,20	4	0,80
Costo	0,20	3	0,60
Vida útil	0,30	3	0,90
Tamaño del equipo	0,10	5	0,50
Voltaje nominal	0,20	4	0,80
Total ponderado	1		3,60

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.2.2.2 Matriz de evaluación de panel solar poli cristalino

Tabla 12. Matriz de evaluación de panel solar poli cristalino.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Eficiencia	0,20	4	0,80
Costo	0,20	5	1
Vida útil	0,30	4	1,2
Tamaño del equipo	0,10	4	0,40
Voltaje nominal	0,20	4	0,80
Total ponderado	1		4,20

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

2.2.2.3 Matriz de evaluación de panel solar capa fina

Tabla 13. Matriz de evaluación de panel solar capa fina.

Aspectos técnicos	Valor	Calificación	Valor total (pts)
Eficiencia	0,20	4	0,80
Costo	0,20	3	0,60
Vida útil	0,30	3	0,9
Tamaño del equipo	0,10	4	0,40
Voltaje nominal	0,20	4	0,80
Total ponderado	1		3,50

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

La obtención de un valor total inferior a 3,50 muestra que el panel solar Capa fina está por debajo del promedio. En el caso del panel solar Poli cristalino generó una puntuación de 4,20 puntos lo cual indica que es favorable en relación a los demás paneles solares fotovoltaicos.

El diseño que se selecciona es el panel solar poli cristalino, su funcionamiento es eficiente, otorgará una vida útil para obtener la inversión inicial del proyecto.

CAPITULO 3: DISEÑO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

3.1 Posibilidad de accionamientos

- Eléctrico motorizado con controles integrales y respaldo a volante manual
- Manual a volante directo, volante caja de engranes, cadena, manivela
- Oleo hidráulico
- Neumático
- Viga de izaje y polipasto
- Automatización con tarjetas electrónicas de control remoto o PLC programables

3.2 Selección de los materiales que conforman la compuerta

3.2.1 Marco y pantalla de la compuerta

La pantalla de la compuerta está hecha en acero inoxidable AISI 304, este acero es recomendado por su resistencia a la corrosión y al constante contacto con el agua, del mismo modo para el marco se utiliza este material además de los refuerzos de la compuerta, estos dan rigidez a la pantalla, estas partes de la compuerta permanecerán en contacto con el agua.

3.2.2 Marco empotrado para el soporte y la guía

Las guías de la compuerta son fabricadas con acero inoxidable AISI 304 debido a que por su constantemente contacto con el agua se necesita la resistencia que este proporciona para impedir la corrosión, el espacio de las guías empotradas es de dimensiones limitadas.

3.2.3 Tuercas y tornillos de presión

Las tuercas y los tornillos de sujeción se utiliza acero inoxidable AISI 304 según el manual Metacol las tuercas deben de ser de bronce por el bajo coeficiente de fricción [21]

3.2.4 Eje de izamiento y acoples de la compuerta

El eje de izamiento para la compuerta se fabrica con acero inoxidable AISI 304, los soportes de carbono A36, los tornillos que conformarán esta parte de la compuerta serán de acero inoxidable AISI 304 puesto que van a permanecer expuestos a la intemperie y el tipo de clima en esta zona es muy húmedo.

3.2.5 Guías de deslizamiento y asentamiento

El área de deslizamiento se realiza de acero inoxidable AISI 304, la solera de acero al carbono y su área de sellado acero inoxidable AISI 304, vale recalcar que las áreas de deslizamiento también deben ser de acero inoxidable AISI 304 debido al constantemente roce que sufrirán, los deslizadores serán en nylon porque poseen un coeficiente de fricción bajo y esto permitirá que el deslizamiento de la compuerta sea suave además que este material no es corrosivo y su desgaste es menor.

3.2.6 Goma EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM)

Es un termopolímero elastómero con una reconocida gran resistencia al desgaste y a la abrasión, además de ser auto lubricante brindando un coeficiente de fricción bajo. La composición de este material contiene entre un 45 % y un 75 % de etileno, siendo en general más resistente cuanto más porcentaje ofrezca. Posee excelentes propiedades al aislamiento eléctrico y una muy buena resistencia a los agentes atmosféricos. La temperatura de trabajo oscila en el rango de -40 °C y los 140 °C Se obtiene como un tercer monómero, y resulta especialmente útil para el sellado de líquidos hidráulicos, también se usa como lámina impermeabilizante de cubiertas de todo tipo. [22]

3.3 Diseño de compuerta plana deslizante 1130 x 1670 mm

El diseño de la compuerta plana deslizante cumple con los requerimientos de diseño de las normas NBR8883 (2012) y ASME II A “ferrous material specifications” (2013), estas normas dan los parámetros de diseño, fabricación, y el montaje del mismo.

3.3.1 Cálculos

3.3.1.1 Determinación de presión

A continuación, se obtiene dos presiones hidrostáticas a diferentes alturas para la simulación, teniendo en cuenta la presión en psi.

$$PH = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde:

PH: presión hidrostática

ρ : densidad (1000 kg / m³)

g: gravedad (9.81m / s²)

h: altura

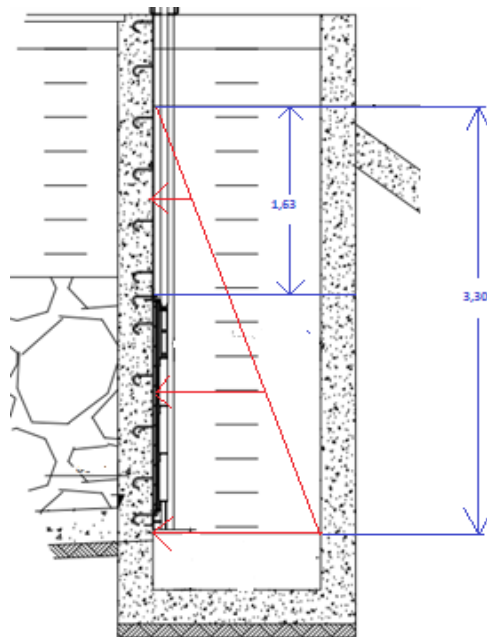


Figura 9. Triángulo de presiones en el lugar de instalación

3.3.1.2 Presión hidrostática 1

Tabla 14. Presión hidrostática 1

Presión hidrostática (N/m ²)	PH1	32373
Presión hidrostática (psig)	PH1	4,695
Altura máxima del líquido (m)	h1	3,30

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.1.3 Presión hidrostática 2

Tabla 15. Presión hidrostática 2

Presión hidrostática (N/m ²)	PH2	15990,3
Presión hidrostática (psig)	PH2	2.319
Altura máxima del líquido (m)	h2	1,63

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.1.4 Fuerza de presiones hidrostáticas

Una vez obtenidos los valores de las presiones hidrostáticas se encuentra dos fuerzas de presiones para seleccionar el tipo de material de construcción.

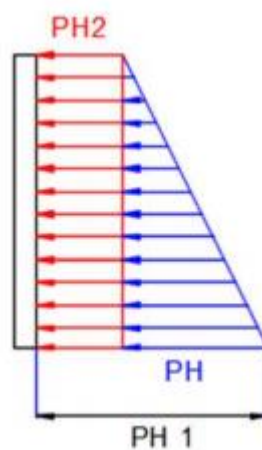


Figura 10. Distribución de presiones

3.3.1.4.1 Fuerza de presiones hidrostáticas 1

$$F1 = \frac{PH \cdot h}{2}$$

Donde

$$PH = PH1 - PH2$$

Siendo

PH: Presión hidrostática

F1: Fuerza de presión hidrostática 1

h: Altura

Tabla 16. Fuerza hidrostática 1

Fuerza de presión hidrostática (N)	F1	13679,554
Presión hidrostática (N/m ²)	PH	16382,7
Altura h1 - h2 (m)	h	1,67

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.1.4.2 Fuerza de presiones hidrostáticas 2

$$F2 = \frac{PH \cdot h}{2}$$

Donde

PH: Presión hidrostática

F2: Fuerza de presión hidrostática 2

h: Altura

Tabla 17. Fuerza hidrostática 2

Fuerza de presión hidrostática (N)	F2	13032,09
Presión hidrostática (N/m ²)	PH	15990,3
Altura h1 - h2 (m)	h	1,63

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.1.5 Cálculo de la pantalla de compuerta

Para el cálculo de esta se utilizará las dos fuerzas aplicadas en el área de la pantalla por lo tanto se suma F_1 y F_2 .

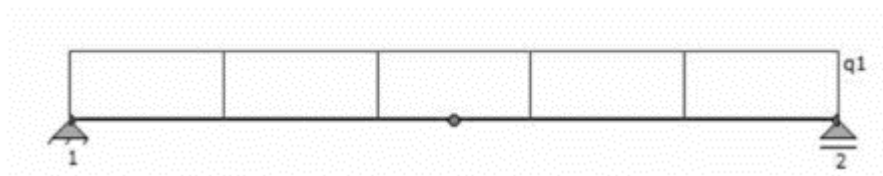


Figura 11. Esquema de la viga

La figura 11 representa un corte transversal de una viga de la pantalla de la compuerta, la carga Q corresponde a la suma de las F_1 y F_2 cuyo valor es $26711,644 \text{ N/m}$, con este valor se encuentra el valor del momento máximo de la pantalla.

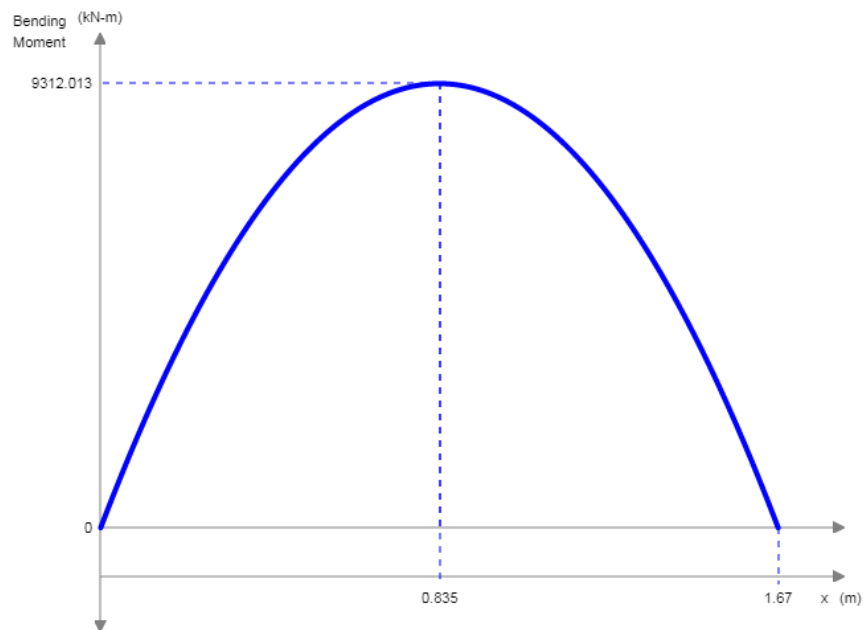


Figura 12. Diagrama del momento máximo de la compuerta

Se obtiene un momento máximo de $9312,01 \text{ Nm}$, con este valor se calcula el módulo de sección.

3.3.1.6 Cálculo de módulo de sección

Para este cálculo se tiene el factor de seguridad que establece la norma NBR 8883 en el literal 4.8.7.1 cuyo factor es de 0.9 y se encuentra en la figura 13.

Esfuerzo		Caso de carga		
		Normal	Ocasional	Excepcional
Elementos estructurales	Esfuerzo virtual de la compresión	0,76	0,82	0,92
	Esfuerzo virtual de compresión en la pantalla	0,87	0,87	0,92
	Presión de contacto con movimiento relativo	0,55	0,60	0,70
	Presión de contacto sin movimiento relativo	0,90	0,90	0,90
Elementos mecánicos	Esfuerzo virtual de la compresión	0,50	0,63	0,90
	Esfuerzo virtual de compresión en ojales (la sección que pasa por el agujero) analizados conforme 4.10.1	0,30	0,35	0,40
	Esfuerzo cortante en elementos cortos conforme 4.8.6.6.3	0,39	0,43	0,51
	Presión de contacto con movimiento relativo	0,55	0,60	0,70
	Presión de contacto sin movimiento relativo	0,90	0,90	0,90

Figura 13. Coeficientes para el cálculo de esfuerzos admisibles

$$S = \frac{M}{\sigma}$$

S: Modulo de sección

M: Momento máximo

σ : Esfuerzo de fluencia del material aplicando el factor de seguridad

Tabla 18. Cálculo del módulo de sección de la pantalla

Momento máximo (Nm)	M	9312,01
Esfuerzo admisible (MPa)	σ	193,5
Módulo de sección (cm ³)	S	48

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

Con este valor se toma los siguientes perfiles, platina de 60 x 6 y plancha de 5 mm.

3.3.1.7 Cálculo del peso de la compuerta

El valor de este se tomó del software durante la simulación con el material AISI 304.

Masa = 180,20 kg

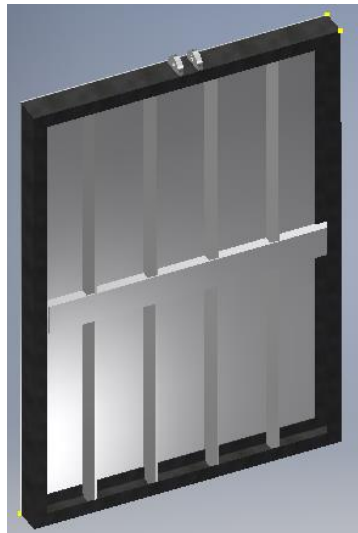


Figura 14. Compuerta diseño

3.3.1.8 Cálculo de levantamiento de compuerta

$$TF = Fl \cdot \mu$$

TF = Fuerza de fricción lateral

μ = Coeficiente de fricción goma y acero

Fl = Fuerza lateral

Tabla 19. Fuerza de fricción lateral

Fuerza Lateral (N)	Fl	13679,554
Coeficiente de fricción goma y acero	μ	0,8
Fuerza de fricción lateral (kN)	TF	10,94

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$F_e = TF + W$$

F_e = Fuerza de elevación

TF = Fuerza de fricción lateral

W = Carga por propio peso

Tabla 20. Fuerza de elevación

Carga por propio peso (N)	W	1767,76
Fuerza de fricción lateral (N)	TF	10943,64
Fuerza de elevación (kN)	F_e	12,71

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.1.9 Cálculo del soporte superior

Para el análisis de soporte superior se realiza el cálculo del diagrama del momento máximo.

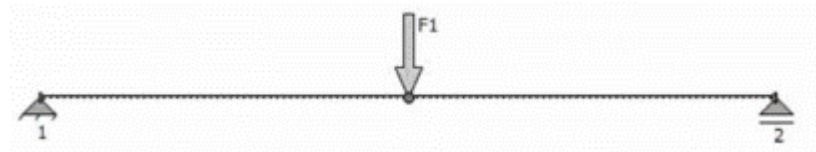


Figura 15. Esquema de soporte superior

Se toma el esquema del soporte superior como una viga con una carga puntual en su centro cuyo valor es F_e 12,71 kN.

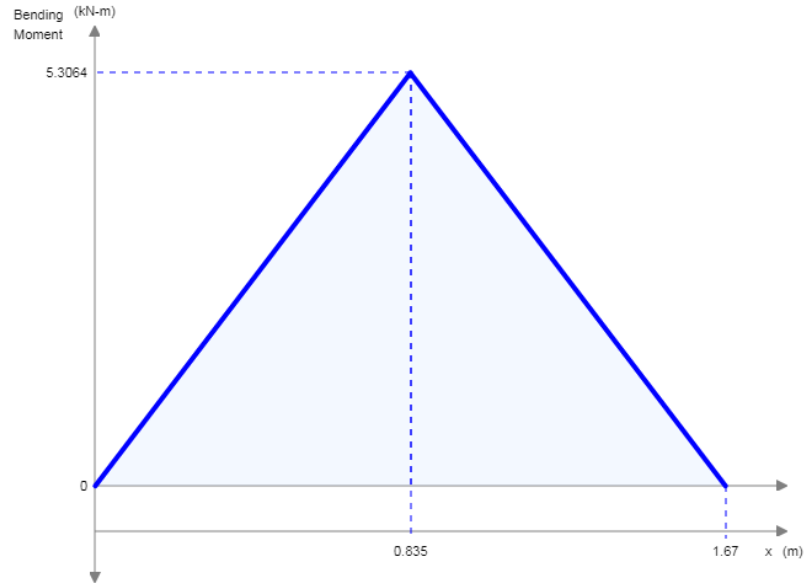


Figura 16. Diagrama del momento máximo del soporte superior

3.3.1.10 Cálculo de módulo de sección

Para este cálculo se tiene el factor de seguridad de la estructura de la compuerta que establece la norma NBR 8883 en el literal 4.8.7.1 cuyo factor es de 0.9 y se encuentra en la figura 13 el módulo de sección se obtiene.

$$S = \frac{M}{\sigma}$$

Tabla 21. Cálculo del módulo de sección del soporte superior

Momento máximo (Nm)	M	5306,4
Esfuerzo admisible (MPa)	σ	193,5
Módulo de sección cm ³	S	27

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

Con este resultado se toma el perfil C 100 x 50 x 5

3.3.2 Diseño del sistema de elevación

3.3.2.1 Área requerida para el tornillo

$$A = \frac{F_e}{\sigma}$$

A = Sección mínima resistente

Fe = Fuerza de elevación

σ = Esfuerzo admisible

Tabla 22. Área del tornillo

Esfuerzo admisible (N)	σ	215
Fuerza de elevación (kN)	Fe	12711,4
Sección mínima resistente (m ²)	A	0,0000591

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

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

$$R = 4,34 \text{ mm}$$

$$d = 8,68 \approx 9 \text{ mm} \quad \text{Diámetro mínimo requerido}$$

Se utiliza un eje con un diámetro de 50 mm, al usar un diámetro menor el paso sería igual y esto influye en el tiempo para elevar la compuerta.

3.3.2.2 Diseño de la tuerca

$$H = \frac{2 F_e}{\pi \cdot p \cdot d \cdot \sigma}$$

Fe = Fuerza de elevación

d = Diámetro interior

σ = Esfuerzo admisible

H = Longitud de la tuerca

p = Paso

Tabla 23. Diseño de la tuerca

Esfuerzo admisible (N)	σ	215
Fuerza de elevación (kN)	Fe	12711,4
Diámetro interior (m)	d	0,041
Paso (m)	p	0,008
Longitud de la tuerca (m)	H	0,11

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$H = 0,11 \text{ m} \approx 110 \text{ mm}$$

3.3.2.3 Cálculo de elevación

Se seleccionó una rosca trapecial ISO con las características indicada en la tabla

Tabla 24. Tornillo y tuerca, características

Designación φ 50 x 8	
Paso P	8
Juego AC	0,5
Alto H	4,5
Tornillo	
Diámetro exterior d	50
Diámetro medio d2	45,86
Diámetro interior d3	41
Tuerca	
Diámetro exterior D	51
Diámetro medio D2	45,86
Diámetro interior D3	42

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$T = \frac{Fe \cdot d2}{2} \times \left(\frac{P - \pi \cdot u \cdot d2}{\pi \cdot d2 - u \cdot P} \right)$$

T = Torque

Fe = Fuerza de elevación

dm = Diámetro medio

P = Paso

μ = Coeficiente de fricción

Tabla 25. Diseño de elevación

Paso (m)	P	0,008
Fuerza de elevación (KN)	Fe	12,71
Diámetro medio (m)	dm	0,04586
Coeficiente de fricción	μ	0,13
Torque (N.m)	T	54,42

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$T = F \cdot d$$

T = Torque

F = Fuerza

d = Distancia del volante

Tabla 26. Cálculo de fuerza para el volante

Torque (N.m)	P	54,42
Distancia del volante (m)	d	0,3
Fuerza (N)	F	181,4

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.2.4 Selección del perno que une el tornillo de potencia a la compuerta.

Se selecciona el material AISI 304.

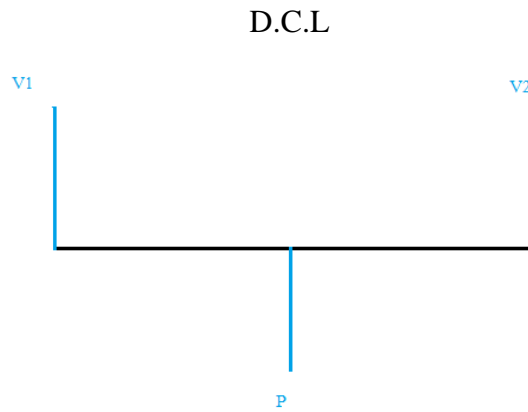


Figura 17. Diagrama del momento en el pasador

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

$$d = 2\left(\frac{V \cdot n}{\pi \cdot S_{sy}}\right)^{0.5}$$

T = Esfuerzo cortante

V = Fuerzas que actúan

A = Área de la sección

n = Factor seguridad

S_{sy} = Resistencia a la fluencia cortante

d = Diámetro del pasador

Tabla 27. Selección del perno

Fuerza (kN)	V	6,35
Fuerza de elevación (KN)	Fe	12,71
Resistencia a la fluencia cortante (MPa)	Ssy	107,5
Factor seguridad	n	1,3
Diámetro del pasador (mm)	d	10

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

Después de realizado el cálculo se selecciona un perno de M 12

3.3.2.5 Cálculo de transmisión de cadena

3.3.2.5.1 Selección de cadena

La transición del par motor para la elevación de la compuerta deslizante plana se diseña con el sistema de cadenas y piñones, las cadenas de transmisión son la mejor elección para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas [23].

$$P = T \cdot w$$

P = Potencia

T = Torque

w = Velocidad angular

Tabla 28. Selección de la cadena.

Potencia (W)	P	213
Torque (Nm)	T	60
Velocidad angular (rpm)	w	34

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$\frac{Z_2}{Z_1}$$

r = Relación de transmisión obtenida

Z₁ = Número de dientes (piñón)

Z₂ = Número de dientes (piñón)

Tabla 29. Relación de transmisión.

Relación de transmisión	r	1
Número de dientes	Z ₁	19
Número de dientes	Z ₂	19

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$P_c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 k_4 \cdot k_5 \cdot P$$

$$k_1 = \frac{19}{Z_1}$$

P_c = Potencia corregida

K₁ = Coeficiente

K₂ = Número de cadenas empleadas

K₃ = Número de eslabones o enlaces

K₄ = Factor de servicio

K₅ = Vida útil (1500 h)

P = Potencia que transmite la máquina conductora

Tabla 30. Potencia corregida.

Potencia corregida (W)	P _c	383,4
Coeficiente	K ₁	1
Número de cadenas empleadas	K ₂	1
Número de eslabones o enlaces	K ₃	1
Factor de servicio	K ₄	1,8
Vida útil (h)	K ₅	1
Potencia que transmite la máquina conductora (W)	P	213

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

Con el valor obtenido de la potencia corregida y con la velocidad angular se toma la cadena según el diagrama de selección de las cadenas de transmisión series A (serie americana) y series B (serie europea) [23].

La cadena es de serie 10 A con paso de 15,88 mm en el mercado es la serie RS-50-1 [24].

3.3.2.5.2 Cálculo del piñón

Con el valor obtenido del paso de 15.875 (5/8") se toma el piñón NK - 50B19T [25].

$$Dp = \frac{P}{\text{sen}\left(\frac{\pi}{Z}\right)}$$

Dp = Diámetro primitivo

P = Paso

Z = Número de dientes

Tabla 31. Cálculo de diámetro primitivo

Diámetro primitivo (mm)	Dp	96,5
Paso (mm)	P	15,875
Número de dientes	Z	19

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.2.5.3 Longitud de la cadena

$$\frac{L}{P} = \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} + (Z_1 + Z_2) \cdot \frac{\beta}{\pi} + O_1O_2 \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{2}{P}$$

$$\beta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{R_2 - R_1}{O_1O_2}\right)$$

$$R_1=R_2$$

L = Longitud total de la cadena

P = Paso de la cadena

Z₁ = Número de dientes del piñón

Z₂ = Número de dientes de la rueda mayor

O₁O₂ = Distancia entre centros de las ruedas

β = Ángulo de contacto

R₁,R₂ = Radios de los piñones

Tabla 32. Cálculo de longitud de cadena

Longitud total de la cadena (mm)	L	801,68
Paso de la cadena (mm)	P	15,88
Número de dientes del piñón	Z ₁	19
Número de dientes del piñón	Z ₂	19
Distancia entre centros de los piñones (mm)	O ₁ O ₂	
Ángulo de contacto	β	π
Numero de eslabones	L/P	120

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.2.5.4 Velocidad lineal

$$v = \frac{P \cdot Z_i \cdot N_i}{60}$$

v = Velocidad lineal

P = Paso de la cadena

Z_i = Número de dientes de la rueda i consideradaN_i = Velocidad de giro**Tabla 33.** Cálculo de velocidad lineal

Velocidad lineal (m/s)	v	0,17
Paso de la cadena (mm)	P	15,875
Número de dientes de la Rueda i considerada	Z ₁	19
Velocidad de giro (rpm)	N ₂	34

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

La velocidad de la cadena está en el parámetro porque el límite de cadenas es de 16 m/s.

3.3.2.5.5 Esfuerzo total

Esfuerzo total soportado por la cadena.

$$Fu = \frac{P}{v}$$

F_u = Esfuerzo útil que desarrolla la cadena

P = Potencia transmitida

v = Velocidad lineal promedio

Tabla 34. Cálculo de esfuerzo útil

Esfuerzo útil (N)	F_u	1252
Potencia transmitida (W)	P	213
Velocidad lineal promedio (m/s)	v	0,17

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

$$Fo = Fu + Fc$$

$$Fo = 1253.244 \text{ N}$$

$$Fo = 126.77 \text{ klb}$$

3.3.2.5.6 Fuerza centrífuga

$$Fc = M \cdot V^2$$

F_c = Fuerza centrífuga

M = Masa unitaria de la cadena

v = Velocidad lineal

Tabla 35. Cálculo de fuerza centrífuga

Fuerza centrífuga (N)	F_u	0,303
Masa unitaria de la cadena (kg/m)	M	10,50
Velocidad lineal promedio (m/s)	v	0,17

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.2.5.7 Coeficiente de seguridad

$$Cs = \frac{R}{F_o}$$

R = Carga de rotura

Tabla 36. Cálculo de coeficientes de seguridad

Coeficiente de seguridad	Cs	26
Carga de rotura (kg)	M	3200
Esfuerzo total (kp)	F_o	126,77

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

El coeficiente de seguridad de al menos $Cs > 12$ con el dato obtenido el coeficiente está en los parámetros [23].

3.3.2.5.8 Presión máxima de contacto

La presión que ejerce la cadena sobre el flanco del diente.

$$Ps = \frac{F_o}{d \cdot l}$$

Ps = Presión máxima de contacto

F_o = Esfuerzo total

d = Diámetro del perno (bulón o eje) de la cadena

l = Longitud del casquillo de la cadena

Tabla 37. Cálculo de presión máxima de contacto

Presión máxima de contacto (MPa)	Ps	13
Esfuerzo total (N)	F _o	1253,244
Diámetro del perno (bulón o eje) de la cadena (mm)	d	10,16
Longitud del casquillo de la cadena (mm)	l	9,53

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

El límite de las cadenas es de $P_s \leq 17$ MPa el valor cumple con los parámetros

3.3.3 Método de cálculo por números finitos

El software que se utiliza para el modelo CAD 3D y para la simulación por elementos finitos es AUTODESK INVENTOR 2019.

Para la simulación se define las constantes de la parte elástica de los aceros y se aplica las condiciones de contorno necesarias para reproducir la situación deseada. Se realiza un cálculo lineal donde el software aplica paulatinamente la carga total definida y revisa la correspondencia de la deformación con la misma. Las matrices de rigidez, fuerza, desplazamientos, etc. del sistema, para la deformación elástica, se calculan de una forma análoga a los sistemas analíticos tradicionales, por lo que el proceso iterativo carece de desviaciones o errores cuantificables.

De la misma forma el criterio de convergencia del cálculo carece de importancia. La geometría ha sido mallada utilizando elementos de tipo tetraedro de primer y segundo orden. Estos elementos permiten con facilidad la simulación de superficies sometidas a fuerzas distribuidas y presiones en superficies.

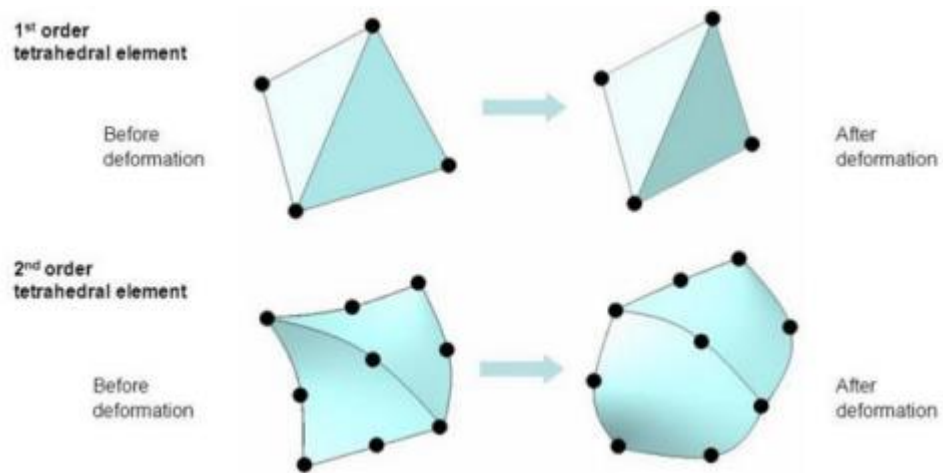


Figura 18. Representación de los elementos de mallado [26]

3.3.4. Simulación del soporte superior

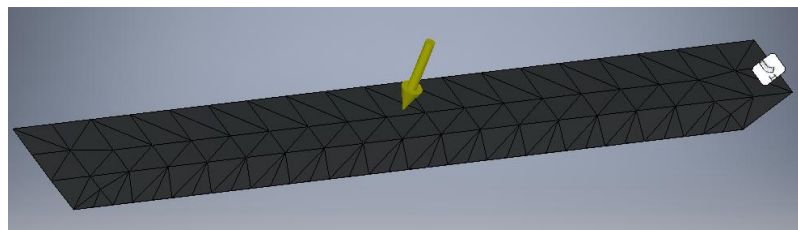


Figura 19. Mallada del soporte superior

3.3.4.1 Material

Tabla 38. Propiedades del material

Material	AISI 304
Esfuerzo a la tracción S_{ut}	505 MPa
Esfuerzo a la fluencia S_{ty}	215 MPa

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.4.2 Modelizado

El modelo del soporte superior está formado por:

- Perfil UPN 120

3.3.4.3. Parámetros de simulación

El soporte superior está sometido a una fuerza puntual de 12,71 kN

3.3.4.4. Resultados de la simulación

ESFUERZO DE VON MISES, S_{vm} El esfuerzo de Von Mises se lo utilizará como criterio de falla en el diseño. Para que un diseño sea aceptable, el esfuerzo de Von Mises debe ser menor a igual al esfuerzo a la fluencia del material.

$$S_{vm} \leq S_{ty}$$

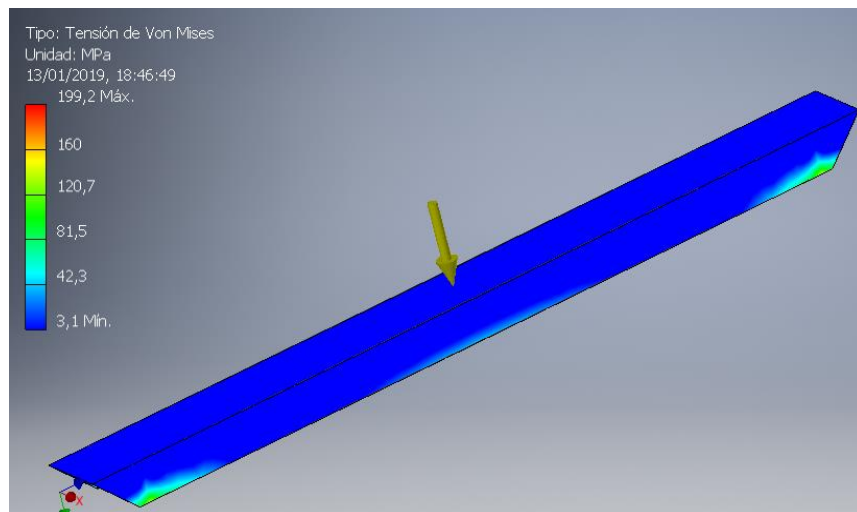


Figura 20. Esfuerzo de Von Mises del soporte superior

De la simulación por elementos finitos se obtiene el valor del esfuerzo de Von Mises.

$$S_{vm} = 199,2 \text{ MPa}$$

3.3.4.4.1 Deformación

La deformación del soporte superior está sometida a carga puntual deber ser menor a la f permitida máxima.

$$f < f_{\max}$$

La f permitida máxima, f_{\max} , es f_{\max} igual a:

$$f_{\max} = \frac{L}{360}$$

L es el valor máximo de distancia del soporte

$$L = \max (A;H) = \max (1130)$$

$$L = 1670 \text{ mm}$$

$$f_{\max} = \frac{1130}{360}$$

$$f_{\max} = 3,13 \text{ mm}$$

De la simulación por elementos finitos se obtiene el valor de la deformación del soporte superior.

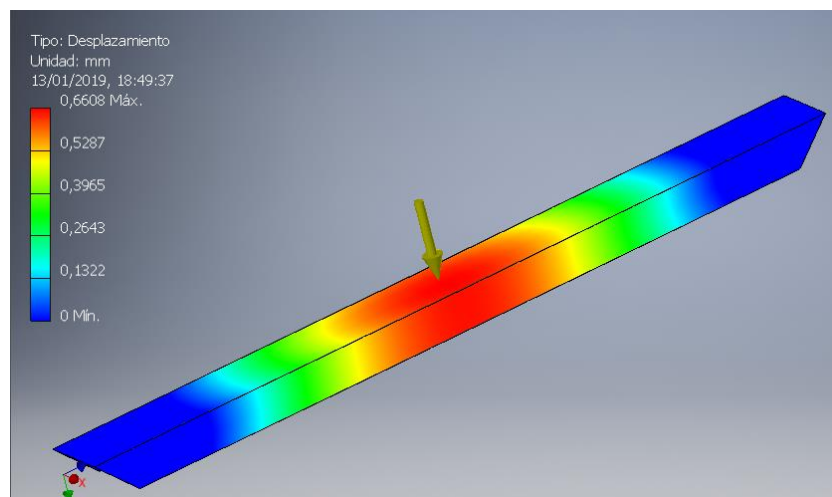


Figura 21. Deformacion del soporte superior

$$f = 0,66 \text{ mm}$$

3.3.4.4.2 Factor de seguridad, n

Para el material de la compuerta no falle, el factor de seguridad debe ser mayor o igual a 1.

$$n \geq 1$$

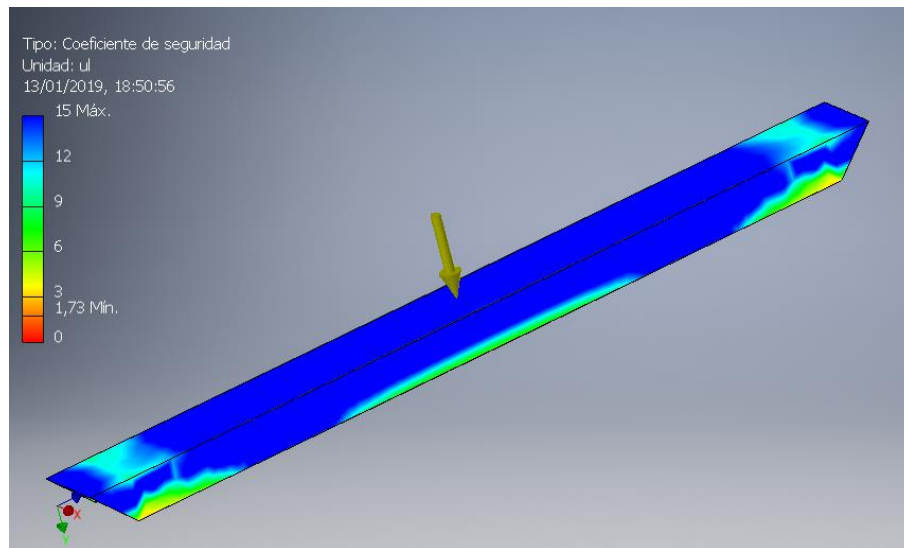


Figura 22. Factor de seguridad del soporte superior.

De la simulación por elementos finitos se obtiene el valor del factor de seguridad del soporte superior.

$$n = 1,73$$

3.3.5 Simulación de la compuerta con todos los elementos

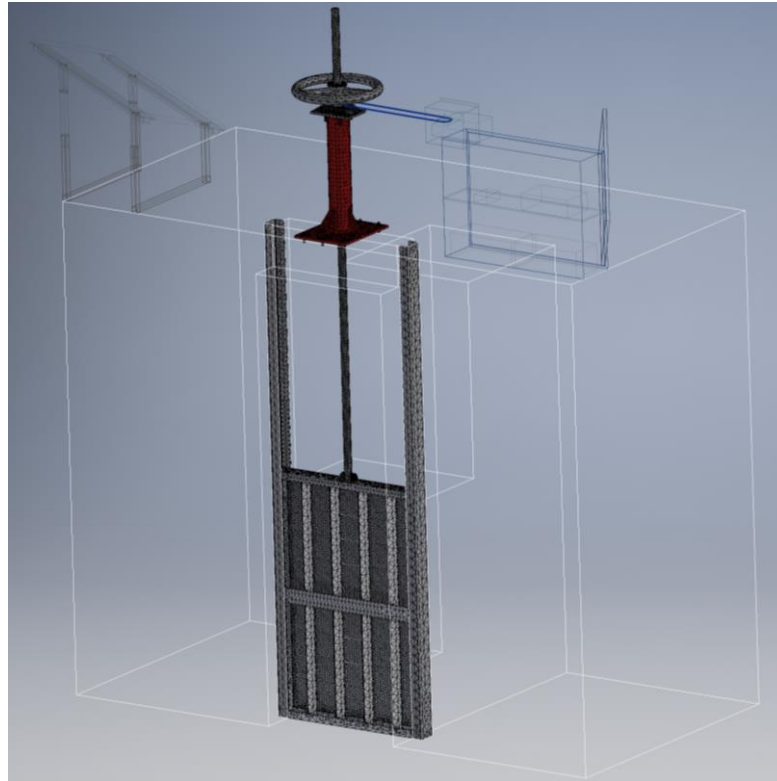


Figura 23. Mallado de la compuerta

3.3.5.1 Material

Las propiedades del material son:

Tabla 39. Propiedades del material

Material	AISI 304
Esfuerzo a la tracción S_{ut}	505 MPa
Esfuerzo a la fluencia S_{ty}	215 MPa

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.5.2 Modelizado

El modelo de la compuerta está formado por:

- Tablero: lamina de 5 mm de espesor
- Marco exterior perfil UPN 100
- Refuerzo horizontal perfil UPN 120

3.3.5.3 Condiciones de contorno

El caso que estudiará la compuerta es:

- Compuerta sometida a presión hidrostática

3.3.5.4 Parámetros de simulación

La compuerta está sometida a compresión hidrostática en la parte de la pantalla de la compuerta.

Tabla 40. Parámetros para simulación de la pantalla

Parámetro	Valor
Ancho de la compuerta (mm)	1130
Alto de la compuerta (mm)	1670
Profundidad sumergida (mm)	3300
Gravedad (m/s^2)	9,81
Densidad del líquido (kg/m^3)	1000
Presión hidrostática en el punto más alto de la compuerta (psi)	4,69
Presión hidrostática en el punto más bajo de la compuerta (psi)	3,32
Fuerza hidrostática en la compuerta (Nm)	26711

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.5.5 Resultados de la simulación con todos sus componentes

ESFUERZO DE VON MISES

$$S_{vm} \leq S_{ty}$$

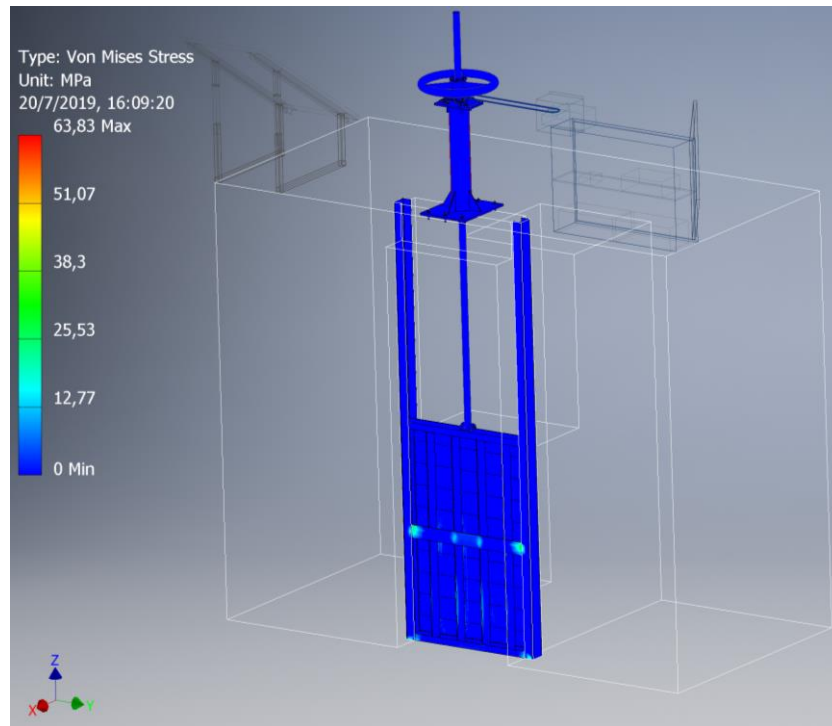


Figura 24. Esfuerzo de Von Mises de la pantalla compuerta

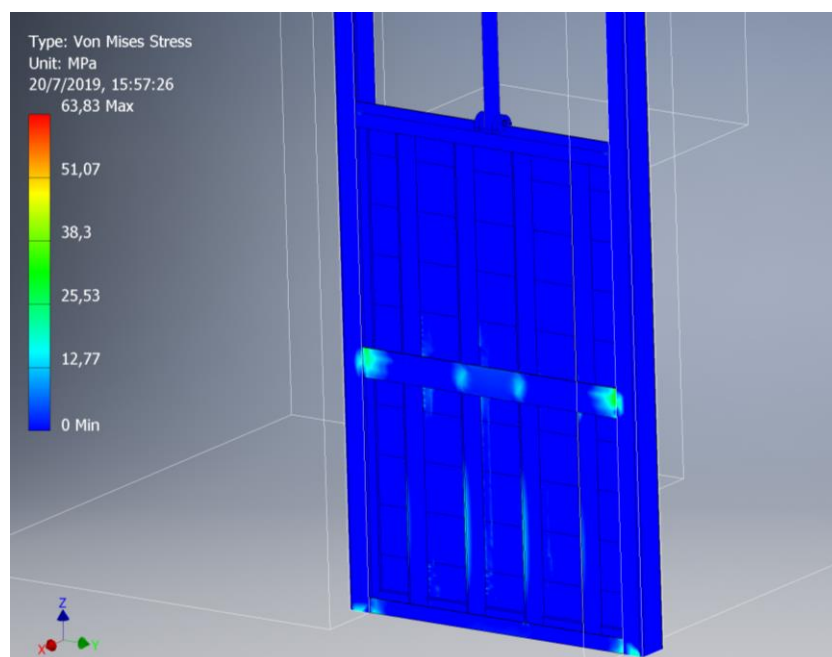


Figura 25. Esfuerzo de Von Mises vista posterior de la pantalla compuerta

De la simulación por elementos finitos se obtiene el valor del esfuerzo de Von Mises.

$$S_{vm} = 63,83 \text{ MPa}$$

3.3.5.5.1 Deformación, f

La deformación de la compuerta al estar sometida a cargas hidrostáticas deber ser menor a la flecha permitida máxima.

$$f < f_{max}$$

$$L = \max (A;H) = \max (1130,1670) \text{ mm}$$

$$L = 1670 \text{ mm}$$

$$f_{max} = \frac{1670}{360}$$

$$f_{max} = 4,63 \text{ mm}$$

De la simulación por elementos finitos se obtiene el valor de la deformación en la compuerta.

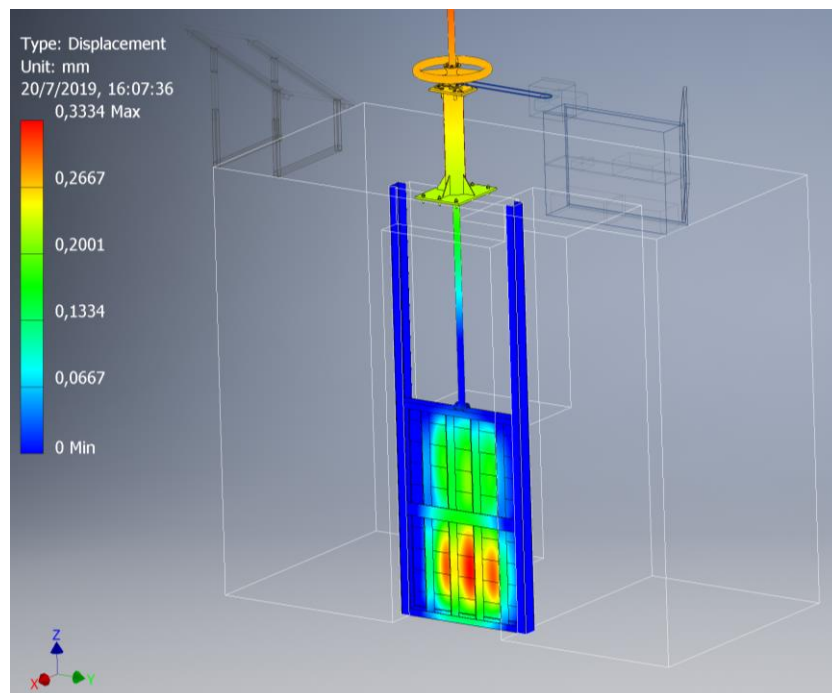


Figura 26. Deformación de la pantalla compuerta

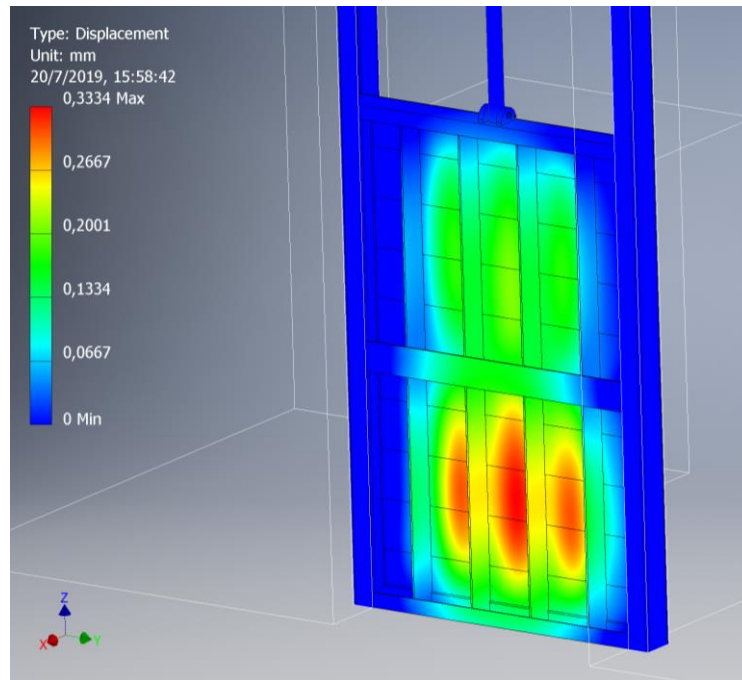


Figura 27. Deformación vista posterior de la pantalla compuerta

$$f = 0,3334 \text{ mm}$$

3.3.5.5.2 Factor de seguridad, n

Para que el material de la compuerta no falle, el factor de seguridad debe ser mayor o igual a 1.

$$n \geq 1$$

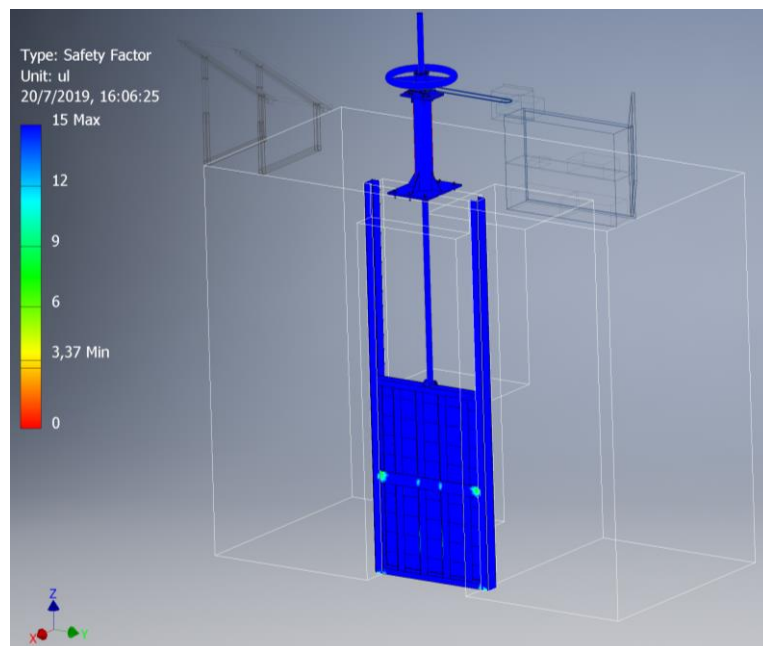


Figura 28. Factor de seguridad de la pantalla compuerta

De la simulación por elementos finitos se obtiene el valor del factor de seguridad de la compuerta.

$$n = 3,37$$

Con los resultados obtenidos de la simulación con todos sus componentes mecánicos y con valores dentro del rango del diseño como el esfuerzo de Von Mises, deformación y factor de seguridad definimos que la compuerta cumple con los requisitos de funcionamiento.

En la simulación se toma en cuenta el tipo de mallado grueso, medio y fino los parámetros recomendados por el software con número de nodos 520318 dan valores representados en las figuras 23, 25, 26 y el factor de seguridad es de $n = 3,37$. En la malla gruesa con un número de nodos de 504277 da un valor $n = 3,81$, malla media con un número de nodos 922704 da un valor $n = 3,16$, malla fina con un número de nodos 1889670 da un valor $n = 2,37$ en los casos del tipo de malla los datos obtenidos son favorables para que la compuerta trabaje correctamente.

3.3.6 Comportamiento de la compuerta a diferentes presiones

Simulación a presiones diferentes para saber el límite en el cual falla la pantalla de la compuerta.

3.3.6.1 Comportamiento de la compuerta a 13,05 psi

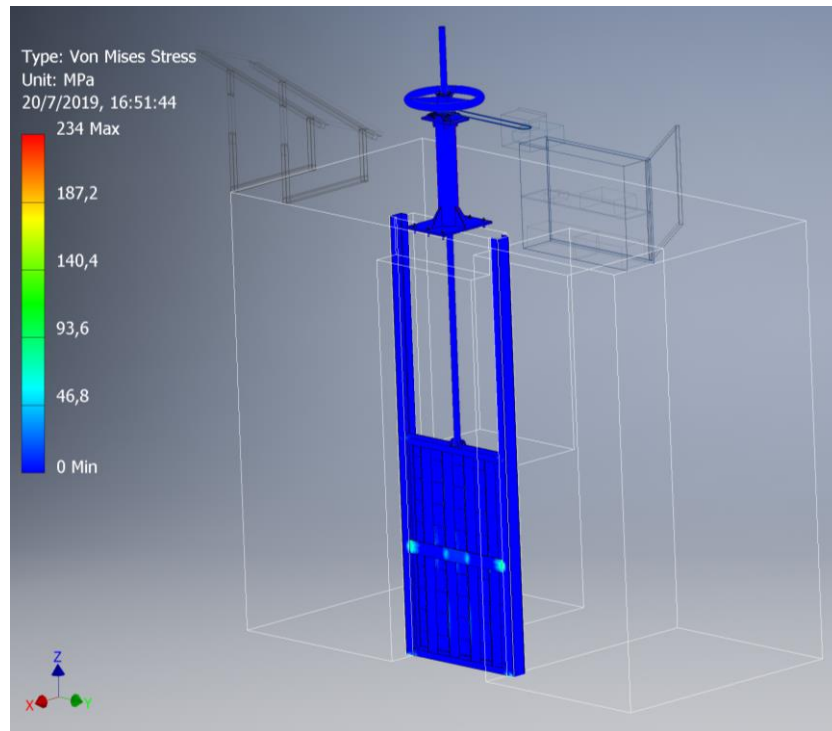


Figura 29. Esfuerzo de Von Mises de la pantalla compuerta a presión de 13,05 psi

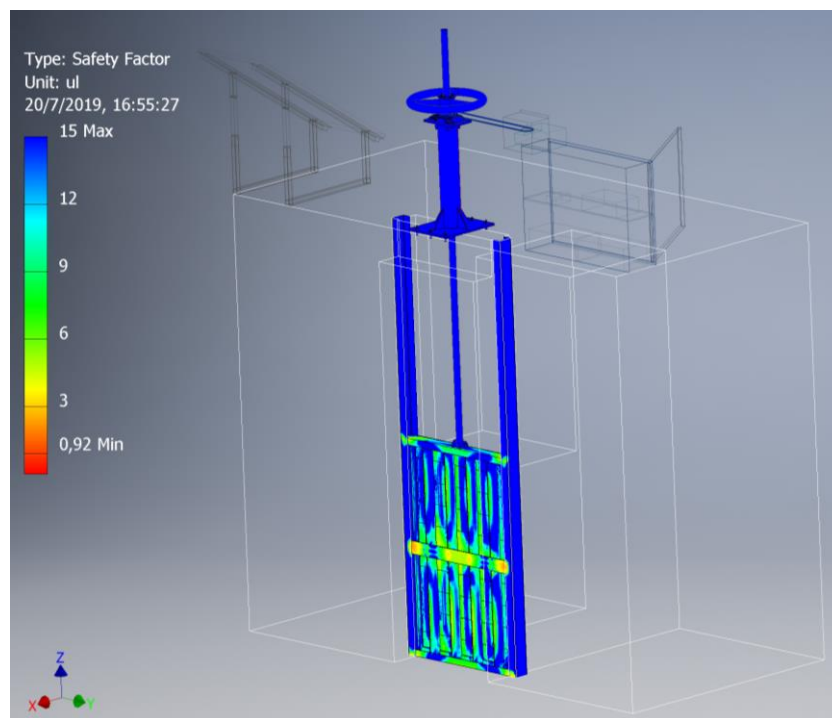


Figura 29. Factor de seguridad de la pantalla compuerta a presión de 13,05 psi

La compuerta falla a una presión de 13,05 psi teniendo un factor de seguridad de 0,92 este representa un valor menor a 1 esto quiere decir que la compuerta no falla a una presión máxima de 12 psi.

3.3.7 Análisis de soldadura

La compuerta se está realizando con normas NBR8883 en el literal 5.4.1 para el diseño de la compuerta, la normativa establece que el aporte de soldadura debe ser mayor a la resistencia y así no sea necesario hacer el diseño, esta debe ser soldadura de posicionamiento.

Al realizar el estudio del mercado de los tipos de aporte y material de estas, se llegó a la conclusión de usar tipo MIG y el alambre de aporte es INDURA 309L, este tiene características mecánicas de resistencia de 570 MPa y este representa un valor mayor al material ISIS 304 de 515 MPa.

Tabla 41. Material de aporte, características

Nombre	INDURA 309L
Composición química	C: 0,01 Mn: 1,16 Si: 0,42 Cr: 23 Ni: 13,7
ϕ (mm)	0,9
Resistencia a la tracción	570 MPa
Alargamiento 50mm	42 %

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

En la soldadura los cordones serán de 8 cm, estos se desplazan a lo largo de las platinas que están soldadas con la pantalla de la compuerta.

Se usa la normativa AWS D1.1 para los cordones, porque en los parámetros de NBR 8883 establece usar esta norma ya descrita la cual a continuación en la tabla 24 tiene las siguientes características.

Tabla 42. Cordón de soldadura, características

Tamaño mínimo de cordón de soldadura		
Base – Espesor de metal (T)	plg	$1/4 < T \leq 1/2$
	mm	$6 < T \leq 12$
Tamaño mínimo de cordón de soldadura	plg	3/16
Diámetro	mm	5

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

La soldadura a usarse debe ser mínimo de 5 mm pero debido a factores de seguridad se usara soldadura con un tamaño de 7 mm.

3.3.8 Especificaciones técnicas de los elementos del sistema de elevación

3.3.8.1 Especificaciones técnicas del motor

Tabla 43. Motor

Modelo	MOTTBR MOTHP050
Dimensiones	132 x 255 x 188 mm
Potencia máxima	0,5 HP
Voltaje	230 V o 400 V
Velocidad	1370 rpm
Factor de potencia	0,74 cuando la red está conectada a 50 Hz
Peso	6 kg

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora



Figura 30. Motor

3.3.8.2 Especificaciones técnicas del reductor sinfín

Tabla 44. Reductor sinfín

Modelo	CAJRED MOTBOXX05
Corona	Aleación de bronce sobre hierro fundido esferoidal.
Carcasa	Aluminio
Voltaje	230 V o 400 V
Peso	3,5 kg
Torque	69 Nm
Número de revoluciones	35 rpm

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

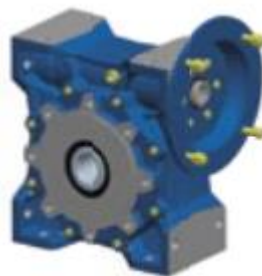


Figura 31. Reductor sinfín [27]

3.3.9 Dimensionamiento fotovoltaico

Los paneles solares producen energía eléctrica durante todo el día equivalente a sólo las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Éste es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de los principales parámetros de diseño que se debe definir.

Para el dimensionamiento de los equipos y componentes del sistema fotovoltaico, cuyo propósito es respaldar los modelos matemáticos que requieren para el número de módulos, inversor, controlador de carga y baterías necesarias para suministrar de modo fiable un determinado consumo durante un año con la finalidad de máxima fiabilidad y mínimo costo.

Parámetros para el sistema fotovoltaico

- Cantidad de irradiancia
- Horas de pico solar (HPS)
- Días de autonomía
- Consumo eléctrico

3.3.9.1 Cantidad de irradiancia

En los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo la irradiancia se presenta en la tabla 42 cuyos valores son anuales (2018) y por motivos de cálculos se tomará el valor de radiación más baja dado que es un dato crítico.

Tabla 45. Irradiancia cantones Cayambe y Pedro Moncayo [28]

Mes	Software (Solargis 2.1.24) kW·h·m ⁻² ·día ⁻¹
Enero	3,9
Febrero	3,9
Marzo	3,8
Abril	3,9
Mayo	4,1
Junio	4,2
Julio	4,6
Agosto	4,9
Septiembre	4,6
Octubre	3,2
Noviembre	3,9
Diciembre	3,7

El mes más crítico anual es octubre de 3,7 kW·h·m⁻²·día⁻¹ este valor también se aproxima con los datos generados en el INAMHI

3.3.9.2 Horas de pico solar (HPS)

Encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) este valor se obtiene de la irradiancia la cual se expresa en horas.

$$\text{HSP} = 3,7 \text{ (h)}$$

3.3.9.3 Días de autonomía

Este cálculo es muy teórico, el escenario más común es el tener días nublados, en estos días la instalación no es capaz de suministrar toda la energía que se necesita para cubrir las necesidades del sistema, como resultado de ello, las baterías sufren descarga día tras día.

El factor se debe dimensionar, de 1 al 10 dependiendo de las condiciones climáticas.
[29]

$$D_{\text{aut}} = 5$$

Como el sector tiene días perjudiciales se determina que los días de autonomía son cinco.

3.3.9.4 Consumo eléctrico

El gasto total de energía en un proceso determinado se mide en (kW·h) cuyo valor es primordial para el diseño del sistema, a partir de este se obtendrá los valores para el sistema fotovoltaico cuyo modelo matemático para el consumo eléctrico está representado en la ecuación [30].

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{Potencia del equipo por horas de uso por día}}{1000} \text{ (kW} \cdot \text{h}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Consumo Total} = \sum_{i=1}^n \text{Consumo}$$

El total del consumo eléctrico va a ser la sumatoria de los equipos conectados, en este caso solo será un equipo en funcionamiento el cual es un motor reductor.

La característica del motor estará definida por su ficha técnica, las horas en que el equipo esté encendido también es un valor primordial, adicional se sabe que todo equipo al estar apagado consume electricidad por eso también se toma en cuenta la potencia de consumo del motor apagado. Para la realización de este cálculo se toma el modelo matemático de la ecuación.

$$CE = a \{ (b \cdot d) + [(24 - d)(c)] \}$$

Donde:

a: Número de equipos

b: Potencia del equipo encendido

c: Potencia del equipo apagado

d: Horas de uso por día

24: Valor de un día

Tabla 46. Consumo diario del equipo a instalar

Descripción	Potencia	Potencia	Horas de uso	Consumo total
(a)	encendido (W)	apagado (W)	por día (h)	$W \cdot h \cdot día^{-1}$
	(b)	(c)	(d)	(e)
Motor ½ Hp	250	0	1	250
	Consumo total			250

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

La necesidad de apertura y cierre de la compuerta según indicaciones en la visita técnica realizada indicaron que dependía del clima y varía entre tres y cuatro veces al día, es decir ocho desplazamientos de la compuerta.

Valor de consumo diario del motor es $0,25 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{día}^{-1}$, conocido como potencia máxima. P_{max} .

Con estos datos se obtiene el consumo medio diario de la instalación al que se le ha aplicado un 20 % adicional como margen de seguridad recomendado, esto puede variar según el fabricante. Se debe tener en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento de la batería y del inversor y esto afecta en la energía necesaria final.

3.3.10 Cálculo de número de paneles

El factor de generación del panel PGF [31] se determina con el modelo matemático usando la hora solar pico HSP y 0.65 que es un factor en el cual están contempladas las pérdidas por conexión y dispersión de parámetros, dicho factor varía dependiendo los fabricantes, estos aseguran una potencia pico nominal según sus productos.

$$PGF_{HSP} = 0.62 (HSP)$$

$$PGF = 0,65 (3,7)$$

$$PGF = 2,405$$

Para el número de paneles que se requiere para el sistema, se divide la potencia máxima P_{max} para el factor de generación del panel PGF y por la potencia del panel Wp [31].

$$N_{paneles} = \frac{P_{max}}{PGF (Wp)}$$

$$N_{paneles} = \frac{225}{2,405 (150)}$$

$$N_{paneles} = 0,68$$

$$N_{paneles} = 1$$

Para el número de paneles se aproxima a la cifra mayor por factor de seguridad.

3.3.11 Selección del inversor

Este convierte la corriente continua en corriente alterna para el sistema, la selección del mismo viene determinada por el suministro de la potencia de los consumos, debemos tener en cuenta que tenemos un factor de seguridad de 1,3 que es un porcentaje del 30 %

$$\text{Tamaño del inversor} = \sum_{i=1}^n P_i$$

$$\text{Tamaño del inversor} = 1,3 (250)$$

$$\text{Tamaño del inversor} = 325 \text{ W}$$

El sistema el inversor escogido tendrá una salida de 1000W porque en el mercado es más factible conseguir de esta potencia y cuyo objetivo es de abastecer una sobre demanda.

3.3.12 Dimensionamiento de la batería

El sistema de almacenamiento tiene como objetivo proveer de energía, en aquellos instantes en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea apta para hacer que el sistema funcione en los valores diseñados.

La tarea de la batería en el sistema fotovoltaico es:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Suministrar una potencia instantánea alta.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Para el dimensionamiento de las baterías se debe tener en cuenta que los equipos no estarán encendidos al mismo tiempo, por lo tanto, se debe establecer el consumo máximo del sistema a determinada hora del día.

$$\text{Capacidad de baterías} = \frac{(Y_4)(Y_5)}{(Y_1)(Y_2)(Y_3)} \text{ A}\cdot\text{h}$$

Y_1 Pérdidas de la batería = 0,85

Y_2 Descarga profunda = 0,6

Y_3 Voltaje nominal de la batería = 12 V

Y_4 Consumo máximo = 250 W-h

Y_5 Daut = 5 días

A·h

$$\text{Capacidad de batería} = 204,24 \text{ A}\cdot\text{h}$$

Con este resultado podemos observar que necesitaremos dos baterías porque la capacidad de las baterías a usarse es de 150 A·h

3.3.13 Dimensionamiento del controlador de carga

Este controla continuamente el estado de carga de las baterías, así como regular la intensidad de carga con el fin de alargar la vida útil de las baterías. Controla la entrada de corriente proveniente del panel solar y evita que se produzcan sobrecargas y sobre descargas profundas en la batería [32].

Controlador de carga = Corriente en corto circuito por factor de seguridad por número de paneles.

Corriente en corto circuito = 8,76 A

Factor de seguridad = 1,3

Número de paneles = 1

Controlador de carga = (8,76) (1,3) (1)

Controlador de carga = 11,38 A

Los controladores de carga digitales solo se fabrican a partir de los 30A por ese motivo tomamos para el diseño este dispositivo.

3.3.14 Características de elementos del sistema fotovoltaico diseñado

Los elementos a usarse los cuales se obtienen del presupuesto para el sistema, a continuación, las características técnicas.

3.3.14.1 Especificaciones técnicas del panel solar

Tabla 47. Panel solar

Modelo	EGE-150M-36
Material	Silicio policristalino
Dimensiones	1480 x 670 x 30 mm
Potencia máxima	150 W
Current max power	8,13 A
Voltaje máximo	18,45 V
Corriente en corto circuito	8,76 A
Voltaje con circuito abierto (Voc)	22,57 V

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora



Figura 32. Panel solar fotovoltaico [33]

3.3.14.2 Especificaciones técnicas del inversor

Tabla 48. Inversor

Modelo	Victron Energy Phoenix Inverter 1200-120V NEMA 5-15R
Potencia de salida	1200 W
Dimensiones	117 x 232 x 362 mm
Peso	16,3 lbs
Voltaje de entrada	12 V
Voltaje de salida	230 V
Tipo	8,76 A
Frecuencia de salida	50 Hz o 60 Hz
Corriente de salida	0 - 7 A
Eficiencia	92 %
Potencia de carga	1400 W
LCD display	Control en general

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora



Phoenix 12/375 VE.Direct



Phoenix 12/375 VE.Direct

Figura 33. Inversor [34]

3.3.14.3 Especificaciones técnicas de la batería

Tabla 49. Batería

Modelo	GFM G -150Ah
Voltaje	12 V
Tipo de mantenimiento	Libre
Dimensiones	486 x 171 x 241 mm
Peso	47 kg
Capacidad nominal	150 Ah
Tipo de batería	Gel
Máxima corriente descarga	300 A 5 s
Máxima corriente de carga	37,5 A
Rango de temperatura de carga	0 - 60 °C

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora



Figura 34. Batería [35]

3.3.14.4 Especificaciones técnicas del controlador de carga

Tabla 50. Controlador de carga

Modelo	ECOPULSE EC-30M
Rango de voltaje	10 - 35 V
Corriente máxima	30 A
Max. PV voltaje	60 V
Dimensiones	6 x 4,1 x 2,2 in
Peso	1 lb
Voltaje máximo en la batería	32 V

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora



Figura 35. Control de Carga [36]

3.3.14.5 Sección de conductores

Según la normalización debe satisfacer tres condiciones siguientes:

- Intensidad máxima admisible o de calentamiento.
- Caída de tensión.
- Intensidad de cortocircuito.

Tabla American Wire Gauge Conductor [37] escogemos la sección de los conductores y los valores son en la siguiente tabla.

Tabla 51. Sección de conductores

Conexiones	AWG	Área de sección
Panel solar	12	4
Regulador	12	4
Inversor	10	6
Batería	10	6

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

3.3.15 Diagrama eléctrico

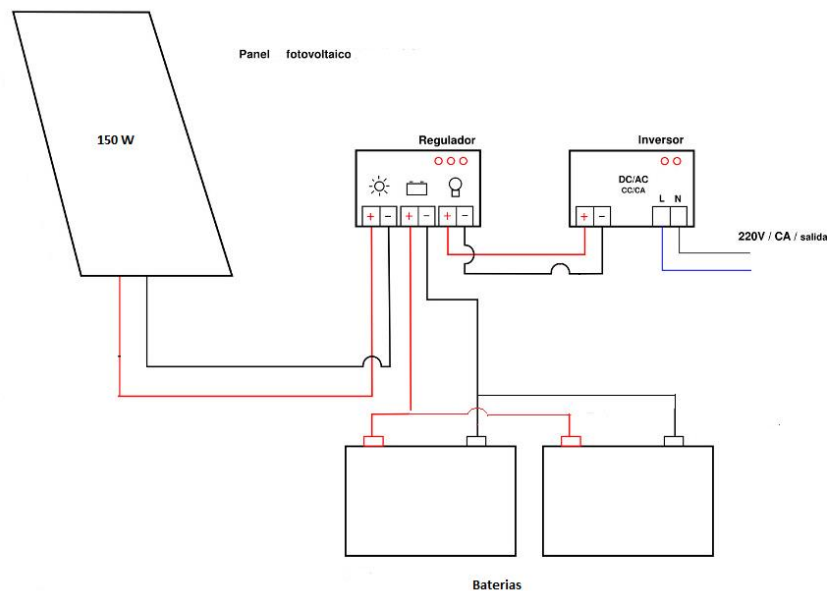


Figura 36. Diagrama eléctrico

Una vez diseñado el sistema fotovoltaico se concluyó que la apertura y cierre de la compuerta es satisfactorio porque la irradiancia que llega al panel instalado en el sector es suficiente para alimentar las baterías, a su vez estas generan una autonomía de cinco días para el sistema, se puede indicar que el sistema fotovoltaico cumple con la alimentación de energía al motor, este funcionara correctamente con los datos obtenidos del diseño y con parámetros de seguridad.

3.4 Estudio ambiental

El estudio ambiental se ha transformado en un tema importante en el diseño, planificación y ejecución de proyectos de diferentes magnitudes.

Muchas de las actividades humanas en especial aquellas de producción o prestación de bienes y servicios, suministro de materias primas y desarrollo de infraestructura, interactúan de alguna manera con el entorno donde se emplazan, tanto en su construcción como en su operación, estas generan cambios en las condiciones ambientales que pueden ser muy variables en cuanto a su significancia, magnitud, duración, extensión [38], la relación proyecto - ambiente a lo extenso del tiempo ha llevado a un causa de deterioro de la calidad ambiental que se ha marcado en los últimos tiempos.

La producción de energía eléctrica hasta llegar a su uso final pasa por numerosas fases en cada una de las cuales se acometen actividades con un potencial impacto sobre el entorno [39].

En Ecuador muestran que el factor de emisiones de CO₂ tiene un valor de 0,3426 kg CO₂·kW⁻¹·h⁻¹ estudio realizado por Parra [40]. Con este factor se calcula la cantidad de toneladas que se emiten al medio ambiente, el equipo propuesto tiene un consumo de 0,25 kW·h·día⁻¹.

$$0,25 \frac{kW \cdot h}{día} \left(0,3426 \frac{Kg CO_2}{kW \cdot h} \right) \left(\frac{365}{1 \text{ año}} \right) = 31,26 \frac{CO_2}{año}$$

Con las emisiones de CO₂ que se generan al usar energía eléctrica deducimos que se pueden dejar de emitir 0,87 toneladas de CO₂ al año, empleando el sistema de energía solar como fuente para abastecer este proyecto.

Con este sistema solar cumplimos requerimientos ambientales donde se encuentra ubicado la compuerta y tenemos abastecimiento de energía constante.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS

4.1 Costos del sistema

El abastecimiento energético en las parroquias de Cayambe y Pedro Moncayo, los cortes energéticos han sido comunes. Los más frecuentes se deben a fallas en las acometidas eléctricas, también vale recalcar que el ingreso donde se encuentra ubicado la compuerta es de difícil acceso, al ser una reserva natural debe cumplir con requerimientos ambiental, el costo de conexión de energía al motor reductor mediante la empresa eléctrica sería costoso pues el canal se encuentra a varios kilómetros y la implantación de una red eléctrica para el uso de 1 hora al día es un sobreprecio, el transporte de la energía desde donde se produce hasta donde se consume implica unas pérdidas de entre el 5 % y el 15 % de la energía generada [41], otra opción es la utilización de un generador de electricidad pero este representa varios problemas por mantenimiento además de problemas ambientales que ocasiona dicho generador como emisiones de gases, sonido y derrames de líquidos perjudiciales para el ecosistema.

Por ese motivo se hace necesario generar e implementar una fuente inagotable no perecedera de energía, que certifique en cualquier momento un abastecimiento constante.

Con la implementación del sistema estudiado se satisface la demanda de energía durante 331 días del año.

4.1.1 Costos de equipos y materiales mecánicos

Tabla 52. Costos de materiales y equipos del sistema de elevación

Costos directos					
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total (\$)
CAJRED	Caja ortogonal				
MOTBOXX05	motive box 050 i 40 = 40 RPM de salida	u	1	245	245
MOTTBR	Motor Motive				
MOTHP050	Italiano 0.50 HP trifásico 220/440 IP55 IE2	u	1	180	180
RS-50-1	Transmisión de cadena	u	1	75	75
NK - 50B19T	Piñón	u	1	23	23
Total					523

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

4.1.2 Costos de equipos y materiales eléctricos

Tabla 53. Costos de materiales y equipos del sistema fotovoltaico

Costos directos					
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total (\$)
EGE-150M-36	Panel solar	u	1	175	175
Victron Energy					
Phoenix Inverter	Inversor	u	1	450	450
1200-120V NEMA					
5-15R					
GFM G -150Ah	Batería	u	2	420	840
ECOPULSE EC-	Control de	u	1	180	180
30M	carga				
Cableado y	Cables y	u	1	50	50
conectores	conectores				
Soporte metálico	Base de	u	1	180	180
	soporte del				
	panel solar				
Panel de control	Caja metálica	u	1	200	200
	para				
	componentes				
	eléctricos				
Visita técnica	Validar datos y				
	condiciones	u	1	50	50
	climáticas				
Total					2125

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

4.1.3 Costos de instalación y transporte

Tabla 54. Costos del sistema fotovoltaico

Costos indirectos					
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total (\$)
Transporte	Movilización de los equipo y materiales	u	1	150	150
Instalación	Mano obra	u	1	80	100
Total					250

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

4.1.4 Resumen de costos del sistema fotovoltaico y elevación de la compuerta deslizante

Tabla 55. Costos

Descripción	Total (\$)
Componentes y equipos mecánicos	523
Componentes y equipos eléctricos	2125
Otros valores	250
Total	2898

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

El sistema fotovoltaico junto con el sistema de levantamiento de la compuerta tiene un costo de 2898 dólares.

4.1.5 Valor inicial de inversión

$$\text{inversión inicial} = \text{costo 1} + \text{costo 2} + \text{costo 3} \quad (15)$$

$$\text{inversión inicial} = 523 + 2125 + 250 \text{ [\$]}$$

$$\text{inversión inicial} = \$ 2898$$

4.1.6 Costos de depreciación

Es el proceso de asignar a gasto el costo de un activo de planta o activo fijo, durante el periodo en que se usa el activo. [42]

Se aplica la ecuación siguiente:

$$CD = \frac{C - VR}{N}$$

Donde:

C = Costo (dólares)

VR = Valor residual (dólares)

N = Vida útil en años

La proyección de la vida útil se estima en 15 años

El VR es el 10 % del valor total de inversión:

$$VR = 2898 \times 0.10$$

$$VR = 289,8 \text{ USD}$$

$$CD = \frac{2898 - 289,8}{15}$$

$$CD = 173.88 \text{ USD}$$

4.1.7 Análisis de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

Se la utiliza para analizar si el trabajo es viable en otras palabras se usa como referencia para determinar si el proyecto le puede generar ganancias o no.

Se calcula con la siguiente fórmula matemática:

$$TMAR = i + f + (i \times f) \quad (17)$$

Donde:

i = Premio al riesgo

f = Inflación en el Ecuador año 2018.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos la inflación anual del año 2018 se cerró 0,27 % y se toma en cuenta la deuda externa pública como un premio al riesgo de 20,40 %. [43]

Finalmente se calcula el TMAR:

$$TMAR = 0,204 - 0,0027 - (0,204 \times 0,0027)$$

$$TMAR = 0,200749$$

$$TMAR = 20,07 \%$$

4.1.8 Ingreso generado

Para el caso, el ingreso generado se toma del ahorro que se obtiene al prescindir de dos operarios que colaboraban en el levantamiento manual de la compuerta.

Tabla 56. Ingresos generados

AÑO	INGRESO MENSUAL (USD)	INGRESO ANUAL (USD)
1	790	9480
2	790	9480
3	790	9480
4	790	9480
5	790	9480
6	790	9480
7	790	9480
8	790	9480
9	790	9480
10	790	9480
TOTAL	7900	94800

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

4.1.9 Payback Period

El payback period es un criterio para evaluar el tiempo que se requerirá para recuperar el capital invertido.

$$PP = \frac{\text{costo de inversión [USD]}}{\text{ingreso generado [USD]}}$$

$$PP = \frac{2898 \text{ [USD]}}{790 \text{ [USD]}}$$

$$PP = 3,66 \text{ meses}$$

4.1.10 Cálculos VAN Y TIR

El VAN es un procedimiento que permite calcular la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto.

La tasa interna de retorno (TIR) mide la rentabilidad relativa media bruta por periodo del proyecto de inversión sobre el capital.

Para el cálculo del valor actual neto (VAN) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

I_0 = Inversión inicial del proyecto

F_t = Flujos futuros

r = Tasa de retorno

t = Número de años

Mientras tanto para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) se obtiene con la ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

VAN, TIR con un interés activo de consumo ordinario del 16,67 % (febrero 2019 por el Banco Central del Ecuador).

Tabla 57. VAN y TIR

AÑO	INVERSIÓN (USD)	Depreciación (USD)	INGRESOS (USD)	FLUJO neto efectivo (USD)
0	-2898			
1		173,88	790	616,12
2		173,88	790	616,12
3		173,88	790	616,12
4		173,88	790	616,12
5		173,88	790	616,12
6		173,88	790	616,12
7		173,88	790	616,12
8		173,88	790	616,12
9		173,88	790	616,12
10		173,88	790	616,12
TOTAL		1738.8	7900	6121,2
TASA (%)				16,67
VAN (USD)				7,05
TIR (%)				17%

Elaborado por: Pablo Arias & Jonathan Zamora

Una vez calculado el VAN se evalúa el resultado bajo los siguientes criterios:

Cuando $VAN > 0$ (La inversión es rentable)

Cuando $VAN = 0$ (La inversión es indiferente)

Cuando $VAN < 0$ (La inversión tiene pérdidas)

En conclusión, el TIR tiene un valor positivo de 17 % y el VAN es superior a cero con un valor de 7,05 el proyecto es viable a la inversión en 3,66 meses.

CONCLUSIONES

Para la simulación y diseño de este proyecto se realizó el levantamiento mediante visita técnica verificando las medidas de la compuerta construida por el Consejo Provincial de Pichincha en el canal donde fue instalada.

Los parámetros con los que se realizó la simulación mecánica de la compuerta son una masa total de la pantalla y sus componentes de 180,20 kg y una fuerza de elevación 12,71 kN, a partir de estos se realizó el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conformado por un panel solar de tipo Silicio Policristalino con potencia máxima de 150 W, un controlador de carga, un inversor y dos baterías GFM G-150Ah tipo Gel, y verificado condiciones climáticas para el panel solar.

En el diseño de la compuerta plana deslizante de 1130 x 1670 mm hecha de acero AISI 304 para una presión de 4,695 psig, sistema mecánico de cadena, cadena RS-50-1, piñón NK - 50B19T, el factor de seguridad obtenido es 26.

Para el sistema de elevación el motor seleccionado es MOTTBR MOTHP050 así como un reductor sinfín CAJRED MOTBOXX05 con torque de 69 Nm, el cual satisface el requerimiento de 54 Nm para la elevación de la compuerta.

Con los datos obtenidos y con parámetros de seguridad, los equipos y componentes del sistema fotovoltaico funcionarían correctamente con la irradiancia en el sector de $3,7 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$.

La potencia máxima de consumo es de $0,25 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{día}^{-1}$, y para poder generar dicha potencia es necesario un panel solar que alimente una batería de 204,24 A·h por tal razón fueron seleccionadas dos baterías de 150 A·h disponibles en el mercado las cuales tienen una autonomía de 5 días.

En la simulación estática usando el software Inventor los valores generados son Von Mises 63,83 MPa siendo menor que el esfuerzo de fluencia de 215 MPa, una deformación de 0,333 mm y factor de seguridad 3,3 con un número de nodos de 520318 recomendada por el software.

Con un diferente tipo de mallado en la simulación los valores varían en malla gruesa con 504277 nodos se obtiene un valor seguridad $n = 3,81$, Von Mises 56,45 MPa, deformación de 0,554 mm; en malla media con 922704 nodos se obtiene un valor $n = 3,16$, Von Mises 68,08 MPa, deformación de 0,345 mm; en malla fina con 1889670 nodos se obtiene un valor $n = 2,37$ Von Mises 90,74 MPa, deformación de 0,662 mm en los 3 casos de malla los datos obtenidos son favorables en su operación.

Se concluye que, aunque la adquisición de un sistema fotovoltaico para automatizar esta compuerta tiene un costo elevado, al ser su vida útil de 15 años el beneficio que este genera a su funcionamiento compensa la inversión.

El proyecto es viable con un payback period de 4 meses, TIR positivo de 17 % y VAN superior a cero con un valor de 7,05 mejorando su labor siendo un referente para futuras automatizaciones de las demás compuertas en este canal y además de cumplir con requerimientos para la conservación del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

Comprobar si el tipo de compuerta seleccionada es el correcto para canales de riego de espacios reducidos.

Realizar investigaciones para optar por otros tipos de izaje, como el hidráulico y verificar si el sistema fotovoltaico es la mejor opción.

Se recomienda para futuros proyectos sobredimensionar el sistema fotovoltaico en al menos un 15 %, para posibles casos en los cuales se demande un consumo extra de energía para su funcionamiento.

REFERENCIAS

- [1] C. P. Pichincha, «Consejo Provincial Pichincha,» Consejo Provincial Pichincha, 1 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.pichincha.gob.ec/transparencia/ano-2014/category/159-literal-a.html>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [2] P. Erbisti, Desing Of Hidraulic gates, Netherland: CRC Press, 2003.
- [3] «INHISA HIDRAULICA S.A.,» INHISA HIDRAULICA S.A. , 12 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://grupo-inhisa.com/descargas/compuertas/cat-taintor.pdf>. [Último acceso: 9 Agosto 2019].
- [4] J. R. TAPARA, «UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO,» 23 Enero 2017. [En línea]. Available: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4009/Rojas_Tapara_Joaquin.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 15 Mayo 2018].
- [5] J. Lewin, Hydraulic gate and valvule, London : Thomas Telford, 1995.
- [6] «Universidad EIA,» Universidad EIA, 15 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [7] E. I. P. S.A.C., «EMPRESA INDUTEC PERÚ S.A.C.,» EMPRESA INDUTEC PERÚ S.A.C., 15 Mayo 2015. [En línea]. Available: http://www.indutecperu.com/estructuras_mecanicas.html. [Último acceso: 20 Julio 2019].
- [8] I. A. e. Agua, «Aragon,» Aragon, 15 Febrero 2015. [En línea]. Available: https://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesAgua/Documentos/Areas_Tematicas/02_Abastecimiento_Agua_Potable/FotovoltaicaIAA.pdf. [Último acceso: 20 julio 2018].
- [9] M.-H. Education, «McGraw-Hill Education,» McGraw-Hill Education, 31 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [10] X. Galici, «RepHipUNR,» Universidad Nacional de Rosario, 21 Enero 2007. [En línea]. Available: <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/6625/7203-16%20FISICA%20Ondas%20Electromagneticas.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].

- [11] L. Floyd, Voltaje, corriente y resistencia en un circuito eléctrico, Mexico: Pearson Educación, 2017.
- [12] M. Á. N. Martínez, Metodología y análisis comparativo de equipos solares prefabricados indirectos por termosifón, Sevilla: Hemeroteca, 2012.
- [13] O. Perpiñán, Energía solar fotovoltaica, Mexico: Creative Commons, 2015.
- [14] C. d. Madrid, «Guía de la Energía Solar,» *Madridsolar* , vol. VII, nº 7, p. 20, 2006.
- [15] M. A. Abella, «Energía Solar Fotovoltaica,» *CIEMAT*, vol. II, nº 8, pp. 3-4, 2012.
- [16] McGraw, «Componentes de una instalación solar fotovoltaica,» *Hill Education*, vol. V, nº 13, pp. 19-20, 2016.
- [17] U. N. d. M. d. Plata, «Facultad de ingeniería,» Universidad Nacional de Mar del Plata , 18 Enero 2012. [En línea]. Available: http://www3.fi.mdp.edu.ar/emaquinas/files/reductoresy_motorreductores.pdf. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [18] M. Perez, «Sistemas inteligentes,» *Sistemas inteligentes* , 5 Noviembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.marioperez.com.mx/mecatronica/reductor-cicloidal/>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [19] M. Grassi, «miguelgrassi,» *miguelgrassi*, 22 Mayo 2007. [En línea]. Available: <http://www.miguelgrassi.com.ar/mecatronica/servomotores.pdf>. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [20] planeacionestrategica, «blogdiario,» *hispavista*, 6 Febrero 2009. [En línea]. Available: <http://planeacionestrategica.blogspot.es/1243897868/matriz-efe-efi/>. [Último acceso: 15 Julio 2019].
- [21] Metacol, «Soluciones Integrales en Ingeniería y Fundición,» *Metalúrgica Construcel Colombia S.A.* , 13 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.aliatubos.com/wp-content/uploads/descargas/certificaciones/metacol/COMPUERTAS.pdf>. [Último acceso: 30 Mayo 2018].
- [22] Valvtronic, «Valvtronic,» *Valvtronic*, 5 Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://www.valvtronic.com/wp-content/uploads/Catalogo-tecnico-de-valvulas-compuerta-Orbinox.pdf>. [Último acceso: 20 Julio 2019].

- [23] H. R. Galbarro, «Transmisión por Cadenas,» scribd, 20 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/295047436/Cadena-Mecanica>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [24] I. B. C.A., «IVAN BOHMAN C.A.,» IVAN BOHMAN C.A. , 12 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2015/12/cadenas.pdf>. [Último acceso: 3 Enero 2019].
- [25] I. Bohman, «Ivan Bohman,» Ivan Bohman, 12 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2015/12/pinones.pdf>. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [26] P. M. Kurowski, «Slideplayer,» Slideplayer, 18 Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://slideplayer.com/slide/6403236/>. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [27] Motive, «Motive,» 2 Julio 2018. [En línea]. Available: http://www.motive.it/cataloghi/BOX_catalogo_ing.pdf. [Último acceso: 29 Diciembre 2018].
- [28] Solargis, «Solargis,» Solargis, 13 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://solargis.com/es/products/pvplanner/overview>. [Último acceso: 22 Diciembre 2018].
- [29] M. P. Aparicio, Energía solar fotovoltaica Cálculo de una instalación, Madrid: Marcombo, 2010.
- [30] M. d. e. y. e. renovable, «Ministerio de electricidad y energía renovable,» Gobierno Ecuatoriano, 13 02 2015. [En línea]. Available: <http://www.centrosur.gob.ec/calcular-consumo#..> [Último acceso: 21 12 2018].
- [31] M. A. Abella, «CIEMAT,» Escuela de Organización Industrial , 2 Enero 2008. [En línea]. Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45302/componente45301.pdf. [Último acceso: 24 Diciembre 2018].
- [32] D. Solar, «Damia Solar,» Damia Solar, 22 Octubre 2018. [En línea]. Available: https://www.damiasolar.com/actualidad/prova/prova-8-cas_8_3. [Último acceso: 27 Diciembre 2018].
- [33] E. G. ENERGY, «ECO GREEN ENERGY,» ECO GREEN ENERGY, 5 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.proviento.com.ec/EGE-150M-36.pdf>. [Último acceso: 24 Diciembre 2018].
- [34] V. Energy, «Victron Energy,» Victron Energy, 12 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.renova-energia.com/wp->

- content/uploads/2018/09/Datasheet-Phoenix-Inverter-VE.Direct-250VA-1200VA-ES.pdf. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [35] S. P. Co, «Sunbright Power Co,» Sunbright Power Co, 13 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.proviento.com.ec/sbb12V150AH-gel.pdf>. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [36] Proviento, «Proviento,» Proviento, 8 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.proviento.com.ec/controladores.html>. [Último acceso: 27 Diciembre 2018].
- [37] I. Solaris Technology Industry, «Solaris Technology Industry, Inc.,» Solaris Technology Industry, Inc., 12 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.solaris-shop.com/content/American%20Wire%20Gauge%20Conductor%20Size%20Table.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2019].
- [38] J. A. Arboleda, «Manual de evaluación de impacto ambiental,» EDOC.PUB, 12 Agosto 2008. [En línea]. Available: <https://edoc.pub/manual-eia-jorge-arboleda-pdf-free.html>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [39] «EFECTOS AMBIENTALES,» *Iberdrola*, vol. VI, nº 3, p. 3, 2018.
- [40] R. Parra, «Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad,» *Avances en Ciencias e Ingenierías*, vol. 7, nº II, pp. 80-85, 2015.
- [41] A. fotovoltaica, «America fotovoltaica,» America fotovoltaica, 21 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.americafotovoltaica.com/beneficios-y-costos-de-la-energia-solar>. [Último acceso: 29 Diciembre 2018].
- [42] M. Valdiviezo, *Contabilidad General*, Quito: ESCOBAR, 2011.
- [43] I. N. d. E. y. Censos, «INEC,» Gobierno Nacional De LA Republica Del Ecuador , 12 Enero 2019. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Inflacion/2018/Diciembre-2018/Boletin_tecnico_12-2018-IPC.pdf. [Último acceso: 22 Julio 2019].

ANEXOS

Anexo 1: Manual de mantenimiento

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento del sistema de generación

- Descartar cada semana cualquier tipo de objeto o suciedad, que pueda afectar la producción de los paneles solares, ya que esta disminuirá la corriente eléctrica generada.
- No se recomienda el uso de productos abrasivos y es recomendable el uso de agua y un trapo.

Mantenimiento del sistema de acumulación

- Una vez al mes, limpiar los bordes de la batería con una mezcla de bicarbonato sódico y secar después del procedimiento.
- Los terminales de conexión se deben limpiar dos o tres veces al año, verificar el nivel de electrolito.
- Verificar el estado de carga de la batería con las indicaciones del regulador de carga.

Inspección visual de posibles daños en el panel fotovoltaico

- Verificar que no exista ninguna avería o rotura de las células del panel solar ni del cristal de protección.

Inspección del soporte del panel fotovoltaico

- Observación de posibles deformaciones
- Observación de posibles grietas
- Observación del estado de fijación de la estructura tal caso si algún elemento de fijación presenta síntomas de defectos.
- Observación del estado de fijación de módulos a la estructura.

Inspección de los inversores

- Cada mes lectura de los datos en la memoria de fallos.
- Cada seis meses la limpieza de los filtros, rejillas protectoras en las entradas y salidas de aire.
- Inspección visual de los fusibles

Mantenimiento no preventivo

Es recomendable que sea realizado por personal cualificado, como un instalador de sistemas fotovoltaicos.

- Medición de la tensión a circuito abierto
- Medición de la corriente de cortocircuito

Caídas de tensión en los distintos circuitos.