



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

**Análisis y diseño estructural de puente metálico alumbrado con
energía fotovoltaica sobre el Rio Marañón en el centro poblado
Chagual, Provincia de Pataz**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Chávez Sopla, Ener Lander (ORCID: 0000-0002-9566-0858)

ASESOR:

Mg. De La Cruz Araujo, Ronal Abel (ORCID: 0000-0003-3551-184X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

La presente tesis la dedico en primer lugar a Dios, quien guía mis pasos por el buen sendero del camino correcto, en brindarme las fuerzas necesarias para continuar siempre hacia adelante, conseguir este gran sueño y por estar en cada instante de nuestras vidas.

Quiero agradecer a mi familia en especial a mis padres por su amor, comprensión, amor y ayuda en los momentos más complicados y por forjar en mi persona una carrera profesional.

Agradecimiento

Agradecimiento al asesor metodológico Ing. Ronal Abel De La Cruz Araujo, por su guía constante y por su rectitud en su profesión como docente, por sus lecciones que contribuyen a la investigación científica.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	17
3.1. Tipo y diseño de investigación	17
3.2. Variables y operacionalización.....	18
3.3. Población y muestra.....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	18
3.5. Procedimiento	19
3.6. Método de análisis de datos.....	20
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN.....	64
VI. CONCLUSIONES	68
VII. RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS.....	73

Índice de tablas

Tabla 1: Criterios de deslumbramiento	14
Tabla 2: Proporción entre el ancho de vía y altura de luminaria.....	15
Tabla 3: Relación directa entre altura y flujo de la lámpara	15
Tabla 4: Valores promedios del factor de mantenimiento	16
Tabla 5: Técnicas e instrumentos de la investigación	18
Tabla 6: Parámetros técnicos del puente metálico y clima en Chagual.....	25
Tabla 7: Características conceptuales de los principales puentes metálicos.....	26
Tabla 8: Calificación de los criterios de diseño para el puente metálico	28
Tabla 9: Calificación de las alternativas para los distintos puentes metálicos	29
Tabla 10: Calificación del diseño.....	29
Tabla 11: Comparativo de perfiles estructurales para el diseño del puente	44
Tabla 12: Características principales de la luminaria seleccionada.....	49
Tabla 13: Parámetros principales del panel fotovoltaico seleccionado	51
Tabla 14: Características de la batería o acumulador... ..	52
Tabla 15: Características principales del controlador... ..	53
Tabla 16: Rangos de valores del inversor	54
Tabla 17: Interruptor automático termomagnético	57
Tabla 18: Interruptor automático diferencial	58
Tabla 19: Características principales de los fusibles... ..	58
Tabla 20: Inversión del puente metálico con iluminación fotovoltaica	61

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación del puente sobre el río Marañón	6
Figura 2: Puente metálico tipo arco	7
Figura 3: Puente metálico tipo viga	8
Figura 4: Puente metálico tipo colgantes	8
Figura 5: Efecto fotovoltaico	11
Figura 6: Ubicación de luminarias en una vía de transporte	14
Figura 7: Separación entre lámparas	15
Figura 8: Curva característica del factor de utilización.....	16
Figura 9: Procedimiento del proyecto de investigación	19
Figura 10: Pesos brutos en circulación sobre el puente Chagual	21
Figura 11: Caudales del río Marañón en el puente Chagual	22
Figura 12: Irradiación media mensual en la Provincia de Pataz... ..	23
Figura 13: Diagrama esfuerzo uniaxial vs deformación unitaria	24
Figura 14: Cargas del puente Chagual.....	31
Figura 15: Diseño de puente metálico de tipo arco con tablero superior... ..	31
Figura 16: Diagrama de cuerpo libre del puente.....	32
Figura 17: Diagrama de los elementos estructurales del puente	32
Figura 18: Aplicación de las cargas en estructura primaria.....	33
Figura 19: Extensión de las cargas en estructura primaria	33
Figura 20: Aplicación de malla – análisis de elementos finitos.....	34
Figura 21: Material de los elementos estructurales primarios	35
Figura 22: Dimensiones de la estructura metálica de carga primaria	35
Figura 23: Evaluación de cargas combinadas.....	36
Figura 24: Cargas sobre el arco metálico	37
Figura 25: Esfuerzos de Von Mises del arco metálico.....	37
Figura 26: Deflexión máxima del arco metálico	38
Figura 27: Factor de seguridad del arco metálico.....	38
Figura 28: Dimensiones óptimas del arco metálico	39
Figura 29: Carga máxima y deformación por fatiga en estructuras verticales.....	39
Figura 30: Factor de seguridad y porcentaje de daño por fatiga en verticales.....	40
Figura 31: Esfuerzo máximo y deformación unitaria en diagonales.....	41
Figura 32: Factor de seguridad y porcentaje de daño en diagonales.....	41
Figura 33: Esfuerzo máximo por fatiga en arco metálico	42
Figura 34: Deformación máxima por fatiga en arco metálico	42
Figura 35: Factor de seguridad por fatiga en arco metálico	43
Figura 36: Porcentaje de daño por fatiga en arco metálico.....	43
Figura 37: Cargas vivas de 48 Tn distribuidas en el puente metálico	47
Figura 38: Equipos intervinientes en el sistema fotovoltaico	60
Figura 39: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.....	61

Resumen

La construcción de puentes representa un factor crucial para el desarrollo económico y social de un país, porque favorece la comunicación de distintas ciudades para la articulación de actividades cotidianas (educación, comercio, recreación, etc.). Asimismo, la iluminación de éstos, a base de fuentes renovables, contribuye a un desarrollo sostenible y a una reducción del calentamiento global. En este trabajo se presenta el diseño y análisis estructural de un puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica sobre el Rio Marañón en el centro poblado Chagual, provincia de Pataz. Aplicando la matriz de selección el puente metálico óptimo fue de arco metálico con tablero superior con una carga máxima viva de 48TM y factor de seguridad de 5. El análisis estructural mediante la simulación de elementos finitos en el software Solidworks indicó que las estructuras primarias y secundarias deben ser de material ASTM A709 GR-50 y deben tener las dimensiones de 400x400x16mm y 1250x1250x25mm, respectivamente. El sistema fotovoltaico resultó constituido principalmente de luminarias de 55W, paneles fotovoltaicos monocristalinos de 250W, baterías de gel, controlador PS-15 e inversor de BCR-150-12 para una vida máxima de 25 años. La inversión del puente de arco metálico con tablero superior tiene un costo de S/ 5,241,524.73 y el sistema fotovoltaico S/ 22,616.00, obteniendo un total de S/ 5,264,140.73.

Palabras clave: puente metálico, alumbrado fotovoltaico, centro poblado Chagual

Abstract

The construction of bridges represents a crucial factor for the economic and social development of a country, because it favors the communication of different cities for the articulation of daily activities (education, commerce, recreation, etc.). Furthermore, their lighting, based on renewable sources, contributes to sustainable development and a reduction in global warming. This work presents the design and structural analysis of a metallic bridge lit with photovoltaic energy over the Marañón River in the populated center of Chagual, Pataz province. Applying the selection matrix, the optimal metal bridge was a metal arch with a top panel with a maximum live load of 48TM and a safety factor of 5. The structural analysis through the simulation of finite elements in Solidworks software indicates that the primary and secondary structures must be made of ASTM A709 GR-50 material and must have the dimensions of 400x400x16mm and 1250x1250x25mm, respectively. The photovoltaic system consisted mainly of 55W luminaires, 250W monocrystalline photovoltaic panels, gel batteries, PS-15 controller and BCR-150-12 inverter for a maximum life of 25 years. The investment of the metal arch bridge with top deck has a cost of 5241524,731 soles and the photovoltaic system 22616.00 soles, obtaining a total of 5264140.73 soles.

Keywords: metal bridge, photovoltaic lighting, Chagual town center

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación plantea una realidad problemática que se ve reflejada en el ámbito internacional, nacional y local, lo cual demuestra que el estudio planteado no es solamente un problema particular, si no también global.

A nivel internacional el uso del hierro fundido para la construcción de puentes metálicos va en aumento como una solución a los problemas de acceso de vías de comunicación terrestre entre localidades, siendo Argentina el país con el máximo número de puentes metálicos instalados donde el 70% de sus puentes son de estructuras de acero que unen pueblos y ciudades con la finalidad de mejorar las condiciones de salud, educación, comercio, otros. Luego le siguen Brasil 65%, Chile 55%, Colombia 50% y Perú con 30% el cual refleja un porcentaje de construcción de puentes de acero muy ineficiente comparados a los demás países ya mencionados, existiendo una problemática en la gestión de vías de acceso sobre todo en poblaciones vulnerables socialmente y económicamente (Torres, 2017).

A nivel nacional el Perú tiene un déficit de accesos viales de comunicación terrestre, existiendo problemas de inclusión social entre ciudades y comunidades, donde los tiempos de transporte son extensos de un lugar a otro debido a la ubicación geográfica que ofrece dificultades para la construcción de puentes como: inadecuada calidad del suelo, cruce de ríos, lugares inaccesibles y precipicios accidentados. El problema de poblaciones distanciadas o incomunicadas trae consigo muchos problemas como la salud, educación, comercio referido a la agricultura, ganadería, otros. Asimismo, en el Perú existen 864 centros poblados de difícil acceso con una población de 965432 habitantes, poblaciones que se encuentran alejadas de las ciudades principales por falta de políticas de comunicación vial, sumándole a esta problemática la falta de servicio eléctrico (Alcántara, 2018).

La provincia de Pataz se encuentra ubicada en la sierra oriental del departamento La Libertad en la margen derecha del río Marañón y al Oeste de la cordillera central de Los Andes a una altitud de 3203 m.s.n.m (INEI, 2016).

El centro poblado Chagual es uno de los distritos pertenecientes a la provincia de Pataz, que permite el pase a muchos otros, tales como: Tayabamba, Buldibuyo,

Chilia, Huancaspata, Parcoy, Pias, Vijus, entre otros. Chagual es muy importante ya que es el punto límite medio y cuenta con un puente que atraviesa el río Marañón y tiene una irradiación solar de 3220 Wh/m^2 (Senamhi, 2019).

El actual puente instalado en Chagual fue diseñado para una capacidad de 80 TM en una longitud activa de 85.34 m, con una antigüedad de 40 años y desde el inicio de sus operaciones viene presentando fallas por fatiga en su estructura, debido a que la fuerza hidráulica del agua proveniente del río Marañón sobrepasa el tablero del puente, sobre todo en los periodos de lluvia.

La indisponibilidad del puente conlleva a la paralización de varias actividades como la educación, la agricultura y ganadería, representando estos dos últimos el 22% de los recursos alimenticios que llegan a los mercados del departamento de La Libertad, sumándole a esta problemática el acceso a la salud (clínicas y hospitales) (INEI, 2016).

Debido a esta problemática, se plantea el análisis y diseño de un puente metálico sobre el río Marañón, el cual se encuentra en el centro poblado de Chagual a una altitud de 1247 msnm, Latitud Sur de $7^\circ 50' 0'' \text{ S}$ y Longitud Oeste de $77^\circ 38' 4.6'' \text{ W}$ (INEI, 2016). El puente metálico tendría una longitud de 100 metros implementado con tecnología sostenible mediante energía fotovoltaica para su alumbrado debido al difícil acceso de la red eléctrica nacional en la zona.

Finalmente, cabe mencionar que el aporte del alumbrado con energía fotovoltaica al puente metálico, contribuye a mejorar la circulación de los vehículos, debido al existente flujo elevado de transporte de vehículos en dicha zona, mejorando de esta manera la seguridad humana y material del puente metálico. Para la aplicación de esta energía renovable el centro poblado de Chagual cuenta con una irradiación media de 3220 Wh/m^2 como ya se mencionó anteriormente, la cual es suficiente para la instalación de paneles fotovoltaicos los cuales accionarían lámparas LED para la iluminación de 100 metros de longitud del puente.

Por lo anteriormente expresado, la formulación del problema de la investigación es el siguiente: ¿Es factible el análisis y diseño estructural de un puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica sobre el río Marañón en el centro poblado Chagual, Provincia de Pataz?

Basándose en la formulación del problema, el estudio plantea la siguiente hipótesis: El análisis y diseño estructural de puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica, si es factible sobre el río Marañón en el centro poblado Chagual, Provincia de Pataz.

La vigente investigación tiene como justificación desde el punto de vista económico porque aumentará el comercio entre las localidades que limitan el centro poblado de Chagual y se reducirán los costos de transporte público y material. Desde la justificación social la población tendría acceso directo y seguro a la ciudad de Trujillo respecto al sector educación y salud. Asimismo, desde la justificación institucional la construcción de puentes metálicos alumbrados con paneles fotovoltaicos como un método de utilización de las energías renovables hace que los estudiantes de la Universidad Cesar Vallejo aprenda y extiendan su conocimiento en la Institución y en el campo laboral, generando seres humanos con carácter de sensibilidad social planteando proyectos para el beneficio de poblaciones vulnerables o excluidas. Y finalmente se justifica ambientalmente porque se utiliza la energía fotovoltaica como una energía renovable infinita, que contribuye al medio ambiente.

Para dar respuesta al problema, se ha planteado el siguiente objetivo general: Analizar y diseñar la estructura de un puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica sobre el río Marañón en el centro poblado Chagual, Provincia de Pataz.

Para poder conseguir el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos: (1) realizar un diseño conceptual y de configuración para determinar el tipo de puente metálico óptimo; (2) determinar la carga máxima que soportará el puente metálico; (3) realizar un análisis estructural mediante el software CAD 3D Solidworks para dimensionar las vigas metálicas primarias y secundarias (4) implementar un sistema fotovoltaico determinando la potencia requerida para el alumbrado con iluminación LED, número de paneles fotovoltaicos, baterías, controladores, inversores y conductores eléctricos; (5) realizar un análisis de costos del puente metálico y sistema de iluminación fotovoltaica.

II. MARCO TEÓRICO

Para dar sustento a la investigación, el estudio cuenta con los siguientes antecedentes o trabajos previos nacionales e internacionales:

Guerrero (2017) realizó el diseño de un proceso de control de calidad para la construcción y montaje de puentes metálicos de vigas de alma llena para luces mayores a 40 metros y menores a 100 metros. Obtuvo como resultado que en la construcción de puentes con una luz máxima de 100 metros, es viable las vigas tipo H, tanto para vigas primarias o secundarias, para soportar pesos el rango de 65 a 85 TM sobre el puente como una distribución de carga axial. También el autor especificó que las vigas H de alma llena de designación 44x335 son las adecuadas para soportar hasta cargas de 100 TM, con un factor de seguridad de 3.

De la misma manera, Salazar (2015), realizó el diseño y simulación de un puente metálico de un carril, para vehículos hasta 50 Ton, longitud de 15m y ancho de 8m. Obtuvo como resultado que la construcción de puentes respecto a su seguridad y durabilidad depende de las propiedades mecánicas de la estructura metálica tales como momento de inercia, resistencia a la fluencia, resistencia última, radio de giro y dureza, y estas en su gran mayoría las poseen las estructuras metálicas de tubo cuadrado las cuales son excelentes para soportar cargas de hasta 50 Toneladas. De igual manera el autor indicó que las estructuras metálicas de tubo cuadro son excelentes soportando cargas axiales en puentes de longitudes cortas de hasta 15m, pero a mayores longitudes este tipo de estructuras son afectadas por la flexión.

Por otro lado, Morales (2016), en su estudio titulado alumbrado de un puente peatonal de 45 metros de Luz con sistema fotovoltaico. Tuvo como resultados que el puente necesita de una potencia de 450 KW/mes para su sistema de iluminación con energía fotovoltaica, donde la zona cuenta con una irradiación solar del orden de 3900 Wh/m², con una energía eléctrica de 6000 Wh/día. Por lo cual se seleccionaron 8 paneles fotovoltaicos de 150 W, el sistema fotovoltaico tiene una vida útil de 25 años y máxima de 35 años, con un beneficio de \$ 20000.00 y una inversión fija de \$ 10500.00.

Torres (2017), realizó un diseño y simulación estructural de un puente metálico, en sus resultados indicó que los puentes deben ser diseñados con estructuras metálicas tipo I para vigas primarias, tipo C para vigas secundarias y vigas de miembro cero, las cuales son adecuadas para soportar grandes cargas de flexión entre 90 - 120 TM, con puentes de hasta de 150 m de luz. Asimismo, también puntualizó que las vigas primarias de carga viva deben poseer factores de seguridad en el orden de 3 a 5, las vigas secundarias 2 a 3 y las vigas de miembro cero deben tener entre 1.5 a 1.8.

Asimismo, Mejía (2016), realizó el diseño de un puente metálico con vigas de acero, tuvo como resultados que el diseño de un puente metálico asistido por el software Solidworks para soportar cargas dinámicas del orden máximo de 100 TM, debe utilizar vigas de acero compuesto de forma I, las cuales son ideales para reducir las cargas por flexión ocasionadas por el peso y fricción de los vehículos. Las vigas I ofrecen mayores momentos de inercia de hasta $100\ 000 * 10^4 \text{ mm}^4$, donde las vigas de acero compuesto soportan las menores deflexiones de 0.9 mm a 1.1 mm, frente a las de tipo C que generan flexiones el rango de 1.5 mm a 1.9 mm.

Finalmente, en el estudio de Cruz & Núñez (2013), realizaron un estudio basado en las aplicaciones y usos de la energía fotovoltaica, los autores detallan que el Perú es geográficamente un país con un elevado índice de irradiación donde los valores varían entre 2100 a 6800 Wh/m², siendo aprovechables para la generación de energía eléctrica. Obteniendo como resultados que para la implementación de un sistema fotovoltaico con un consumo medio de 5000 W, en una zona con una irradiación media de 3500 Wh/m² (valor que se pueden originar en la costa, sierra y selva) necesita en promedio de la instalación de 10 paneles fotovoltaicos, 5 baterías con capacidad de 150 Ah de 12 V, 1 inversor de 12V/220V, 1 controlador de 30A, asimismo los autores indicaron que es satisfactoria la instalación de paneles fotovoltaicos porque poseen en promedio un retorno operacional de la inversión de 5 a 8 años, donde los equipos del sistema fotovoltaico pueden ser aprovechados hasta una vida útil de 30 años.

El presente estudio para el análisis y diseño de un puente metálico alumbrado con energía fotovoltaico, se centra en las sucesivas teorías relacionadas al tema, las

cuales se fundamentan en la recolección de información científica, tales como artículos científicos, tesis, libros de ingeniería de materiales y energía fotovoltaica.

Puente: es una construcción que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, una carretera, un camino, una vía férrea o cualquier otro obstáculo físico (Estef, 2016). El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y de la naturaleza del terreno sobre el que se construye. En el entorno estructural de puentes metálicos, existe una diversificación, los cuales varían según el diseño el cual se establece según la carga y longitud, pero básicamente existen 3 tipos de puentes metálicos, de los cuales se derivan una gran variedad, tenemos:

En la figura 01, se muestra el puente de Chagual con una luz de 100m y una capacidad de 48 TM permitiendo la comunicación terrestre entre las distintas ciudades de Pataz.



Figura 01: Ubicación del puente sobre el río Marañón en el centro poblado de Chagual

Fuente: Google Earth, 2020

Puentes de arco: es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas. Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Normalmente la esbeltez del arco (relación entre la flecha máxima y la luz) es alta, haciendo que los esfuerzos horizontales sean mucho mayores que los verticales. Por este motivo son

adecuados en sitios capaces de proporcionar una buena resistencia al empuje horizontal (Carrera, 2018)

En la figura 2, se observa un puente metálico de tablero superior, cual cuál consta de un arco para equilibrar las cargas vivas, estas cargas vivas son distribuidas en las columnas y estas a su vez se transmiten a la cimentación y arranque.

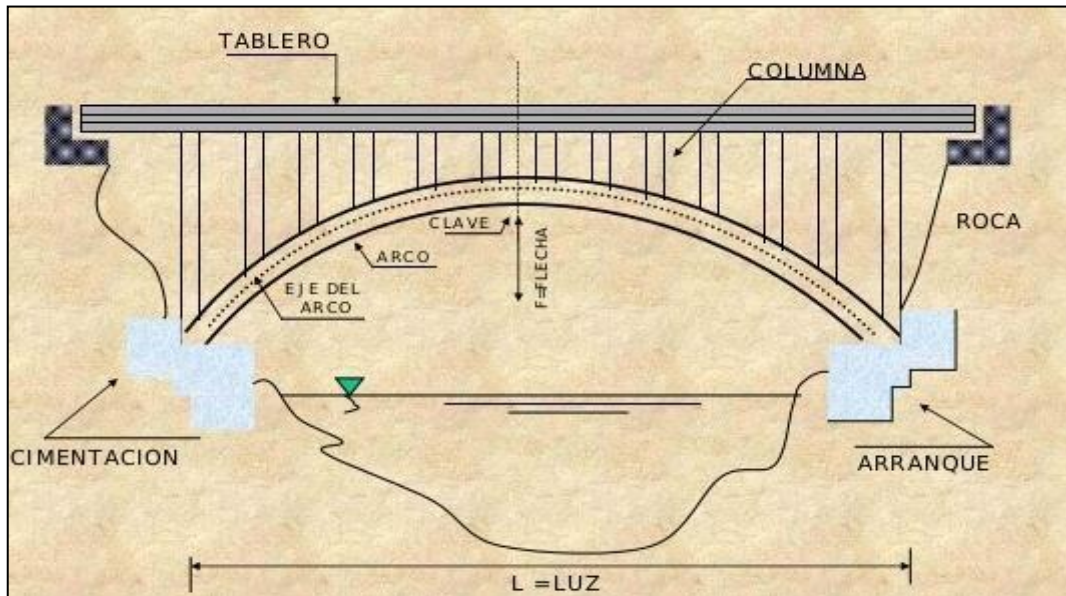


Figura 2: Puente metálico tipo arco
Fuente: Hall, 2015

Puentes viga: Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares (Valero, 2016). Mientras que la fuerza que se transmite a través de los pilares es vertical y hacia abajo y, por lo tanto, éstos se ven sometidos a esfuerzos de compresión, las vigas o elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan (Beer, 2018). El esfuerzo de flexión supone una compresión en la zona superior de las vigas y una tracción en la inferior (Carrera, 2018).

En la figura 3, se muestra un puente metálico de tipo viga, donde su estructura está constituido de elementos de carga primaria, secundaria y elementos de carga cero, dónde estos últimos ingresan en funcionamiento cuando falla un elemento de carga secundaria; como se observa en la figura las vigas en horizontal son de carga primaria, las vigas en diagonal son de carga secundaria y las vigas en vertical son elementos de carga cero.



Figura 3: *Puente metálico tipo viga*
Fuente: Carrera, 2018

Puentes colgantes: Están constituidos básicamente por una sección curvada hacia arriba que se apoya en unos soportes o estribos y que abarca una luz o espacio vacío (Russell, 2017). En ciertas ocasiones el arco es el que soporta el tablero (arco bajo tablero) del puente sobre el que se circula, mediante una serie de soportes auxiliares, mientras que en otras de él es del que pende el tablero (arco sobre tablero) mediante la utilización de tirantes (Santos, 2017). La sección curvada del puente (figura 4) está siempre sometida a esfuerzos de compresión, igual que los soportes, tanto del arco como los auxiliares que sustentan el tablero. Los tirantes soportan esfuerzos de tracción (Carrera, 2018)

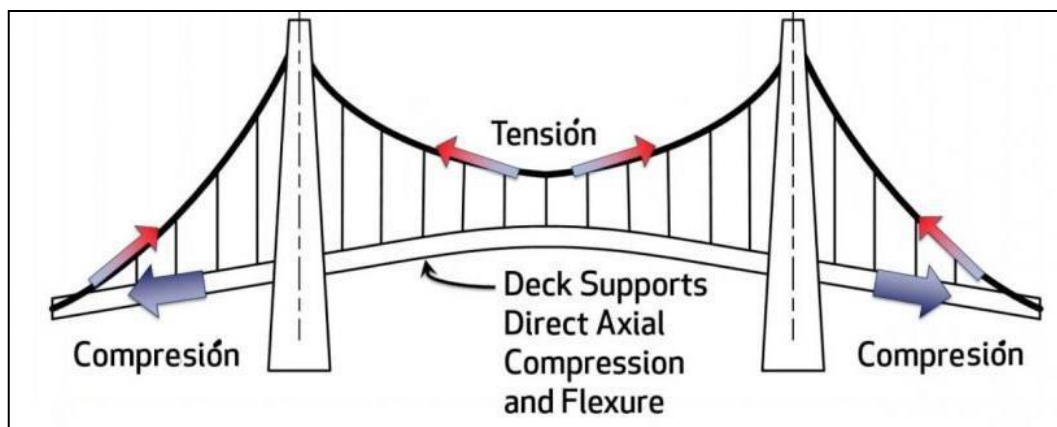


Figura 4: *Puente metálico tipo colgantes*
Fuente: Carrera, 2018

Diseño por fatiga: Las estructuras metálicas están expuestas a grandes cambios en sus esfuerzos axiales, cortantes y flexionantes, dónde la resistencia a la fatiga se ve afectada por el acabado superficial del material de la viga, por el factor de forma, tipos de carga, temperatura y condiciones diversas (Shigley, 2018).

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e \quad (01)$$

Dónde, S_e : Limite de resistencia a la fatiga real (Mpa), K_a : Factor de acabado superficial; K_b : Factor de forma; K_c : Factor de tipo de carga; K_d : Factor de condiciones de temperatura, K_e : Factor por condiciones diversas y S'_e : Limite de resistencia a la fatiga teórico (Mpa).

Dónde el límite de resistencia a la fatiga teórico, se expresa:

0.5 S_{ut}	$S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi}$ ($S_{ut} \leq 1\,400 \text{ MPa}$)
1 00 Kpsi	$S_{ut} > 200 \text{ Kpsi}$
700 Mpa	$S_{ut} > 1400 \text{ MPa}$

Esfuerzos medios y alternos, una viga metálica sometida a fatiga depende cíclicamente de las fuerzas normales y fuerzas cortantes (Singer, 2018).

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}; \sigma_a = \frac{|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}|}{2} \quad (02)$$

Dónde, σ_m : Esfuerzo promedio (Mpa); σ_a : Esfuerzo alterno (Mpa); σ_{\max} : Esfuerzo máximo de trabajo de la viga metálica (Mpa) y σ_{\min} : Esfuerzo mínimo de trabajo de la viga metálica (Mpa).

Según el criterio de falla “Goodman” que es los más relevantes en el diseño de vigas metálicas, que relaciona los esfuerzos de trabajo y los esfuerzos máximos soportados por el material (Sanjurjo, 2015), están expresados en la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N} \quad (03)$$

Dónde, σ_m : Esfuerzo promedio (Mpa); σ_a : Esfuerzo alterno (Mpa); S_e : Limite de resistencia a la fatiga real (Mpa), S_{ut} : Esfuerzo ultimo a la tracción (Mpa) y N: Factor de seguridad requerido de la viga metálica

La cimentación, es fundamental para soportar y transmitir las cargas al suelo, de manera que no superen el esfuerzo admisible del terreno, ni produzcan cargas zonales (Juárez, 2016).

$$b = \left(\frac{W_n}{(\sigma_{adm})_t - \gamma_c * e} \right)^{0.5} \quad (04)$$

Dónde, b: Ancho y largo de la cimentación (m); e: Altura del cimientto (m); W_n : Carga neta soportada por la cimentación (KN); $(\sigma_{adm})_t$: Esfuerzo admisible del suelo (Mpa) y γ_t : Peso específico del suelo $\left(\frac{KN}{m^3} \right)$

Energía fotovoltaica: La captación de energía solar por irradiación en un panel fotovoltaico, se transforma directamente en energía eléctrica en condición alterna o continua, debido a que el panel fotovoltaico es un equipo que esta acondicionado para captar la mayor capacidad de irradiación solar con materiales como el silicio que es mejor elemento de captación, pero hasta la actualidad los rendimientos de absorción no superan el 30%, por lo cual esta tecnología sigue en progreso para poder competir con la energía producida por turbinas hidráulicas que es la fuente más rentable desde el carácter económico, pero que origina contaminación ambiental (Harper, 2015).

Irradiación solar: La irradiación solar es un parámetro variable que depende de las características geográficas de un determinado lugar, al cual incide la energía del sol, es decir es la potencia medida en un intervalo de 1 hora en un área específica de 1 m², donde su valor depende de la zona según lo longitud y latitud (Beltrán, 2017).

Efecto fotovoltaico: El efecto fotovoltaico se origina cuando los fotones de la irradiación solar son captados por las celdas del generador fotovoltaico que son de material de silicio el cual es un material semiconductor. Por lo tanto, el fotón al ser

captado o absorbido deja libre un electrón el cual circula por un cable eléctrico, generándose de esta manera el flujo de corriente eléctrica (Kert, 2015).

En la figura 05, se muestra el efecto fotovoltaico en un panel solar plano de silicio, en el cual se ve la incidencia de la irradiación (energía solar) para la producción de energía eléctrica la se traduce en corriente continua, necesitando de un inversor para obtener corriente alterna.

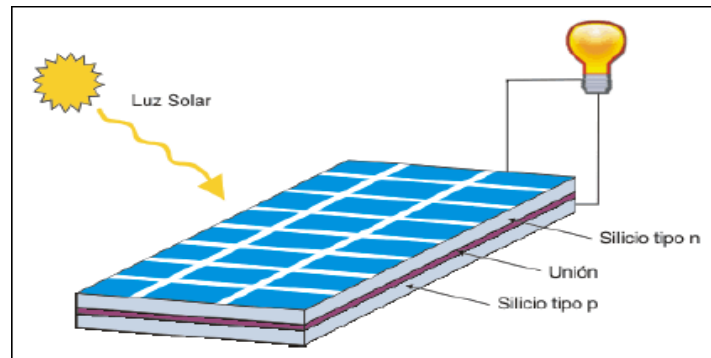


Figura 05: Efecto fotovoltaico. Fuente: (Campos, 2015).

La energía máxima, que puede captar un panel fotovoltaico (Fernández, 2016), se determina:

$$(E_{\max})_p = P_{mp} * HSP * (1 - GP) \quad (05)$$

Dónde, $(E_{\max})_p$: Energía captada por el generador fotovoltaico, Wh/día; P_{mp} : Potencia solar pico, HSP: Hora solar pico. Conversión: $(1HSP = \frac{K Wh}{m^2})$ y GP: Pérdida gradual de potencia (Valor de fabricante)

Asimismo, la energía que puede suministrar el panel fotovoltaico al sistema sería:

$$E_{\max} = \frac{P_L * t}{[1 - (K_B + K_c + K_R + K_x)] * [1 - \frac{(K_A * D_{aut})}{P_d}]} \quad (06)$$

Dónde, E_{\max} : Energía pico por día máxima, Wh/día; K_A : Constante de pérdida por descarga de batería, considerar para efectos de cálculos 0.5%, o si se tienen definido el sistema de acumulación se sugiere: 0.2% para acumuladores de NiCd y PbCa, 0.5% para acumuladores de plomo-ácido, Pb y 1.2% para acumuladores usados o deteriorados; K_B : Constante de pérdida de eficiencia del acumulador, está comprendido en el rango de 5% a 10% (para acumuladores con grandes

descargas); K_c : Constante de pérdida por capacidad, con rangos que oscilan entre el 75 a 95%, si no se conocen datos se asume 25% a 5%; K_R : Constante de pérdida por controlador, debido a la variación por intervalos del voltaje en corriente continua, se consideran para efectos de cálculos valores en el orden de 10% a 1%; K_x : Constante en cables y equipos de seguridad, aquí se consideran también toda pérdida no considerada, se toman valores en los rangos de 15% cuando se desconoce la potencia teórica y 5% cuando se han considerado las pérdidas en todos los equipos del sistema, P_L : Generación de potencia de refrigeración; t : Tiempo de refrigeración; P_d : Constante de pérdidas por profundidad de acumuladores; D_{aut} : Tiempo de autonomía debido a lluvias o insolación (Diez, 2017).

Para evaluar la cantidad de generadores fotovoltaicos (Fernández, 2016), se determina:

$$N_p = \frac{E_{max}}{(E_{max})_p} \quad (07)$$

Dónde, N_p : Cantidad de generadores fotovoltaicos; $(E_{max})_p$: Energía generada máxima, Wh/día y E_{max} : Energía máxima de la irradiación solar, Wh/día.

Acumuladores: Los acumuladores o comúnmente llamados baterías, tienen la capacidad de almacenar energía eléctrica transformándola en energía química para su almacenamiento, en un medio que puede ser plomo ácido, gel entre otros (Cantec, 2016). Para determinar la capacidad de una batería (Campos, 2015), se determina:

$$C_{Bateria} = \frac{E_{max} * D_{aut}}{V * P_d} \quad (08)$$

Dónde: V : Tensión del acumulador, voltios; E_{max} : Energía máxima de la irradiación solar, Wh/día; D_{aut} : Tiempo de autonomía debido a lluvias o insolación, días y P_d : Constante de pérdidas por profundidad de acumuladores.

Conductores: Un conductor eléctrico o común mente llamado cable eléctrico, es el entorno donde las características de un electrón respecto de su voltaje y amperaje pueden trasladarse mediante una sección transversal (Cantec, 2016).

El CNE (Código Nacional de Electricidad), establece que se debe utilizar cobre duro con protección de PVC para soportar temperaturas de 70°C, con elección de secciones americanas AWG.

La sección de un conductor se determina:

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\delta} \quad (09)$$

Dónde, ρ : Resistividad del cobre, $\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

$$\rho = \rho_{20^\circ\text{C}} * (1 + \alpha * \Delta T) \quad (10)$$

I: Intensidad máxima en el generador fotovoltaico, A; L: Longitud, m; δ : Caída de voltaje normada, V; α : Coeficiente de resistividad lineal, $^\circ\text{C}^{-1}$.

Iluminancia: Es el flujo de energía (traducido en luz) el cual incide en una determinada área y su unidad es el LUX, equivalente a lumen/m² (Morales, 2016).

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (11)$$

Dónde, E: Iluminancia (LUX); Φ : Cantidad luminosa (Lumen) y S: Área (m²).

Luminancia: Es la cantidad de energía que es percibida por los ojos procedentes de los objetos, y es responsable de estimular la retina generando la visión. Asimismo, es aquella luz que procede del mecanismo de reflexión, cuando la iluminancia incide sobre los cuerpos (Morales, 2016)

$$L = \frac{I}{S} \quad (12)$$

Dónde, L: Luminancia (cd/m²), S: Área incidente (m²) y I: Intensidad luminosa (cd)

Deslumbramiento: Es aquel parámetro generado por los reflejos en una calzada (Cuando existen luz intensa o luz mínima), es decir es la sensación molesta que obstaculiza la visión, el cual puede generar daños como la ceguera transitoria (Morales, 2016).

En la tabla 1, se detallan los criterios de deslumbramiento según la evaluación del alumbrado, para minimizar los efectos de luz intensa y luz mínima.

Tabla 01: Criterios de deslumbramiento

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Fuente: Extraído del informe “Alumbrado de un puente peatonal” de Morales, 2016.

- Luminarias: Son equipos que tienen la función de resguardar y soportar una lámpara ya sea de vapor de sodio, LED, otros. Asimismo, las luminarias son las encargadas de direccionar el flujo luminoso, estas pueden estar ubicadas en postes, en cables sobre calzadas o en columnas.

En la figura 6, se detalla la distribución de luminarias sobre una calzada, existiendo el ordenamiento unilateral, tres bolillos, pareada y suspendida transversal, dónde la distribución tresbolillo y pareada es la más eficiente para calzadas de elevado tránsito y la unilateral para calzadas de regular tránsito vehicular.

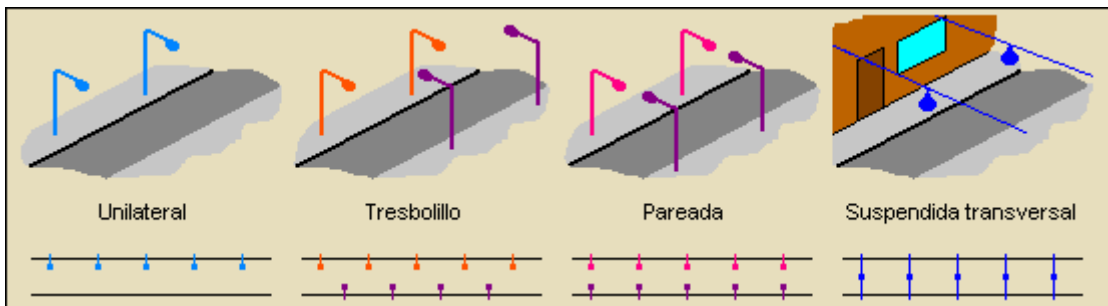


Figura 06: Ubicación de luminarias en una vía de transporte

Fuente: Extraído del informe “Alumbrado de un puente peatonal” de Morales, 2016.

El tipo de ubicación de la luminaria en una vía de transporte, depende del ancho y la altura de implementación de dicha luminaria, tal como se detalla en la tabla 02.

En la tabla 2, se muestra la razón entre el ancho de una calzada y la altura de la luminaria, permitiendo de esta manera decidir qué tipo de ordenamiento o distribución utilizar.

Tabla 02: Proporción entre el ancho de vía y altura de luminaria

	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	$A/H < 1$
Tresbolillo	$1 \leq A/H \leq 1.5$
Pareada	$A/H > 1.5$
Suspendida	Calles muy estrechas

Fuente: Extraído del informe “Alumbrado de un puente peatonal” de Morales, 2016.

Mientras el flujo luminoso determinado por la capacidad de la luminaria depende directamente de la altura de la luminaria, tal como se detalla en la tabla 03.

Tabla 03: Relación directa entre altura y flujo de la lámpara

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leq \Phi < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi < 40000$	$10 \leq H < 12$
≥ 40000	≥ 12

Fuente: Extraído del informe “Alumbrado de un puente peatonal” de Morales, 2016.

Método de los lúmenes o del factor de utilización: Este método tiene como finalidad determinar la distancia correcta entre las lámparas, para obtener un óptimo deslumbramiento (Carrera, 2018). En la figura 7, se detalla una distribución de las luminarias de manera unilateral, donde la distancia (d) entre postes, depende de varios factores como el flujo luminoso, iluminancia, ancho de la vía y del factor de utilización.

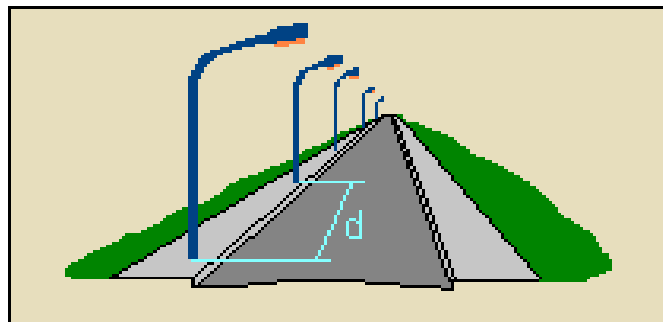


Figura 07: Separación entre lámparas

Fuente: Extraído “Diseño estructural de puentes” de Carrera, 2018.

La separación o distancia entre lámparas se efectúa, mediante la siguiente formulación:

$$d = \frac{\eta * f_m * \Phi}{A * E_m} \quad (13)$$

Dónde, d : Separación entre lámparas (m); Φ : Flujo luminoso (lumen); E_m : Iluminancia (LUX), A : Ancho máximo de la vía (m) y η : Factor de utilización, es la razón del flujo luminoso y el flujo neto emitido por la luminaria de la lámpara.

En la figura 08, se muestra el diagrama del factor de utilización vs el ancho vía/altura lámpara, en el cual se debe configurar el factor de utilización tanto para la acera y calzada

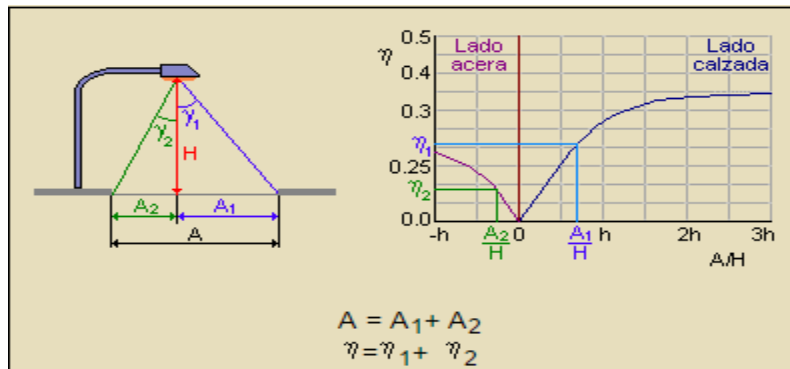


Figura 08: Curva característica del factor de utilización

Fuente: Extraído del informe “Alumbrado de un puente peatonal” de Morales, 2016.

f_m : Factor de mantenimiento, está directamente relacionado con la contaminación, tráfico y mantenimiento, los cuales definen las características de la vía de transporte (Carrera, 2018).

En la tabla 4, se muestran valores promedios del factor de mantenimiento, el cual se ve afectado si la luminaria es abierta o cerrada y de las características de la vía.

Tabla 04: Valores promedios del factor de mantenimiento

Características de la vía	Luminaria abierta	Luminaria cerrada
Limpia	0.75	0.80
Media	0.68	0.70
Sucia	0.65	0.68

Fuente: Extraído del informe “Alumbrado de un puente peatonal” de Morales, 2016.

Retorno operacional de la inversión, es la principal cuantificación del análisis económico, el cual depende de dos variables, la inversión inicial de los activos fijos y del beneficio útil ganado en un determinado periodo (Salazar, 2015).

$$ROI = \frac{I_o}{B_u} \quad (14)$$

Dónde: I_o : Inversión inicial (S/.) y B_u : Beneficio útil en un proyecto (S/./Año)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo **aplicada**, según Legra (2018) expresa: “Que son investigaciones que se fundamentan principalmente en resolver una problemática específica para la contribución de la generación de nuevos conocimiento científicos”, por lo consiguiente la investigación es aplicada porque busca enfatizar en el análisis y diseño estructural de un puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica para solucionar la problemática de un determinado sector social, donde dicho estudio contribuye al aporte del sector vial de comunicación terrestre.

También el estudio es nivel **explicativo**, según Legra (2018) expresa: “Son estudios que exponen el fenómeno de estudio, sustentado en estudios o investigaciones demostradas”, la investigación porque describe el proceso analítico del diseño estructural de un puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica, hasta obtener resultados óptimos según los criterios técnicos y económicos.

Además, el método es **deductivo**, según Legrá (2018) explica: “Que estas investigaciones para la obtención de sus resultados o para analizar el fenómeno recurren a la base científica tales como: principios, teorías y leyes, basadas en formulaciones matemáticas y físicas” la presente investigación aplicará el método deductivo porque hará uso de las ecuaciones de la mecánica de materiales, electricidad industrial y energía fotovoltaica.

La investigación es de diseño **pre-experimental** (O1 X O2), según Legrá (2018) explica: “Que son las primeras investigaciones en tener relación con el fenómeno y darle una solución, mediante la influencia de una variable sobre otra”, la investigación es de diseño pre-experimental porque busca en la variable independiente un cambio en el tiempo para dar solución a una problemática.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Características técnicas del puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica

Variable dependiente: Costos de inversión

3.3. Población y muestra

Población: Puentes estructurales metálicos

Muestra: Puente estructural metálico, sobre el río Marañón – Centro Poblado Chagual.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 5: Técnicas e instrumentos de la investigación

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de Registro
Guía documentaria	Fichas bibliográficas

Fuente: *Elaborado por el autor*

El análisis documental mediante las fichas de registro, permitirá obtener datos tales: condición topográfica de la zona, ubicación geográfica de la zona (latitud/longitud), número promedio de vehículos que circularan por el puente y peso máximo que soportarían las estructuras.

La guía documentaria mediante las fichas bibliográficas, permite la recolección información con criterio científico para el desarrollo de las teorías relacionadas al tema y trabajos previos, según trabajos o estudios similares y que contribuyan a la presente investigación.

3.5. Procedimiento

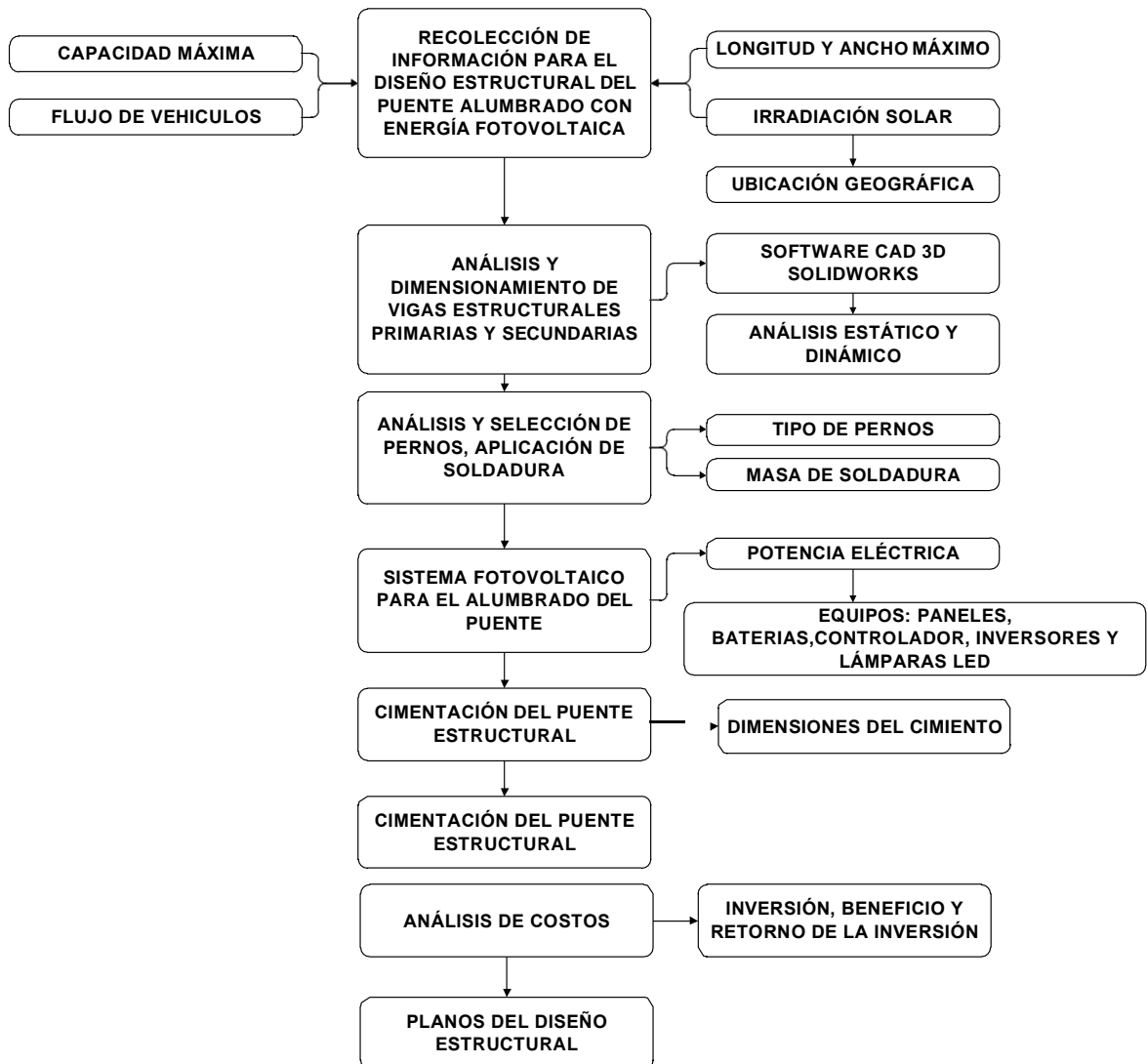


Figura 09: Procedimiento del proyecto de investigación

Fuente: Elaborado por el autor

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizará el software Excel mediante hojas de cálculo para el procesamiento de los resultados en tablas y gráficos, permitiendo una mejor manipulación por cada objetivo específico. Asimismo, para el diseño estructural del puente se utilizará el software CAD 3D Solidworks, permitiendo el análisis estático y dinámico de las estructuras.

3.7. Aspectos éticos

El autor investigador del presente informe, detalla que la recolección de la información es verás y original, sin la necesidad de infringir en el plagio, así mismo se protege la información recopilada, así como también la identidad de las personas involucradas en el estudio sin su previa autorización.

IV. RESULTADOS

4.1. DISEÑO CONCEPTUAL Y DE CONFIGURACIÓN PARA DETERMINAR EL TIPO DE PUENTE METÁLICO ÓPTIMO.

4.1.1. Recolección de datos:

Para realizar el análisis y diseño estructural del puente metálico, se recolectaron los siguientes datos, los cuales permitirán el desarrollo de los objetivos específicos planteados en esta investigación:

a) Carga máxima o viva de circulación en el puente Chagual

En la figura 10, se observa en el eje "X" el número de ítems (muestras tomadas en el puente Chagual) y en el eje "Y" la carga viva de circulación en el puente Chagual, la carga viva es referida a los pesos brutos de vehículos livianos y pesados. La recolección de datos consistió en tomar 40 ítems en un mes (10 ítems de carga viva máximos por semana), determinando que la máxima carga viva que circula por el puente Chagual es de 48 Tn y la carga mínima 0.5 Tn. Estos valores permiten determinar la capacidad máxima de diseño del puente metálico con arco superior.

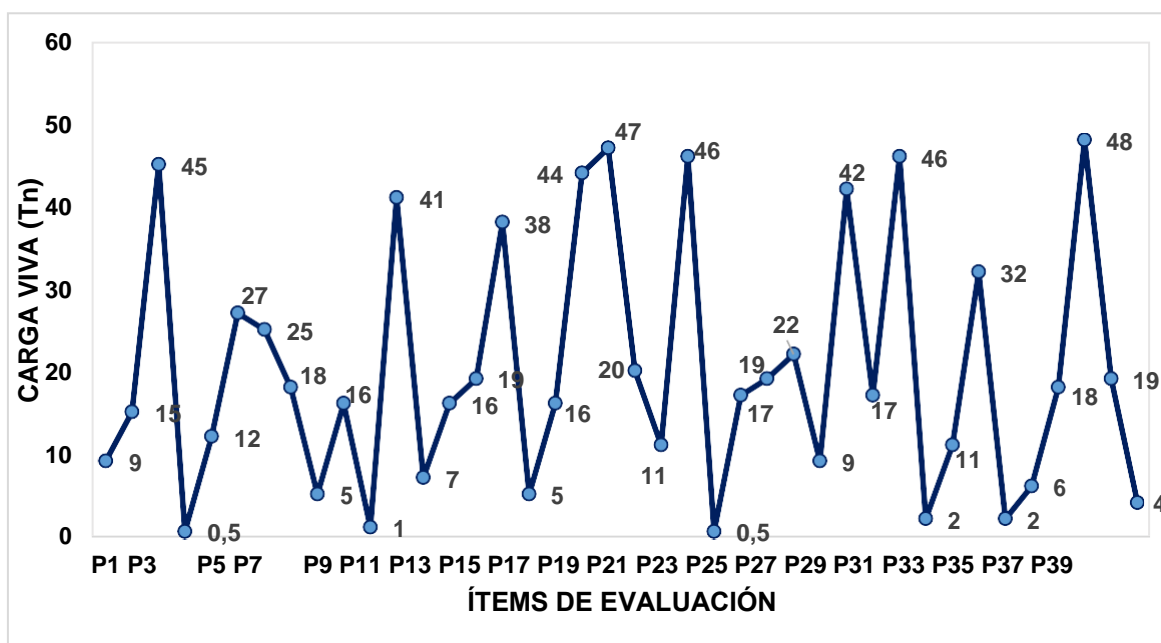


Figura 10: Pesos brutos en circulación sobre el puente Chagual

Fuente: Elaboración propia. Recolección de datos en puente Chagual, 2019.

b) Caudal del río Marañón en puente Chagual

En la figura 11, se muestra el caudal o flujo volumétrico del río Marañón en los 3 últimos periodos de evaluación 2010, 2015 y 2017 en orillas del centro poblado de Chagual a una altitud de 1247 msnm, latitud Sur de 7° 50' 0" S y longitud Oeste de 77°38'4.6"W, obteniendo un caudal máximo de 5.4 m³/s, el cual afecta a los cimientos del actual puente de Chagual, ya que genera fuerzas cortantes sobre su estructura. Este valor es de significativa consideración en el diseño del puente metálico de tablero superior, para evitar las fuerzas de cizallamiento ocasionadas por la fuerza del agua.

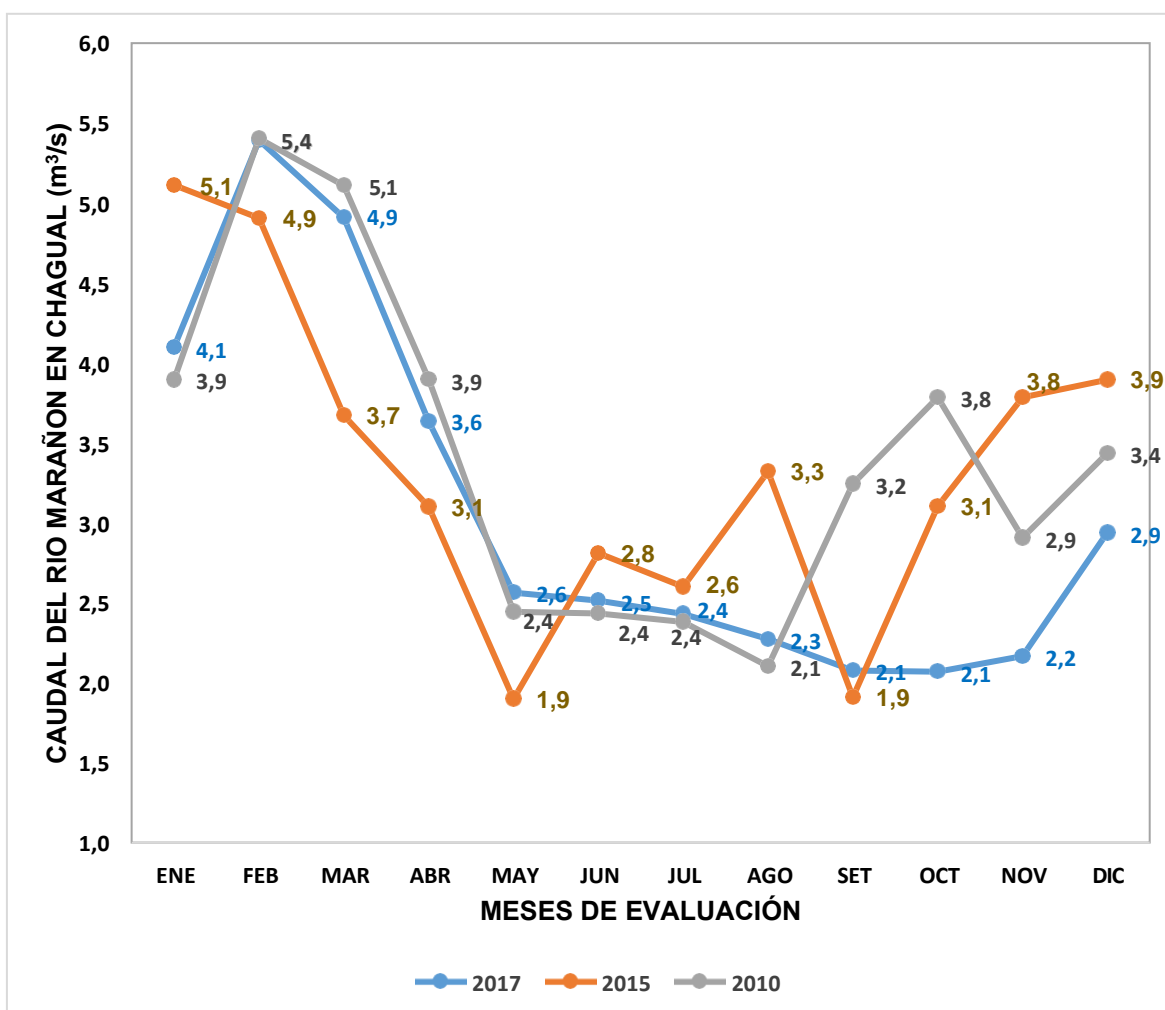


Figura 11: Caudales del río Marañón en el puente Chagual

Fuente: Estudio hidrológico del Río Marañón, 2010-2015-2017.

c) Irradiación solar en puente Chagual

En la figura 12, se observa la irradiación media solar en la Provincia de Pataz por cada mes, durante los tres últimos años de evaluación 1995, 2006 y 2015. Los datos fueron extraídos de la estación meteorológica de la mencionada ciudad, cabe mencionar que las mediciones de Irradiación solar no tienen cambios significativos en periodos cortos y suele cambiar en proporciones pequeñas cada 9 a 11 años, por lo cual se trabajará con los datos del periodo 2017 para el estudio de la implementación del sistema fotovoltaico del puente metálico donde en la Provincia de Pataz se registra una irradiación máxima de 3.20 KWh/m² y una mínima de 2.55 KWh/m² (curva azul).

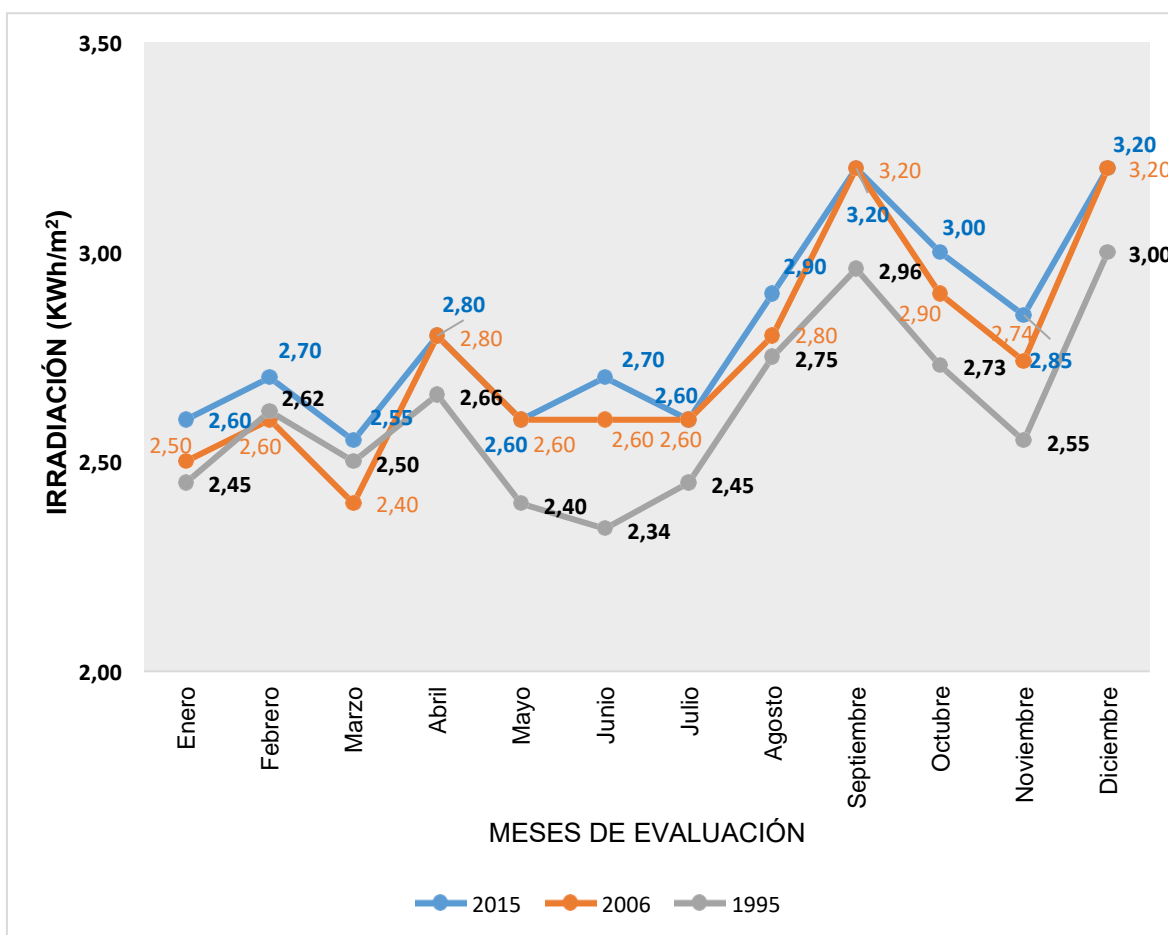


Figura 12: Irradiación media mensual en la Provincia de Pataz

Fuente: Datos extraídos del Atlas Solar del Perú, estación meteorológica en la Provincia de Pataz, 1995-2006-2015.

d) Esfuerzo cortante del suelo a orillas del río Marañón en Chagual

En la tabla 13, se observa en el eje “X” el tamaño de las partículas del suelo sometidas a deformación unitaria, y en el eje “Y” se establece la resistencia de cohesión al corte. La muestra analizada fue de 1.5 Kg de suelo franco – arcilloso extraído de las orillas del río Marañón en Chagual, la cual fue sometida a un estudio de resistencia a la compresión uniaxial encofinada en un laboratorio de suelo, obteniendo una resistencia máxima de 1.63 Kgf/cm² (160 Kpa), dónde este valor define el análisis por pandeo de las estructuras bases del puente metálico. También cabe señalar que cuando el suelo se ve afectado por una deformación unitaria mayor a 0.075mm/mm, se comenzaran a mostrar efectos de deslizamiento en las bases o cimientos del puente metálico.

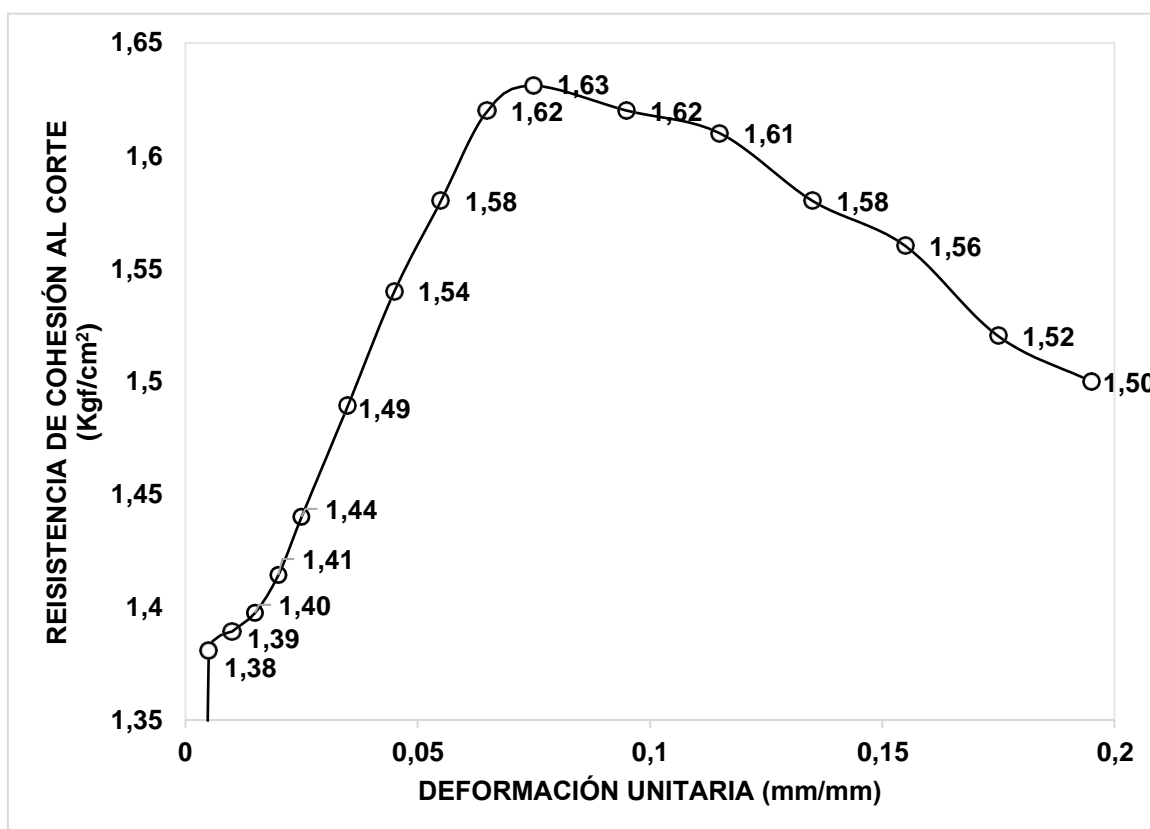


Figura 13: Diagrama esfuerzo uniaxial vs deformación unitaria

Fuente: Laboratorio de suelos UPAO, Febrero – 2020.

e) Parámetros de diseño puntuales

En la tabla 6, se muestra que la longitud de diseño del puente metálico será 100m con un ancho de 6m, altura de 10m y longitud libre de bordo de 0.5m. También se especifica que la temperatura promedio anual de Chagual es 20°C y viento de 4 Km/h (Valores obtenidos del tiempo meteorológico de las localidades del Perú).

Tabla 6: *Parámetros técnicos del puente metálico y clima en Chagual*




PÁRAMETROS	Unidad	Valor	Simbología
Longitud del puente	m	100	L
Ancho del puente	m	6	a
Temperatura promedio anual en Chagual	°C	20	T
Velocidad máxima del viento	Km/h	4	V
Altura del puente	m	10	H
Longitud de libre bordo	m	0.50	Lb

Fuente: *Visita de campo y clima el tiempo Chagual, 2020.*

4.1.2. Diseño conceptual y de configuración

En la actualidad existen 3 tipos de puentes metálicos de los cuales se desprenden innumerables diseños. En la tabla 7, se exponen las características conceptuales de los principales puentes metálicos como sus ventajas y desventajas.

Tabla 7: Características conceptuales de los principales puentes metálicos

PUENTE METÁLICO TIPO ARCO	PUENTE METÁLICO TIPO VIGA	PUENTE METÁLICO TIPO COLGANTES
		
<p>CONCEPTO: Es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas.</p>	<p>CONCEPTO: Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares.</p>	<p>CONCEPTO: Están constituidos básicamente por una sección curvada hacia arriba que se apoya en unos soportes o estribos y que abarca una luz o espacio vacío.</p>
<p>VENTAJAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Transmiten su peso y sobrecargas a los apoyos por medio de la compresión del arco metálico. 2. Son ergonómicos (compactos) 3. Son de fácil mantenimiento o desmontaje. 4. Transformar parte de la carga vertical, en carga horizontal. 	<p>VENTAJAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Transmiten su peso estructural y cargas externas de manera de esfuerzo vertical sobre sus pilares. 2. Su mantenimiento y desmontaje es fácil. 	<p>VENTAJAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La estructura horizontal y los soportes están sometida a cargas de compresión y los tirantes soportan cargas de tracción.

<ul style="list-style-type: none"> 5. Poseen resistencia a la flexión entre longitudes de 80 a 170 m, con cargas vivas de 30 a 70 TM, 6. Soportan grandes cargas cortantes provocadas por la fuerza del agua y viento. 7. Son ideales para zonas con características de húmeda, frío y calor, limitando de esta manera la corrosión e incremento de longitud axial. 	<ul style="list-style-type: none"> 3. Trabajan adecuadamente en longitudes cortas de 50 a 90 m para limitar la flexión, con cargas vivas de 15 a 30 TM 4. Soportan limitadas cargas cortantes provocadas por la fuerza del agua y viento. 5. Son ideales para zonas de altas temperaturas ya que sus elementos estructurales limitan la dilatación lineal. 	<ul style="list-style-type: none"> 2. Se diseñan para longitudes de 200 m a 3000 m y para cargas vivas desde 180 TM hasta 2000 TM 3. Soportan ilimitadas cargas cortantes provocadas por la fuerza del agua y viento. 4. Por lo general este tipo de puentes están diseñados para trabajar bajo condiciones extremas de húmeda, es decir se diseñan para controlar la corrosión.
<p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Requieren de zonas o terrenos que tengan una excelente resistencia a la cedencia horizontal. 2. Son puentes pesados debido a la cantidad de miembros estructurales, en los cuales existe un mayor número de miembros de fuerza cero. 	<p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Requieren de terrenos con resistencia a la cedencia de forma vertical y horizontal. 2. Son puente mediano – pesado por la cantidad de estructuras secundarias. 	<p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Requieren de terrenos con resistencia a la cedencia vertical y horizontal según cada tramo entre soportes. 2. Su mantenimiento y desmontaje es dificultoso. 3. Son puentes extremadamente pesados, debido a la masa de sus tirantes.

a) Calificación de parámetros de configuración para la selección de alternativas

Tabla 8: Calificación de los criterios de diseño para el puente metálico

PARÁMETRO DE CONFIGURACIÓN	CRITERIO DE DISEÑO DEL PUENTE METÁLICO	CALIFICACIÓN	PONDERACIÓN (%)
COSTO DE FABRICACIÓN	El puente metálico debe tener un presupuesto económico viable, con elementos o partes comerciales de acuerdo al mercado nacional.	7.00	$(7/28) * 100 = 25$
RESISTENCIA	El puente metálico debe tener la característica de soportar cargas verticales y horizontales. Las cargas verticales de acuerdo a su propio peso y cargas vivas, y las cargas horizontales de acuerdo a la fuerza provocada por el caudal del río y vientos.	6.00	$(6/28) * 100 = 21$
CARGA VIVA	Se debe diseñar un puente de acuerdo al mejor manejo de la carga viva (peso de vehicular).	5.00	$(5/28) * 100 = 18$
LUZ	Se debe seleccionar un puente metálico de acuerdo al mejor manejo de la deflexión dependiendo de la luz o longitud del puente.	4.00	$(4/28) * 100 = 14$
DURABILIDAD	Se debe diseñar un puente con estructuras que soporten las clemencias del clima (lluvias, húmeda, calor y frío), evitando de esta manera la corrosión en sus elementos y dilataciones térmicas.	3.00	$(3/28) * 100 = 11$
MANTENIMIENTO	El puente metálico debe estar construido de elementos estructurales de fácil acceso para el mantenimiento y desmontaje. Es decir con el criterio de diseñar un puente con un mantenimiento basado en la seguridad humana.	2.00	$(2/28) * 100 = 7$
CONSTRUCCIÓN	Se debe construir un puente capaz de construirse de una manera ergonómica (lo más compacta) o simétrica.	1.00	$(1/28) * 100 = 4$
		28.00	100

En la tabla 8, se observa que los 7 parámetros de configuración, el costo de fabricación tiene una importancia para el diseño del 25%, seguido de la resistencia 21% y carga viva 18%, siendo estos parámetros lo más fundamentales para el diseño del puente metálico.

Tabla 9: Calificación de las alternativas para los distintos puentes metálicos




CRITERIOS		ALTERNATIVAS					
							
Parámetros	Ponderación	PUENTE METÁLICO TIPO ARCO		PUENTE METÁLICO TIPO VIGA		PUENTE METÁLICO TIPO COLGANTES	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
COSTO	25%	4	1.00	4	1.00	1	0.25
RESISTENCIA	21%	5	1.05	3	0.63	5	1.05
CARGA VIVA	18%	5	0.90	4	0.72	5	0.90
LUZ	14%	5	0.70	4	0.56	5	0.70
DURABILIDAD	11%	5	0.55	3	0.33	4	0.44
MANTENIMIENTO	7%	4	0.28	3	0.21	3	0.21
CONSTRUCCIÓN	4%	4	0.16	4	0.16	2	0.08
TOTAL	100%		4.64		3.61		3.63

Tabla 10: Calificación del diseño

CALIFICACIÓN CUALITATIVA	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
EXCELENTE	5
MUY BUENO	4
BUENO	3
REGULAR	2
MALO	1

En la tabla 10, se observa que el puente metálico de tipo arco, tuvo la mejor calificación del diseño con un puntaje total de 4.64, seguido del puente metálico tipo colgante con 3.61 y puente metálico tipo viga con 3.63. Por ejemplo para el puente metálico tipo arco con respecto a los costos de fabricación tiene una calificación muy buena correspondiéndole un puntaje de 4 (tabla 11) porque está constituido de elementos con presupuestos económicos promedios y de fácil acceso en el mercado del departamento de La Libertad; con respecto a la resistencia se consideró 5 porque este tipo de puentes tienen un arco metálico que absorbe cargas axiales y cortantes; en carga viva se consideró 5 porque son puentes que soportan elevadas cargas axiales; en el aspecto de la luz el valor fue de 5 porque estos puentes en longitudes de 80 a 170m teniendo un buen comportamiento frente a la deflexión vertical; en durabilidad se consideró 5 porque el diseño de estos puentes pueden estar expuestos a climas húmedos como lo es, en el centro poblado de Chagual y no estar sometidos a la corrosión; en mantenimiento y fabricación se consideró una puntuación de 4 para cada uno, porque el diseño de estos puentes son viables de fabricar y de fácil acceso para el mantenimiento de sus elementos.

La calificación obtenida se multiplica por el porcentaje de ponderación de los parámetros ($4*0.25+5*0.21+5*0.18+5*0.14+5*0.11+4*0.07+4*0.04$) obteniendo el valor de 4.64.

4.1. CARGA MÁXIMA QUE SOPORTARÁ EL PUENTE METÁLICO

Del manual de puentes con normativa: Resolución Directoral N° 19-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, específica que la construcción de los puentes metálicos en el Perú debe estar limitado a un factor de seguridad mínimo de 5 respecto a la carga viva máxima.

Por lo consiguiente la carga máxima que soportaría el puente metálico sería:

$$C_{\text{máx}} = C_{\text{viva máx}} * n_s$$

La carga viva máxima que soporta el puente Chagual es 48 Tn (figura 10).

$$C_{\text{máx}} = 48 \text{ Tn} * 5$$

$$C_{\text{máx}} = 48 \text{ Tn} * 5 = 240 \text{ Tn}$$

La carga máxima que soportaría el puente metálico tipo arco de tablero superior es 240 Tn y esta carga deben resistir sus elementos estructurales.

En la figura 14, se observa que la carga máxima del puente es 240 Tn y esta representa el quíntuple de la carga viva de 48 Tn, y esto se debe a la normativa R.D N° 19-2018 del MTC “Manual de puentes” que especifica que el factor de seguridad mínimo requerido para el diseño de puentes debe ser de 5.

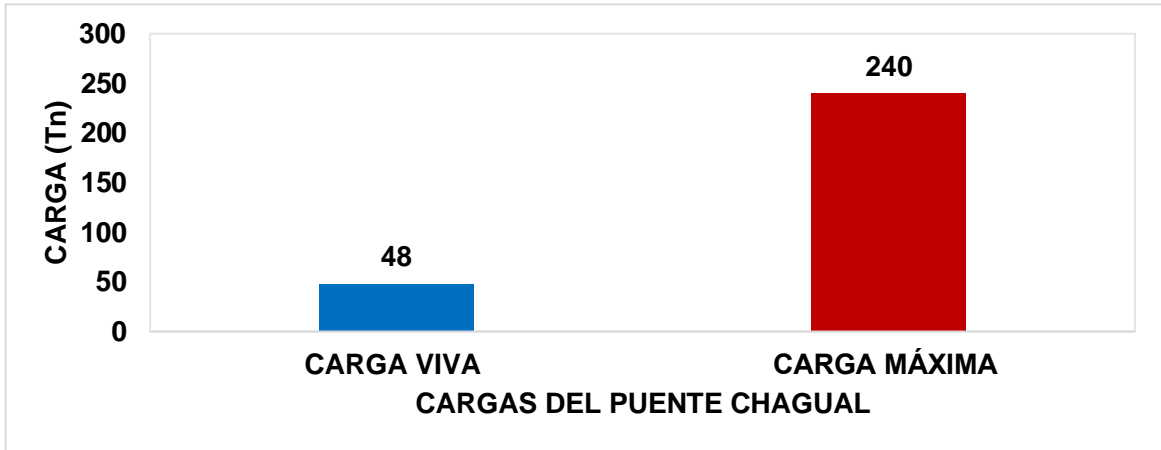


Figura 14: Cargas del puente Chagual

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE METÁLICO TIPO ARCO CON TABLERO SUPERIOR MEDIANTE EL SOFTWARE CAD 3D SOLIDWORKS

En la figura 15, se observa el planteamiento del diseño del puente metálico tipo arco con tablero superior, también se muestra que el puente estará soportado por estribos, columnas y soportes, el arco metálico está sujeto a barras verticales de carga primaria y estas a su vez están sujetas a barras diagonales y horizontales de carga secundaria.



Figura 15: Diseño de puente metálico de tipo arco con tablero superior

a) Diagrama de cuerpo libre del puente metálico tipo arco con tablero superior

En la figura 16, se muestra la distribución de las fuerzas en los elementos estructurales del puente Chagual, dónde la distribución de la carga (color azul) a lo largo del puente es 2.4 Tn/m (240Tn/100m), los estribos soportaran una carga de 16 Tn (color negro), al igual que las estructuras primarias verticales (color verde), lo que le permitirá al puente tener una capacidad máxima de 240 Tn. También cabe precisar que un puente por normativa debe soportar en fricción el 30% de la carga primaria es decir 4.8 Tn ($16\text{Tn} \cdot 0.30$)

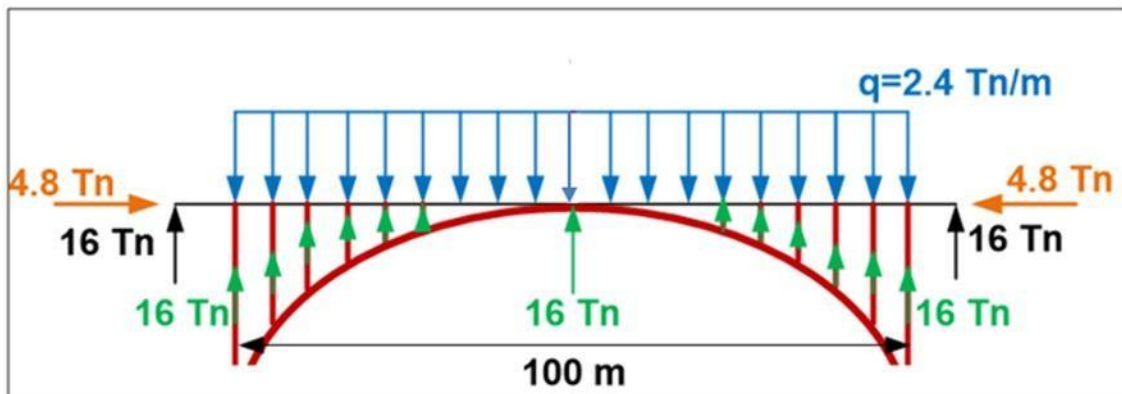


Figura 16: Diagrama de cuerpo libre del puente metálico

Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 17, se observa el diagrama de cuerpo libre del puente, respecto a sus principales elementos estructurales

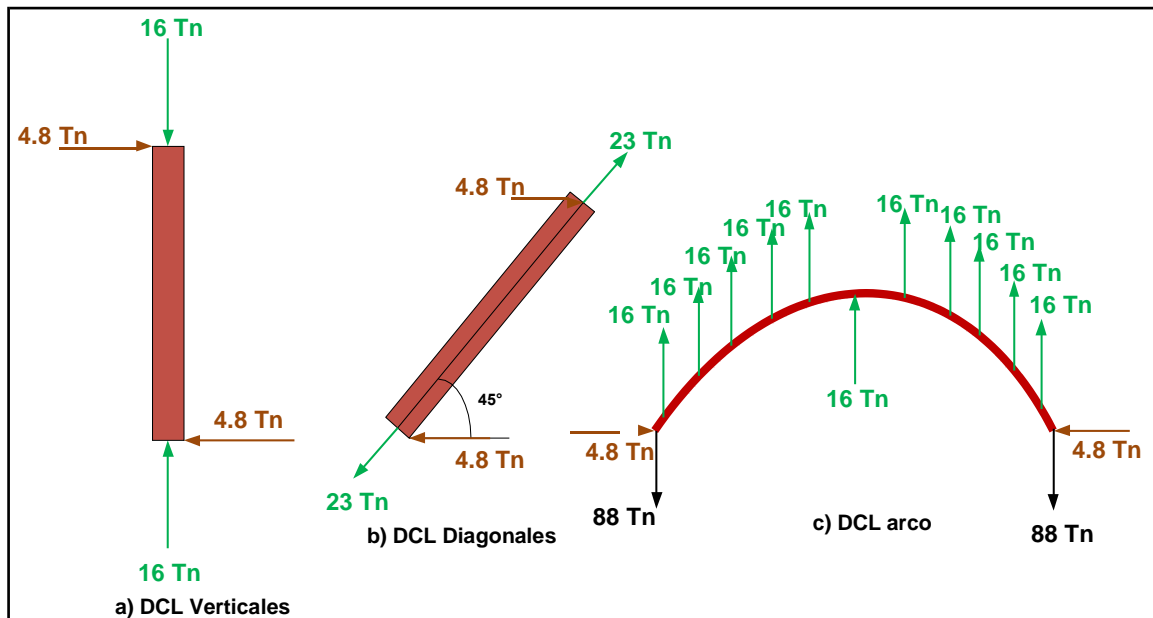


Figura 17: Diagrama de los elementos estructurales del puente

Fuente: Elaborado por el autor

b) Análisis en las estructuras primarias

En la figura 18, se muestra la distribución de las sobre la estructura metálica vertical primaria, la cual es afectada por la carga axial de 157 KN ($16Tn * 9.81m/s^2$) y la carga cortante de 47 KN ($4.8Tn * 9.81m/s^2$)

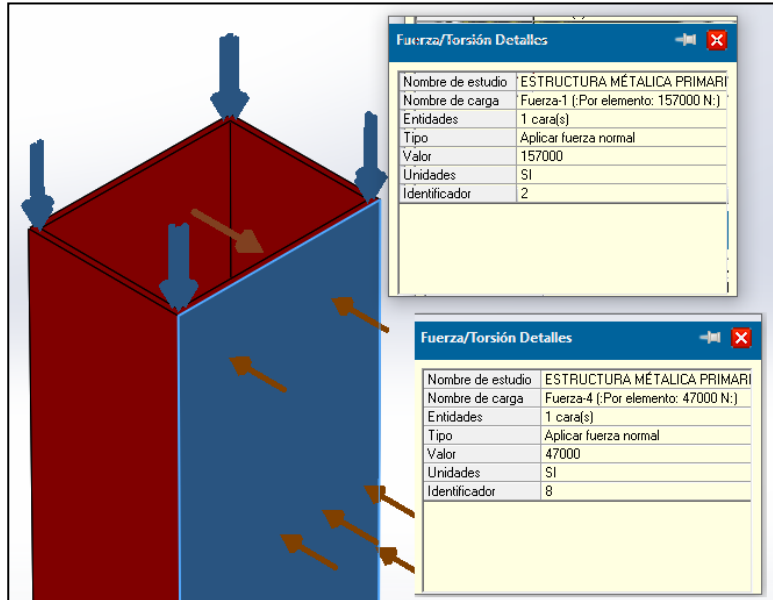


Figura 18: Aplicación de las cargas en estructura primaria.
Fuente: Software Solidworks, 2010

En la figura 19, se muestra una extensión mayor de la aplicación de las cargas sobre la estructura metálica primaria, mostrando el equilibrio existente entre fuerzas axiales y cortantes respecto al elemento estructural.

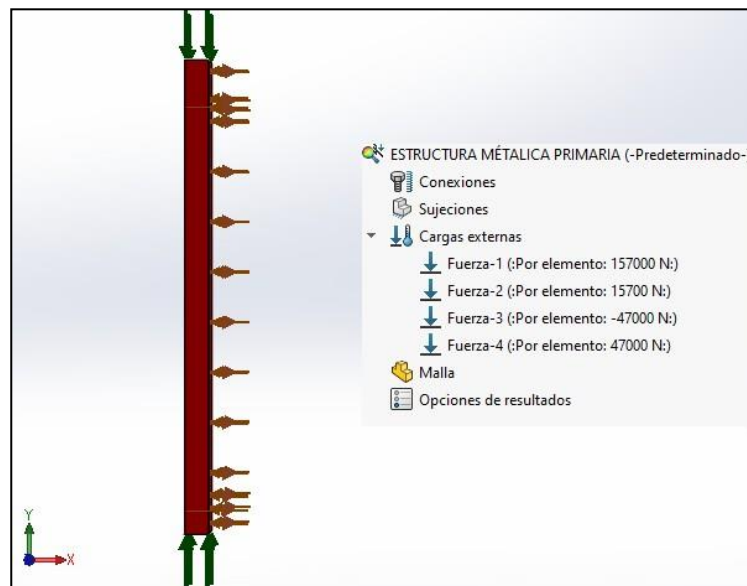


Figura 19: Extensión de las cargas en estructura primaria.
Fuente: Software Solidworks, 2010

En la figura 20, se muestra la aplicación de la malla a la estructura metálica, la malla es un método de análisis de elementos finitos asistido por simulación, este método secciona a la estructura en miles de áreas, donde en cada área se replica la acción de las fuerzas aplicadas, cabe mencionar que este método solo puede ser aplicado eficientemente por un software de diseño por que analíticamente solo existen ecuaciones aproximadas.

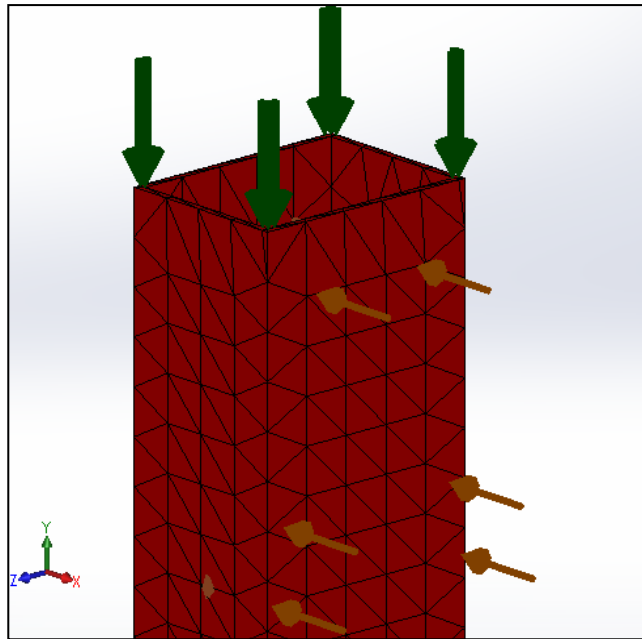


Figura 20: Aplicación de malla – análisis de elementos finitos
Fuente: Simulación de malla Solidworks

En la figura 21, se muestra la selección del material de la estructura metálica primaria. Para determinar el material correcto se recurrió a un proceso iterativo o repetitivo hasta obtener un material que cumpla con un factor de seguridad mínimo de 5, donde el material que cumple con tales requisitos es el acero estructural ASTM A709 GR-50. También se muestran las propiedades fundamentales del material como: módulo elástico, coeficiente de Poisson, densidad y límite elástico, los cuales intervienen en el análisis por carga estática y dinámica.

El acero estructural ASTM A709 GR-50, es un acero especial en la construcción de puentes metálicos, porque ofrece una mayor resistencia a la fluencia de 350 MPa y una resistencia última de 450 MPa, con un módulo elástico de Young de 200 GPa, densidad de 7850 Kg/m³ y coeficiente de Poisson de 0.26.

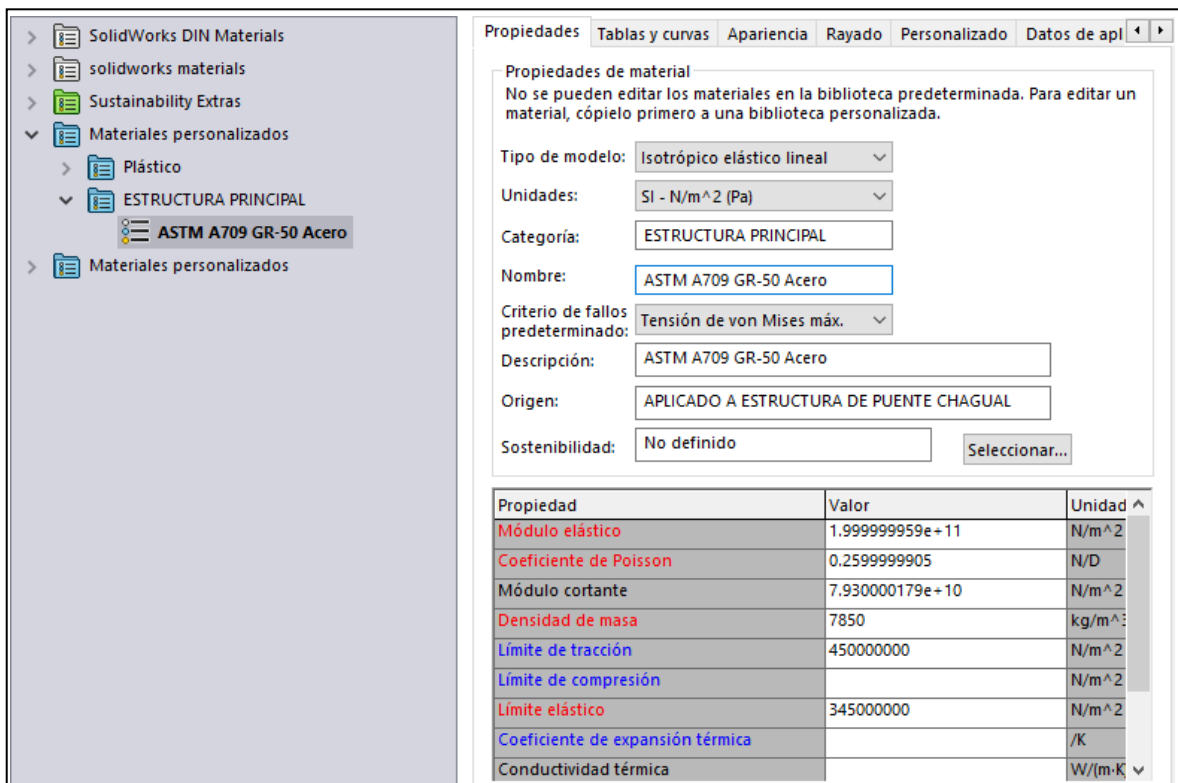


Figura 21: Material de los elementos estructurales primarios

Fuente: Solidworks, 2020

Para realizar el análisis de cargas, no solamente se iteró la selección del material, si no también se iteró las dimensiones óptimas que debe tener la estructura metálica, obteniendo que las dimensiones requeridas en la sección transversal son: 400mmx400mmx16mm y con una altura ya establecida de 11365.90mm tal como se muestra en la figura 22.

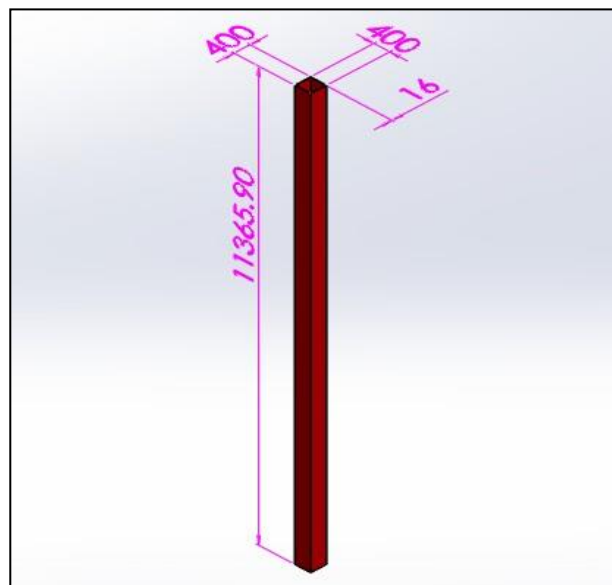


Figura 22: Dimensiones de la estructura metálica de carga primaria

Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 23, se muestran los resultados del análisis de carga estática y dinámica, el primero referido a las cargas externas y peso de la estructura metálica primaria, y el segundo en referencia a concentradores de esfuerzos que puedan ocasionar deflexión o pandeo, dónde el esfuerzo máximo de distorsión de Von Mises es 7.941 MPa (involucra los esfuerzos axial, normal y flexionantes), la deformación máxima o deflexión es 0.09041 mm, lo que conlleva a tener un factor de seguridad promedio de 5.32, lo cual confirma que el material ASTM A709 GR-50 cumple con los requisitos del diseño del puente metálico tipo arco con tablero superior.

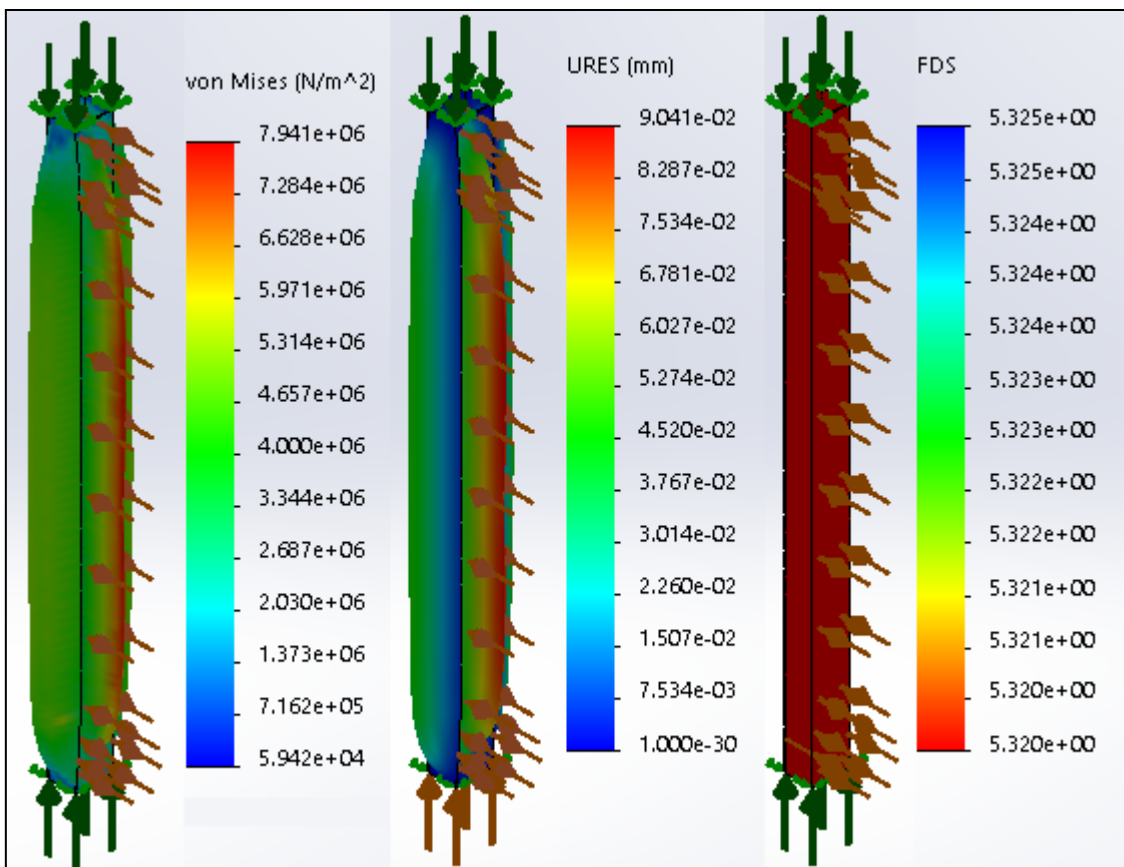


Figura 23: Evaluación de cargas combinadas

Fuente: Simulación de cargas combinadas Solidworks, 2020

c) Análisis en el arco metálico

En la figura 24, se observa el arco metálico del puente el cual está sometido a una carga de aplastamiento máxima de 208 Tn (2040.50KN) (figura 16). El material del arco metálico será el mismo de la estructura principal ASTM A709 GR-50, para obtener el factor de seguridad requerido.

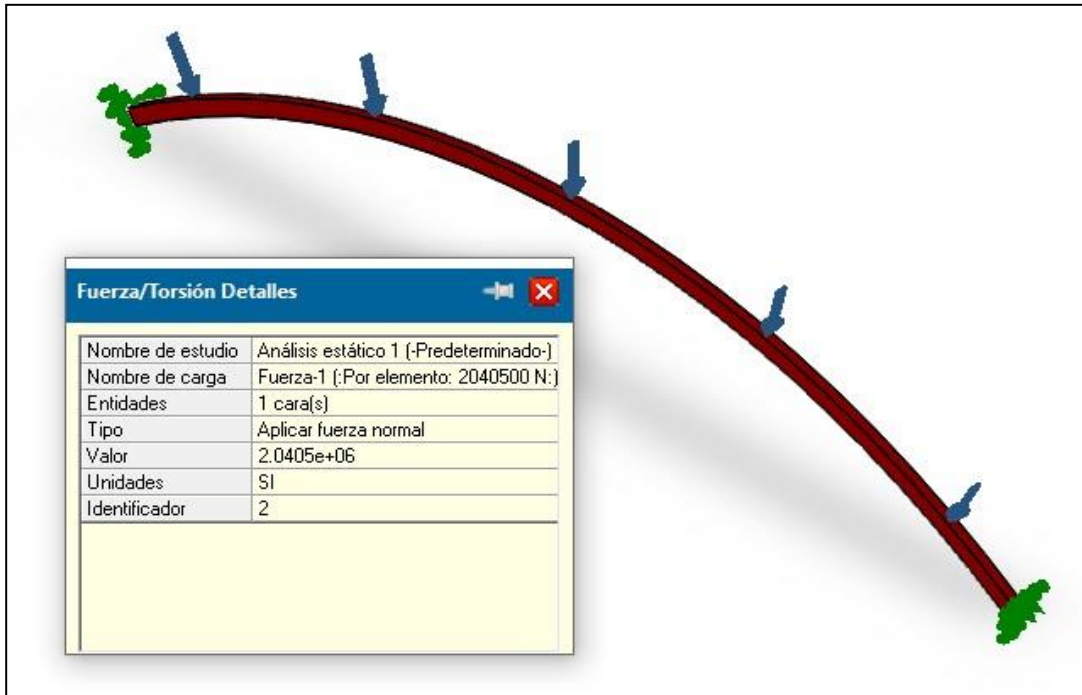


Figura 24: Cargas sobre el arco metálico

Fuente: Solidworks, 2020

Para la evaluación del arco metálico, se procedió con la misma metodología del análisis de la estructura principal primaria.

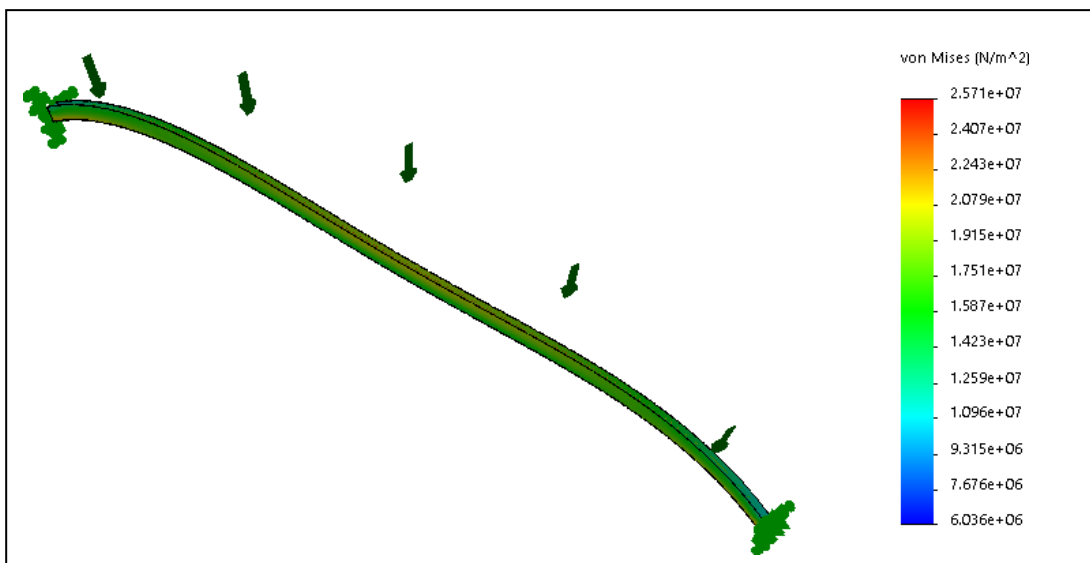


Figura 25: Esfuerzos de Von Mises del arco metálico

Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 25, se muestra que el esfuerzo máximo de distorsión bajo consideraciones de carga combinada del arco metálico es 25.71 MPa.

Y en la figura 26, se muestra que la deformación crítica del arco metálico es 10.68 mm, cuando el puente este sometido a su máxima carga de diseño de 240 Tn, es decir cuando se supere 5 veces la carga viva de 48 Tn.

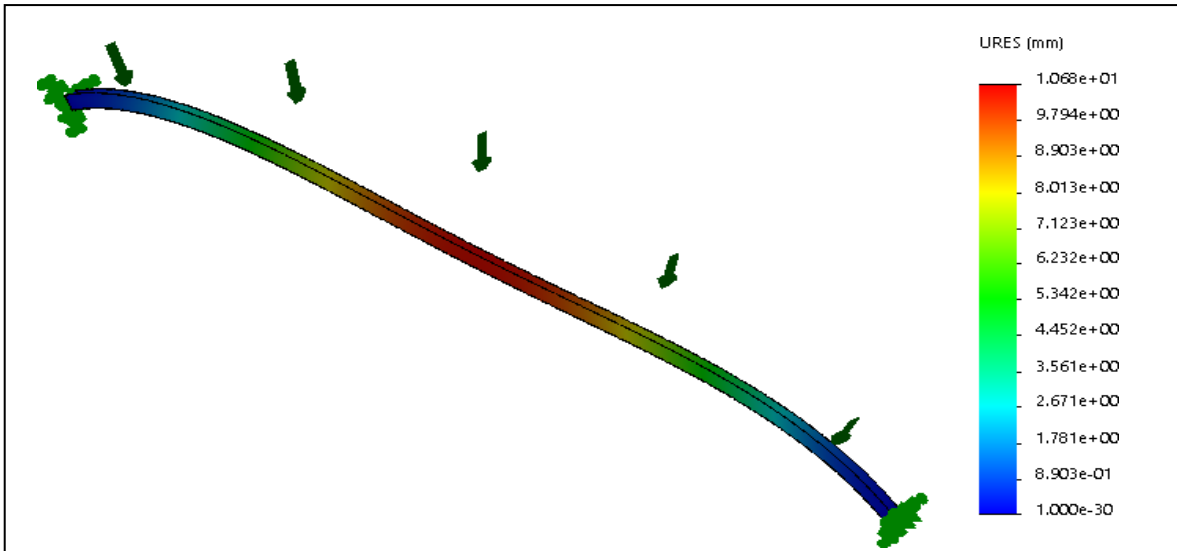


Figura 26: Deflexión máxima del arco metálico
Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 27, se indica que el factor de seguridad mínimo del arco metálico es 9.723 el cual es aceptable para el diseño.

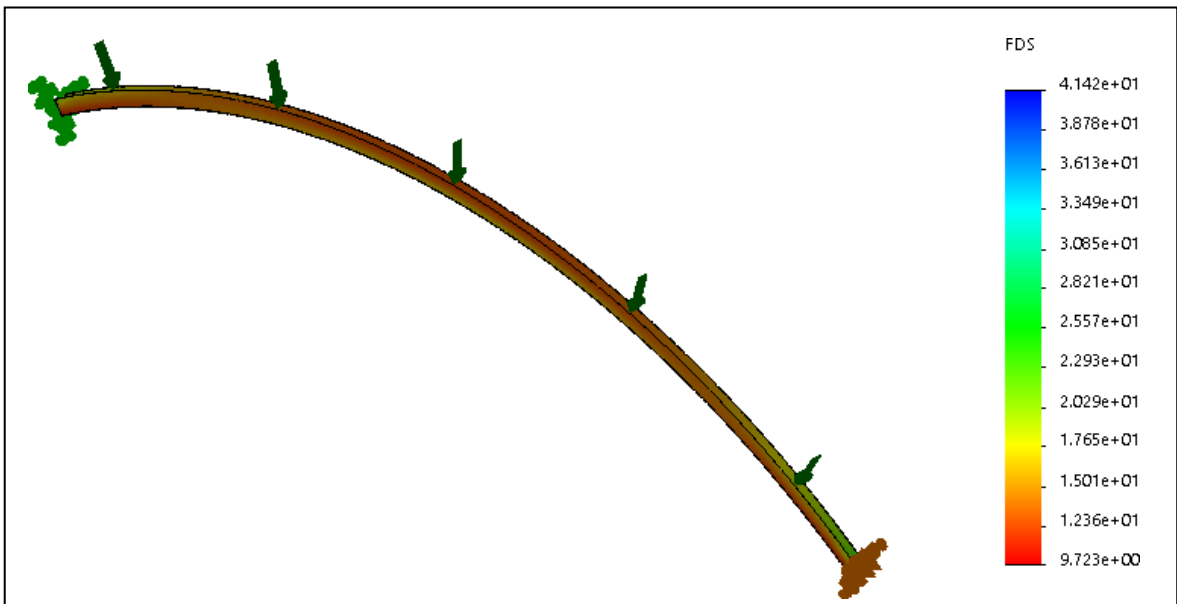


Figura 27: Factor de seguridad del arco metálico
Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 28, se observa que las dimensiones óptimas del arco metálico con una longitud de 75171.99mm, con un ángulo de giro de 69.68mm y un área transversal de 1250x1250x25mm

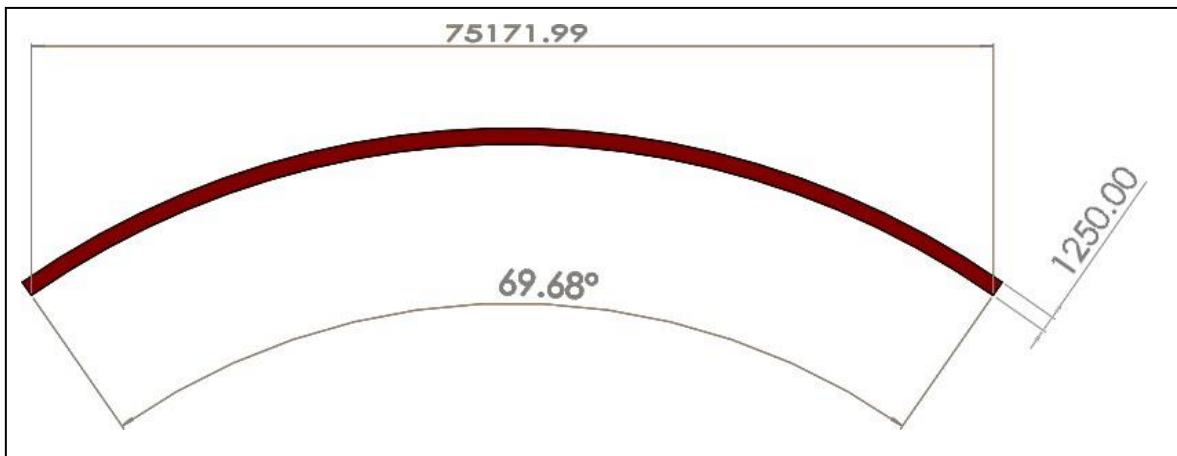


Figura 28: Dimensiones óptimas del arco metálico
Fuente: Solidworks, 2020

d) Simulación numérica de los elementos estructurales del puente metálico

La simulación numérica mediante el análisis de fatiga, se realizará a las columnas verticales, diagonales y arco metálico.

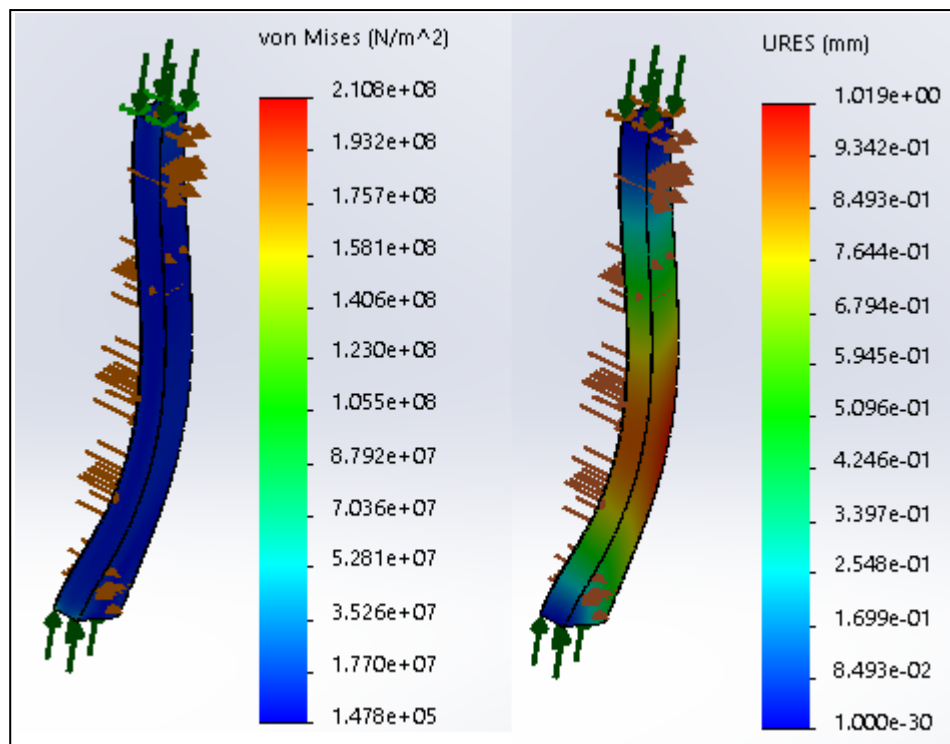


Figura 29: Carga máxima y deformación por fatiga en estructuras verticales
Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 29, se muestra el esfuerzo máximo de Von Mises o de la energía máxima de distorsión y la deformación unitaria por fatiga, obteniendo que las estructuras verticales están expuestas a una carga crítica de 210.80 MPa (Zona roja), valor que no sobrepasa la resistencia a la fluencia de 350 MPa y resistencia última de 450 MPa del material. Asimismo, se observa que la deformación unitaria máxima es de 1.019 mm valor no significativo para el diseño de puentes.

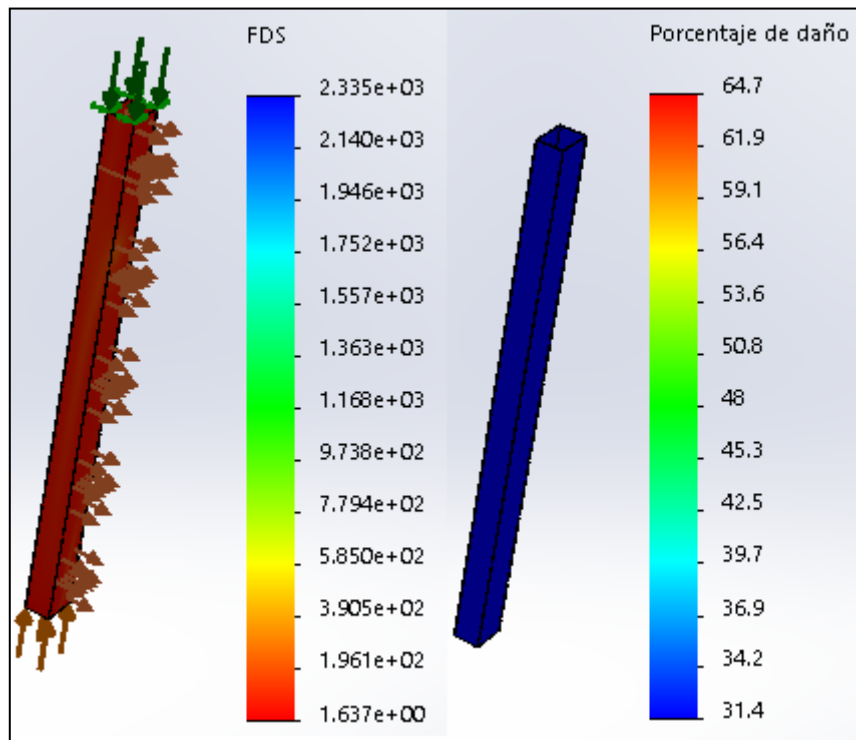


Figura 30: Factor de seguridad y porcentaje de daño por fatiga en verticales.
Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 30, se observa que el factor de seguridad crítico es 1.637 (Zona roja), el cual es viable para las estructuras verticales, dónde el porcentaje de daño máximo es 64.70% (Porcentaje de material que está expuesto a la carga máxima soportada por el puente)

En la figura 31, se observa que las estructuras diagonales están sometidos a un esfuerzo máximo 63.24 MPa y a una deformación 0.3057 mm valores favorables para el diseño de estas estructuras.

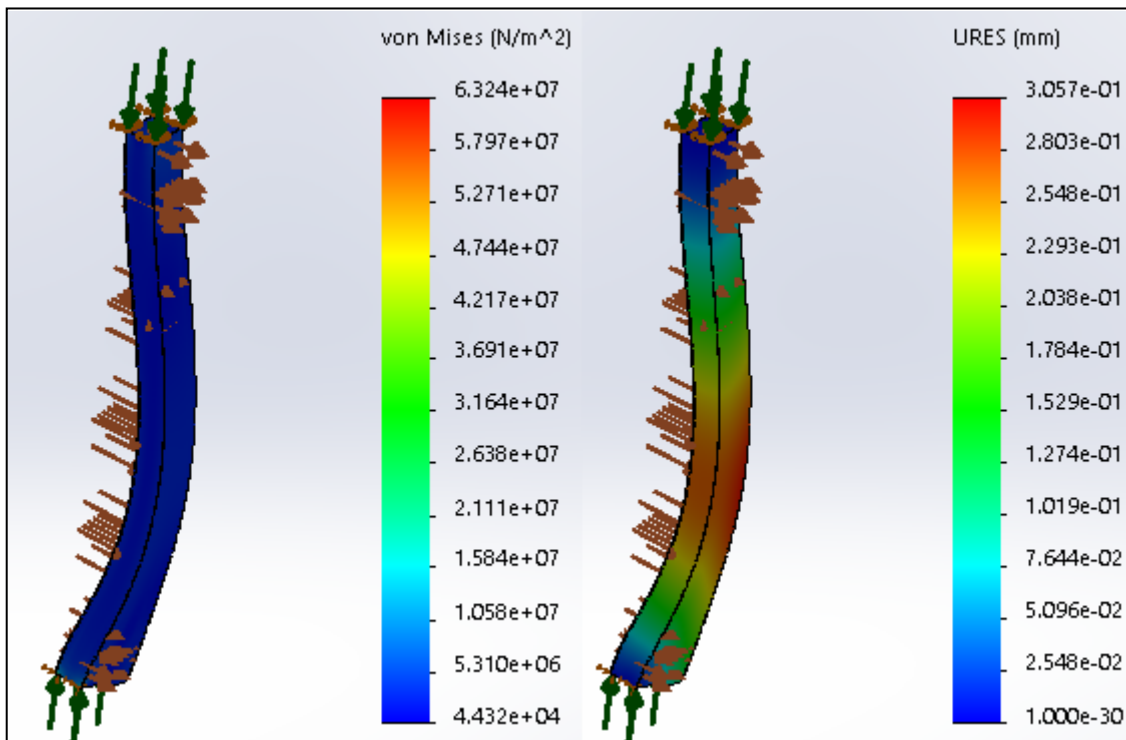


Figura 31: Esfuerzo máximo y deformación unitaria en diagonales.
Fuente: Solidworks, 2020

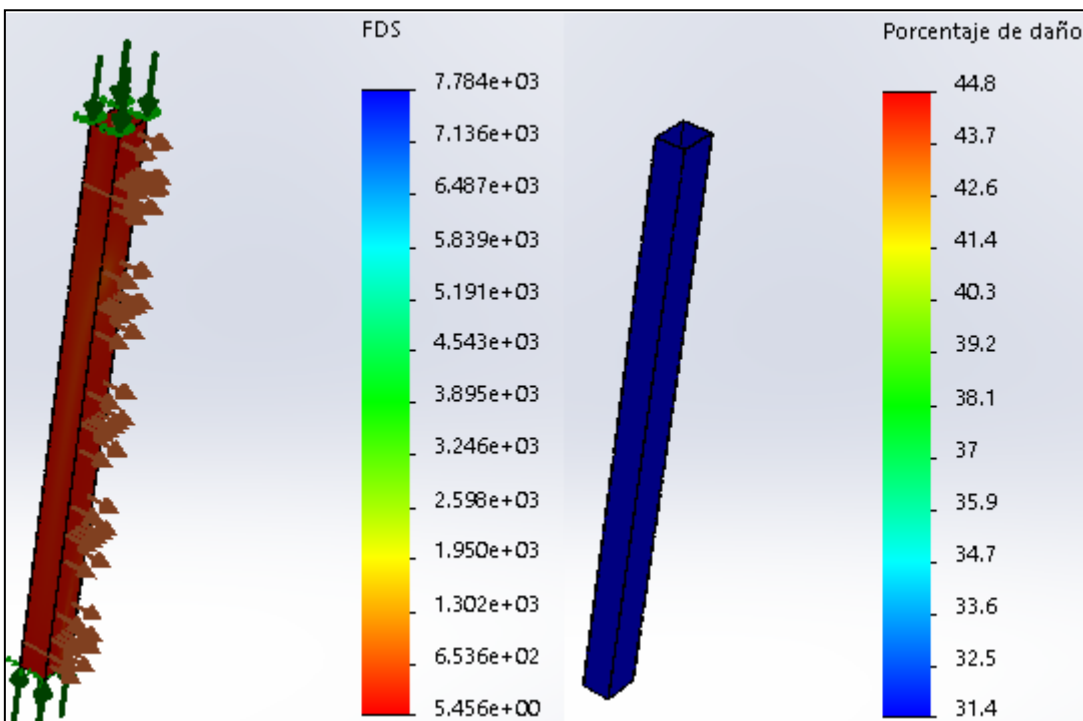


Figura 32: Factor de seguridad y porcentaje de daño en diagonales.
Fuente: Solidworks, 2020

En la figura 32, se muestra que el factor de seguridad de las estructuras diagonales es 5.456 (zona roja) y el porcentaje de daño 44.80% (Zona roja), lo que reafirma que la selección de la estructura de perfil cuadrado de 400x400x16 mm es viable.

Asimismo, se observa desde las figuras 33 a 36, que el arco metálico sometido a un análisis numérico está expuesto a un esfuerzo de trabajo de 128.6MPa, deformación de 5.343 mm, factor de seguridad de 2.682 mm y porcentaje de dañado de 78.10%. Por lo tanto, las dimensiones 1250x1250x25mm son aceptables.

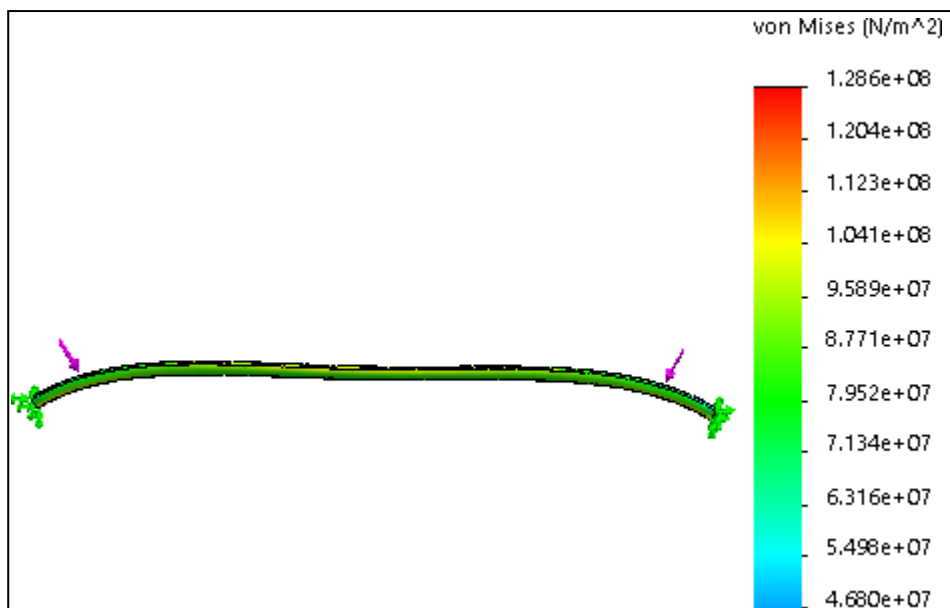


Figura 33: Esfuerzo máximo por fatiga en arco metálico.

Fuente: Solidworks, 2020

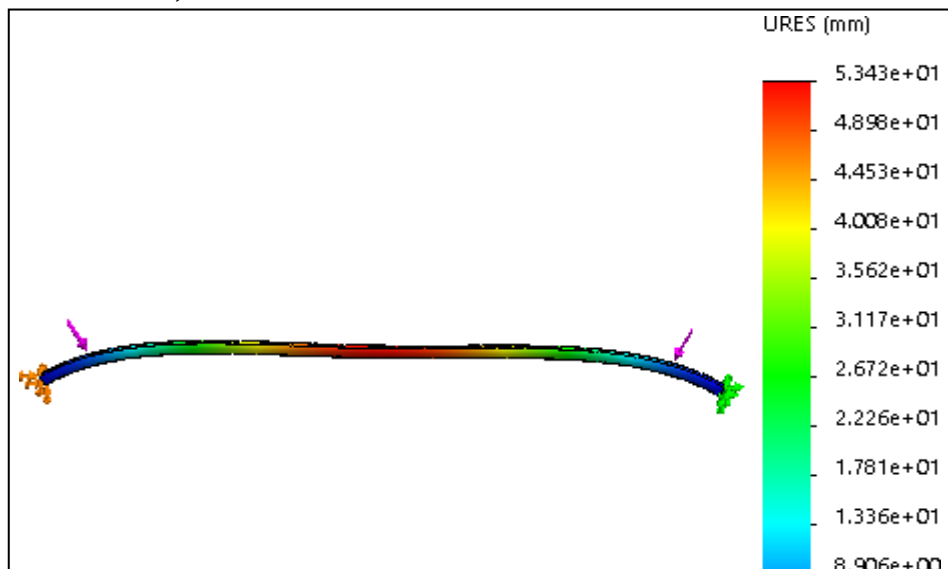


Figura 34: Deformación máxima por fatiga en arco metálico.

Fuente: Solidworks, 2020

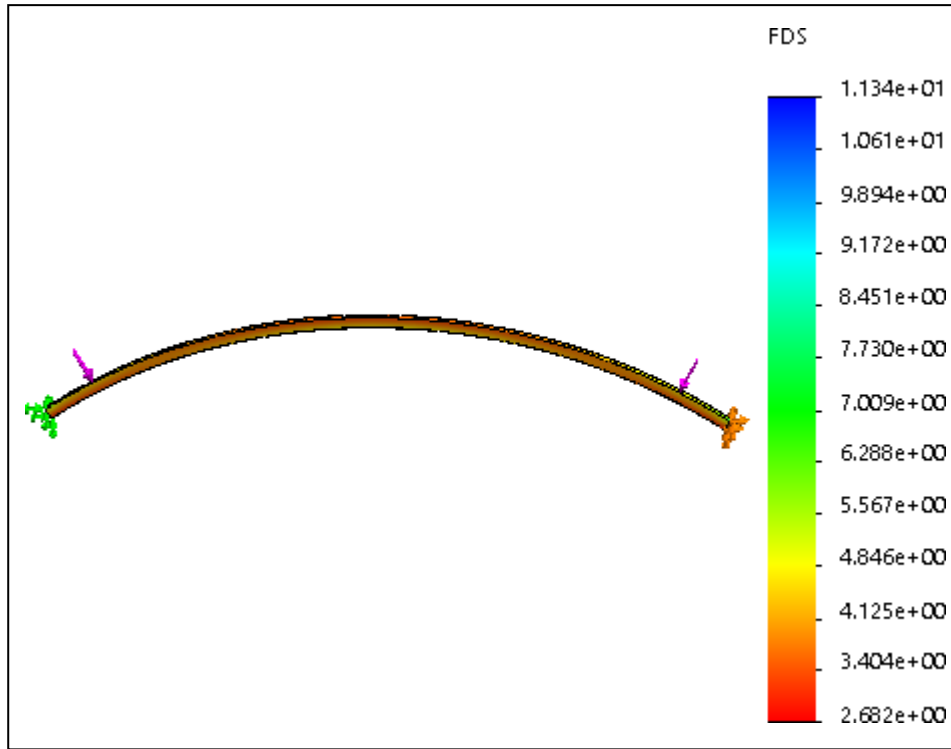


Figura 35: Factor de seguridad por fatiga en arco metálico.

Fuente: Solidworks, 2020

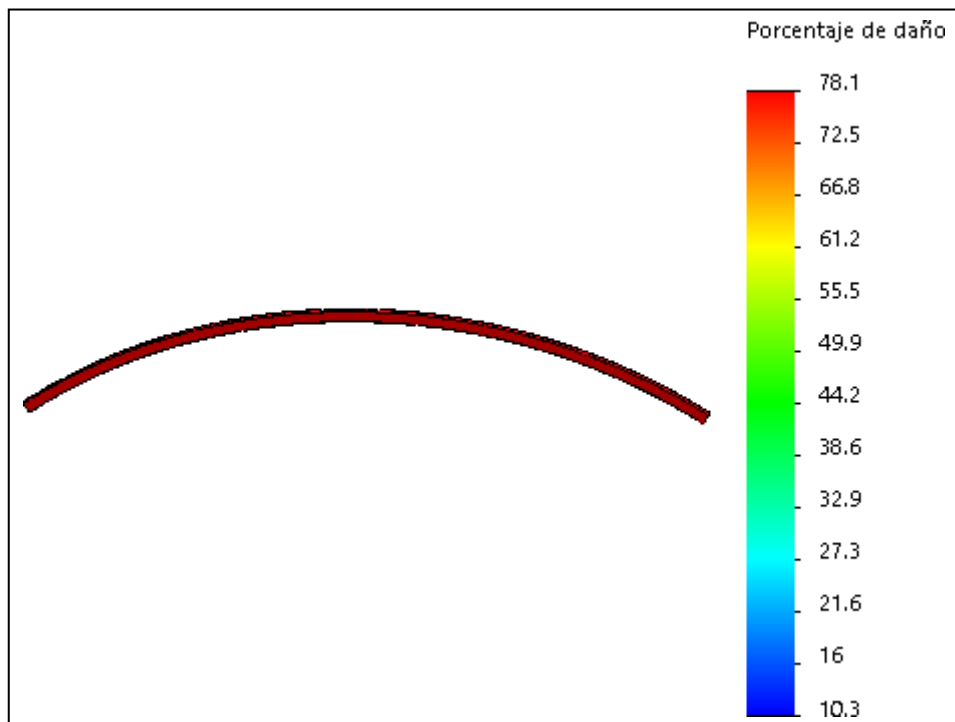

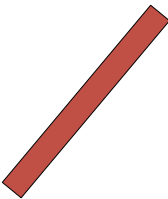
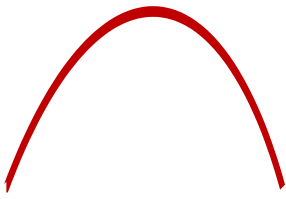


Figura 36: Porcentaje de daño por fatiga en arco metálico.

Fuente: Solidworks, 2020

Esta misma metodología de análisis se utilizó, para evaluar distintos tipos de perfiles estructurales para el puente metálico, donde el perfil cuadrado como se mostró es aquel que ofrece menor deformación y mayor factor de seguridad. Cabe mencionar que el material seleccionado ASTM A709 GR-50 es un requisito fundamental especificado en las normas de puentes estructurales N° 19-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, asimismo la norma indica que la criticidad de un elemento estructural se debe al esfuerzo al cual está expuesto. Las comparaciones se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Comparativo de perfiles estructurales para el diseño del puente

Perfiles estructurales ASTM A709 GR-50			
	Vertical Elemento Crítico	Diagonales Elemento No crítico	Arco Elemento Semi-crítico
Perfil cuadrado	400x400x16mm	400x400x16mm	1250x1250x25mm
Esfuerzo	280 MPa	63.24 MPa	128.60 MPa
Deformación	1.019 mm	0.3057 mm	5.343 mm
Factor de seguridad	1.637	5.45	2.682
Perfil circular	400 mm	400mm	1000 mm
Esfuerzo	310.20 MPa	88.20 MPa	178.90 MPa
Deformación	3.267 mm	3.789 mm	9.876 mm
Factor de seguridad	1.345	3.446	1.987
Perfil I	400x400mm Alma: 12mm	400x400mm Alma: 12mm	1250x1250mm Alma: 25 mm
Esfuerzo	295.20 MPa	85.43 MPa	155.67 MPa
Deformación	5.465 mm	6.789 mm	17.894 mm
Factor de seguridad	1.109	1.997	1.549
Perfil C			
Esfuerzo	340.78 MPa	112.78 MPa	200.67 MPa
Deformación	9.876 mm	8.734 mm	21.563 mm
Factor de seguridad	1.053	1.237	1.171

Fuente: Resultados obtenidos en Solidworks, 2020

e) Análisis de pandeo

La norma N.º 19-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, indica que la criticidad de un elemento estructural se debe al esfuerzo al cual está expuesto. Por lo consiguiente las estructurales en disposición verticales son críticas, las cuales serán motivo de una evaluación por pandeo.

Para calcular la carga crítica por pandeo, se utiliza la siguiente expresión:

$$F.S = \frac{P_{cr}}{W_{total}}$$

Dónde, la carga total es de 157KN con un factor de seguridad recomendado de 1.5, reemplazando en la expresión de carga crítica por pandeo tenemos:

$$1.5 = \frac{P_{cr}}{157KN}$$

$$P_{cr} = 235.50 \text{ KN}$$

En el diseño del puente metálico existen dos estructuras verticales en paralelo por cada tramo (una detrás de otra), por lo tanto, la carga de pandeo unitaria sería:

$$P_{cr\text{unitaria}} = \frac{P_{cr}}{2} = \frac{235.50 \text{ KN}}{2} = 117.75 \text{ KN}$$

Empleando la ecuación De la ecuación de Euler, para evaluar el momento de inercia

$$I = \frac{P_{cr} * h^2}{E * \pi^2}$$

El módulo de elasticidad o Young del acero es $E_{acero} = 207 * 10^9 \text{ Pa}$ y la altura máxima de las estructuras metálicas verticales del puente de arco es 11365.90 mm.

Tenemos:

$$I_{calculado} = \frac{(117.75 * 10^3 \text{ N}) * (11.36590 \text{ m})^2}{(207 * 10^9 \text{ Pa}) * \pi^2}$$

$$I_{calculado} = 7.45 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Asimismo, se evaluar el momento de inercia del perfil cuadrado de las estructuras verticales, empleando la siguiente expresión:

$$I_{\text{perfil}} = \frac{B * H^3}{12} - \frac{(B - 2e) * (H - 2e)^3}{12}$$

Dónde, B y H son dimensiones del perfil cuadrado con dimensiones iguales de 400mm y e corresponde al espesor del perfil de 16mm.

$$I_{\text{perfil}} = \frac{0.4\text{m} * (0.4\text{m})^3}{12} - \frac{(0.4\text{m} - 2 * 0.016) * (0.4\text{m} - 2 * 0.016)^3}{12}$$

$$I_{\text{perfil}} = 605 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Por lo consiguiente, podemos indicar que las estructuras críticas verticales, no sufrirán pandeo, porque el momento de inercia del perfil estructural es superior al momento de inercia calculado o de trabajo.

$$I_{\text{perfil}} > I_{\text{calculado}}$$

$$605 * 10^{-6} \text{ m}^4 > 7.45 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Este análisis por pandeo también reafirma que el perfil estructural y sus dimensiones son correctas.

f) Análisis estático del puente en disposición de carga viva distribuida en el puente:

En este análisis considerará 7 camiones de 12 m de longitud con una carga viva máxima de 48 Tn (480 KN) con una separación entre camiones de 1.5m, distribuidos a lo largo de los 100 m del puente de Chagual. Este análisis de efectuará para los elementos críticos, siendo éstas las estructuras verticales.

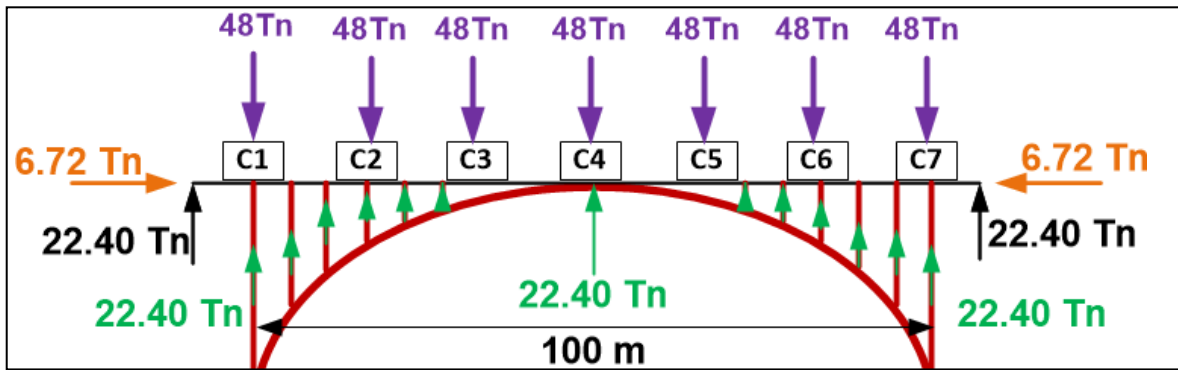


Figura 37: Cargas vivas de 48 Tn distribuidas en el puente metálico

Fuente: Elaborado por el autor.

En la figura 37, se puede observar que las estructuras críticas verticales están sometidas a una carga de aplastamiento o normal de 22.40 Tn (224.65 KN) y a una carga cortante de 6.72 Tn (66 KN).

El esfuerzo normal sería:

$$\sigma_n = \frac{N}{A_{\text{perfil}}}$$

La fuerza normal es 224.65 KN y el área del perfil es:

$$A_{\text{perfil}} = L^2 - (L - 2e)^2$$

El perfil estructural tiene dimensiones de 400x400x16mm.

$$A_{\text{perfil}} = (0.4)^2 - (0.4 - 2 * 0.016)^2$$

$$A_{\text{perfil}} = 0.025 \text{ m}^2$$

Tenemos:

$$\sigma_n = \frac{224.65 \text{ KN}}{0.025 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_n = 8986 \text{ KPa} = 9 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante sería:

$$\tau_c = \frac{V}{A_{\text{perfil}}}$$

La fuerza cortante es 66 KN y el área del perfil es 0.025 m².

Tenemos:

$$\tau_c = \frac{66 \text{ KN}}{0.025 \text{ m}^2}$$

$$\tau_c = 2640 \text{ KPa} = 2.64 \text{ MPa}$$

El esfuerzo flexionante sería:

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I_{\text{perfil}}}$$

El momento de flexión:

$$M = V * h$$

La altura máxima de las estructuras metálicas verticales del puente de arco es 11365.90 mm.

$$M = 66 \text{ KN} * 11365.90 \text{ mm}$$

$$M = 750.15 \text{ KN. m}$$

Donde es C es la distancia media del perfil estructural con un valor de 200mm (400mm/2) y momento del perfil estructural es $I_{\text{perfil}} = 605 * 10^{-6} \text{ m}^4$

Tenemos:

$$\sigma_f = \frac{750.15 \text{ KN. m} * 200 \text{ mm}}{605 * 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_f = 248 \text{ MPa}$$

Aplicando la ecuación de la teoría máxima de la energía de distorsión

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_n)^2 + 3 * \tau_c^2}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{(248 \text{ MPa} + 9 \text{ MPa})^2 + 3 * (2.64 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 257 \text{ MPa}$$

El material seleccionado es el ASTM A709 GR-50 el cual es un requisito fundamental especificado en las normas de puentes estructurales N.º 19-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual tiene una resistencia a la fluencia de 350 MPa.

Por lo consiguiente el factor de seguridad sería:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{\text{máx}}}$$

$$FS = \frac{350 \text{ MPa}}{257 \text{ MPa}}$$

$$FS = 1.36$$

Podemos indicar que el puente metálico no falla a condiciones máximas de carga viva distribuida en el puente Chagual.

4.3. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

a) Lámparas led

En la implementación de lámparas para iluminación pública se tuvo en consideración la Normativa D.L. N°25884 *Alumbrado en Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución* la cual está vigente desde año 2003 hasta la actualidad 2020.

La Normativa especifica que para un sistema de iluminación publico efectivo en calzadas oscuras de acceso de vías de comunicaciones como puentes, la iluminancia debe ser de 20 a 40 lux, la luminancia de 1 a 2 cd/m² y con un deslumbramiento de 5 a 6. Para tal motivo la lámpara debe ser de revestimiento de asfaltado.

Asimismo, la norma indica que la lámpara debe contar con un grado de protección tipo IP66 para evitar el ingreso de agua y polvo.

También la normativa *Especificaciones técnicas de equipos de redes secundarias para electrificación rural* especifica que las lámparas para iluminación pública deben contar con una potencia en el rango de 55 W a 77 W.

Para tales consideraciones seleccionamos una lámpara LED marca Philips de iluminación pública, con las siguientes especificaciones que cumplen lo estipulado en las normas técnicas peruanas, como luminancia, iluminancia, deslumbramiento, nivel de protección y flujo luminoso expuestos en la tabla 12.

Tabla 12: Características principales de la luminaria seleccionada

PARAMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Marca	Philips	-
Potencia entregada	55	W
Luminancia	2.1	cd/m ²
Iluminancia	28	lux
Tensión	220 alterna	V
Flujo luminoso	4800	lm
Nivel de protección	IP66	-
Deslumbramiento	5	-
Estimación de vida	5000 horas	Horas

b) Dimensionamiento y selección del panel fotovoltaico:

- Para determinar la potencia del panel fotovoltaico, se debe evaluar el consumo de energía eléctrica que debe entregar, mediante la siguiente expresión:

$$E_{\max} = \frac{P_L * t}{[1 - (K_B + K_C + K_R + K_x)] * [1 - \frac{(K_A * D_{\text{aut}})}{P_d}]}$$

Dónde:

P_L : 0.055 KW (Potencia de la lámpara)

t : 12 horas (Periodo disponible de las lámparas, inicia 6pm y termina 6am)

K_B : 0.05 (Constante respecto a pérdida del acumulador)

K_C : 0.05 (Constante respecto a pérdida en equipo inversor)

K_R : 0.01 (Constante respecto a líneas eléctricas o conductores)

K_x : 0.05 (Constante respecto a equipos de seguridad)

K_A : 0.005 (Para baterías de gel)

P_d : 0.50 (Valor máximo de descarga del acumulador)

D_{aut} : 3 (Días de autonomía, se consideró este valor porque en el centro poblado Chagual se generan lluvias prolongadas)

Sustituyendo los valores definidos:

$$E_{\max} = \frac{55 * 12}{[1 - (0.05 + 0.05 + 0.01 + 0.05)] * [1 - \frac{(0.005 * 3)}{0.5}]}$$

$$E_{\max} = 810 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} = 0.810 \frac{\text{KWh}}{\text{dia}}$$

Del proveedor Proviento, seleccionamos un panel fotovoltaico monocristalino modelo SM660 con una potencia nominal de 0.25 KW tal como se muestra en la tabla 13. Cabe precisar que cada lámpara de iluminación pública ira independientemente con su panel fotovoltaico.

Tabla 13: Parámetros principales del panel fotovoltaico seleccionado

PARAMETROS	CARACTERISTICAS	UNIDAD
Modelo	Proviento SM660	-
Potencia nominal	0.25	KW
Número de celdas	60 (0.156*0.156)	m
Distribución de las celdas	6x10	
Dimensiones del panel	1.640×0.99×0.04	m
Garantía de potencia	+30 -30	%
Voltaje	30.7	V
Intensidad	8.15	A
Rendimiento	15.3	%
Masa	19	Kg

Para corroborar que se empleará un único panel fotovoltaico por cada lámpara de iluminación, se evaluará la máxima energía entregada por el panel fotovoltaico.

$$(E_{\max})_p = P_{mp} * HPS * (1 - GP)$$

Dónde:

P_{mp} : 250 W (Potencia nominal del panel fotovoltaico) 250W

HSP: 2.55 KWh/m² (Horas solares pico en el centro poblado Chagual, expresado en la figura 12)

GP: - 30% (Garantía de potencia disponible en condiciones críticas)

$$(E_{\max})_p = \frac{P_{mp} * HSP * (1 + GP)}{1000}$$

$$(E_{\max})_p = \frac{250 * 2.55 * (1 + 0.3)}{1000}$$

$$(E_{\max})_p = 0.825 \frac{\text{KWh}}{\text{dia}}$$

Por lo tanto, el número de paneles fotovoltaicos por cada lámpara sería:

$$N_p = \frac{E_{\max}}{(E_{\max})_p}$$

$$N_p = \frac{0.810 \frac{\text{KWh}}{\text{dia}}}{0.825 \frac{\text{KWh}}{\text{dia}}} = 0.982 \approx 1 \text{ panel/lámpara}$$

c) Dimensionamiento y selección de acumuladores de energía o baterías

- Para calcular la capacidad de almacenamiento de una batería, se utiliza la siguiente expresión matemática

$$C_{\text{Bateria}} = \frac{E_{\text{max}} * D_{\text{aut}}}{V * P_d}$$

Dónde:

V: 12 (Voltaje o tensión de la batería)

E_{max} : 810 Wh/día (Consumo de energía máximo del acumulador)

D_{aut} : 3 (Días de autonomía, se consideró este valor porque en el centro poblado Chagual se generan lluvias prolongadas)

P_d : 0.50 (Valor máximo de descarga del acumulador)

Reemplazando:

$$C_{\text{Bateria}} = \frac{810 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} * 3 \text{ dia}}{12V * 0.5} = 405 \text{ Ah}$$

Por lo consiguiente seleccionamos un acumulador de gel, del proveedor Autosolar modelo BAE, con las especificaciones que se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Características de la batería o acumulador

PARAMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Modelo	Auto solar BAE	-
Tipo de acumulador	GEL	-
Condición de trabajo	Estacionaria	-
Condición de uso	Sistema fotovoltaico	-
Tensión total	12	V
Tensión por cada celda	2	V
Número de celdas	6	-
Capacidad	431	Ah

d) Dimensionamiento y selección del controlador

Los acumuladores o baterías trabajaran a una tensión de 12 V, pero como el panel fotovoltaico seleccionado tiene una tensión de operación de 30.70V, para tal fin y rectificar la tensión se decidió implementar un controlador.

A continuación, se evalúa la capacidad de corriente máxima permitida al ingreso del controlador, para rectificar la tensión a 12V.

La expresión a utilizar, se muestra a continuación:

$$I_{\text{max entrada}} = I_{sc} * f_s$$

Donde:

I_{sc} : 8.80 A (Intensidad nominal del panel fotovoltaico seleccionado)

f_s : 1.25 (Valor típico en instalaciones fotovoltaicas)

Sustituyendo en la ecuación:

$$I_{\text{max entrada}} = 8.80A * 1.25 = 11A$$

Del proveedor de controladores nacionales Morningstar, seleccionamos un controlador con tensión de 12 V modelo PS15, capaz de soportar un amperaje máximo de 15 A, tal como se observa en la tabla 15.

Cabe precisar que, por cada lámpara de iluminación pública, se implementará un controlador.

Tabla 15: Características principales del controlador

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Modelo	Prostar PS15	-
Tensión de trabajo	12	V
Intensidad nominal	15	A

e) Dimensionamiento y selección del Inversor

Se propuso la implementación de un inverso, debido a dos razones: la primera para tener un menor consumo de energía eléctrica y el segundo porque las lámparas de iluminación trabajan eficientemente a una tensión alterna de 220 V con una frecuencia de 60 Hz. Por lo consiguiente la función del inverso es cambiar el flujo de eléctrico de corriente continua a alterna

Para seleccionar un controlador, este debe tener una producción de potencia superior a la potencia de las lámparas de 0.055KW, asimismo se requiere de un controlador que trabaje entre una tensión de entrada y salida de 12/220V.

Por lo tanto, seleccionamos del proveedor Atersa el modelo BCR150, con las siguientes especificaciones que se detallan en la tabla 16.

Tabla 16: Rangos de valores del inversor

PARAMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Serie	BCR150	-
Tipo de onda	Senoidal	-
Producción máxima	0.150	KW
Voltaje de ingreso	12 CC	V
Voltaje de salida	220 CA	V
Frecuencia	60	Hz

f) Dimensionamiento y selección de conductores:

Pará el cálculo de los conductores eléctricos se utilizó la normativa del CNE (Código Nacional de Electrificación) el cual especifica que para instalaciones fotovoltaicas se deben utilizar conductores de calibre tipo AWG (Norma Americana) con protección de tubo PVC para soportar temperaturas máximas de operación de 70°C.

Asimismo, la norma indica que no se debe superar una caída de tensión de 1.50% en conductores eléctricos de cobre duro.

- Tramo: Panel fotovoltaico – Controlador

Para calcular la sección de un conductor eléctrico en corriente continua, se emplea la siguiente formula:

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\delta}$$

Donde la resistividad del cobre, se calcula:

$$\rho = \rho_{20^{\circ}\text{C}} * (1 + \alpha * \Delta T)$$

Tenemos:

$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$: 0.01790 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (valor de resistividad del cobre duro a una temperatura de operación de 20°C).

α : 0.00382°C⁻¹ (valor de la dilatación lineal del cobre duro)

Reemplazando

$$\rho = \rho_{20^{\circ}\text{C}} * (1 + \alpha * \Delta T) = 0.01790 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * (1 + 0.00382^{\circ}\text{C}^{-1} * (70 - 20)^{\circ}\text{C})$$

$$\rho = 0,02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Asimismo, para el cálculo de la sección, tenemos los siguientes datos:

I: 8.80 A (Intensidad nominal del panel fotovoltaico seleccionado)

L: 3 (Distancia entre panel y controlador)

δ : Caída de tensión máxima

$$\delta = 0.015 * 30.7 = 0.4605\text{V}$$

Sustituyendo:

$$S = \frac{2 * 0.02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 8.80\text{A} * 3\text{m}}{0.4605\text{V}}$$

$$S = 2,44 \text{ mm}^2$$

Normalizando, tendríamos un conductor de 3,309 mm², 12 AWG.

- Tramo: Controlador – Batería:

Datos:

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$\delta = 0,015 * 12V = 0,18V$$

$$I = 8,80A$$

$$\rho = 0,02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Reemplazando:

$$S = \frac{2 * 0,02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 8,80A * 0,5\text{m}}{0,18V}$$

$$S = 1,04 \text{ mm}^2$$

Normalizando, tendríamos un conductor de 1,3090 mm², 16 AWG.

Tramo: Controlador – Inversor:

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$V = 12V$$

$$\delta = 0.015 * 12V = 0.18V$$

$$I = 8.80A$$

$$\rho = 0,02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Reemplazando:

$$S = \frac{2 * 0.02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 8.80A * 0.5\text{m}}{0,18V}$$

$$S = 1.04 \text{ mm}^2$$

Normalizando, tendríamos un conductor de 1.3090 mm², 16 AWG.

- Tramo: Inversor - Luminaria:

$$L = 3 \text{ m}$$

$$V = 220\text{V}$$

$$\delta = 0.015 * 220\text{V} = 3.3\text{V}$$

$$I = \frac{P}{V} * fs = \frac{55\text{W}}{220\text{V}} * 1.25 = 0.3125\text{A}$$

$$\rho = 0.02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Reemplazando:

$$S = \frac{2 * 0.02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 0,3125\text{A} * 3\text{m}}{3,3\text{V}}$$

$$S = 0.012 \text{ mm}^2$$

Normalizando, tendríamos un conductor de 0,0509 mm², 30 AWG.

g) Dimensionamiento y selección del sistema de protección

El sistema de protección estará constituido por un interruptor diferencial (para proteger la vida humana) y un interruptor termomagnético (para proteger los equipos del sistema fotovoltaico).

Interruptor automático termomagnético:

La capacidad de amperaje máximo de la lámpara e inversor es 0.3125 A, bajo esta consideración se seleccionó un interruptor termomagnético con una intensidad superior de 1A, permitiendo de esta manera que el sistema trabaje eficientemente. Por lo consiguiente, seleccionamos del catálogo Sica, el interruptor automático termomagnético modelo 78LIMIT Unipolar (tabla 17)

Tabla 17. Interruptor automático termomagnético

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Modelo	Unipolar 78LIMIT	-
Tipo	Automático	-
Intensidad nominal	1	A

Interruptor automático diferencial

El CNE (Código Nacional de electricidad) especifica que los interruptores diferenciales deben limitarse a no sobrepasar el amperaje de 30mA para asegurar la protección de la vida humana.

Del proveedor Sica, se seleccionó un interruptor diferencia de 30 mA, modelo DIN35, tal como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: Interruptor automático diferencial

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Modelo	DIN35	-
Tipo	Automático	-
Diferencial de intensidad	10 - 30	mA
Intensidad nominal	16	A
Tensión de trabajo	220	V

Fusibles:

El panel fotovoltaico tiene una intensidad máxima de operación de 8.80A, por lo consiguiente los fusibles deben tener una capacidad límite superior.

Del proveedor Bussmann seleccionamos el modelo PV10F, con una intensidad nominal máxima de 10A, tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19: Características principales de los fusibles

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Modelo	PV10F	-
Tipo de uso	Sistemas fotovoltaicos	-
Intensidad nominal	10	A

h) Distancia entre luminarias

- Flujo luminoso:

$$\Phi = 4\ 800\ \text{ln}$$

- Ancho de la calzada: (ancho de iluminación)

$$A = 5\text{m}$$

- Establecemos la altura útil de la lámpara.

$$H = 6.42\text{m}$$

- Factor por mantenimiento:

$$f_m = 0,80$$

- Iluminancia media sobre la calzada:

$$E_m = 28 \text{ lux}$$

- Factor de utilización:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2$$

$$\eta = 0.16 + 0.27$$

$$\eta = 0.43$$

De la siguiente formulación, determinamos la distancia entre luminarias

$$d = \frac{\eta * f_m * \Phi}{A * E_m}$$

Reemplazando:

$$d = \frac{0.43 * 0.8 * 4800\text{lm}}{5\text{m} * 28\text{lux}}$$

$$d \cong 12\text{m}$$

Tenemos un perímetro de 200 metros en el puente de Chagual (ambos lados)

$$N_{\text{luminarias}} = \frac{200 \text{ m}}{12\text{m}}$$

$$N_{\text{luminarias}} \cong 20$$

Finalmente, se requiere instalar 10 luminarias a cada lado del puente.

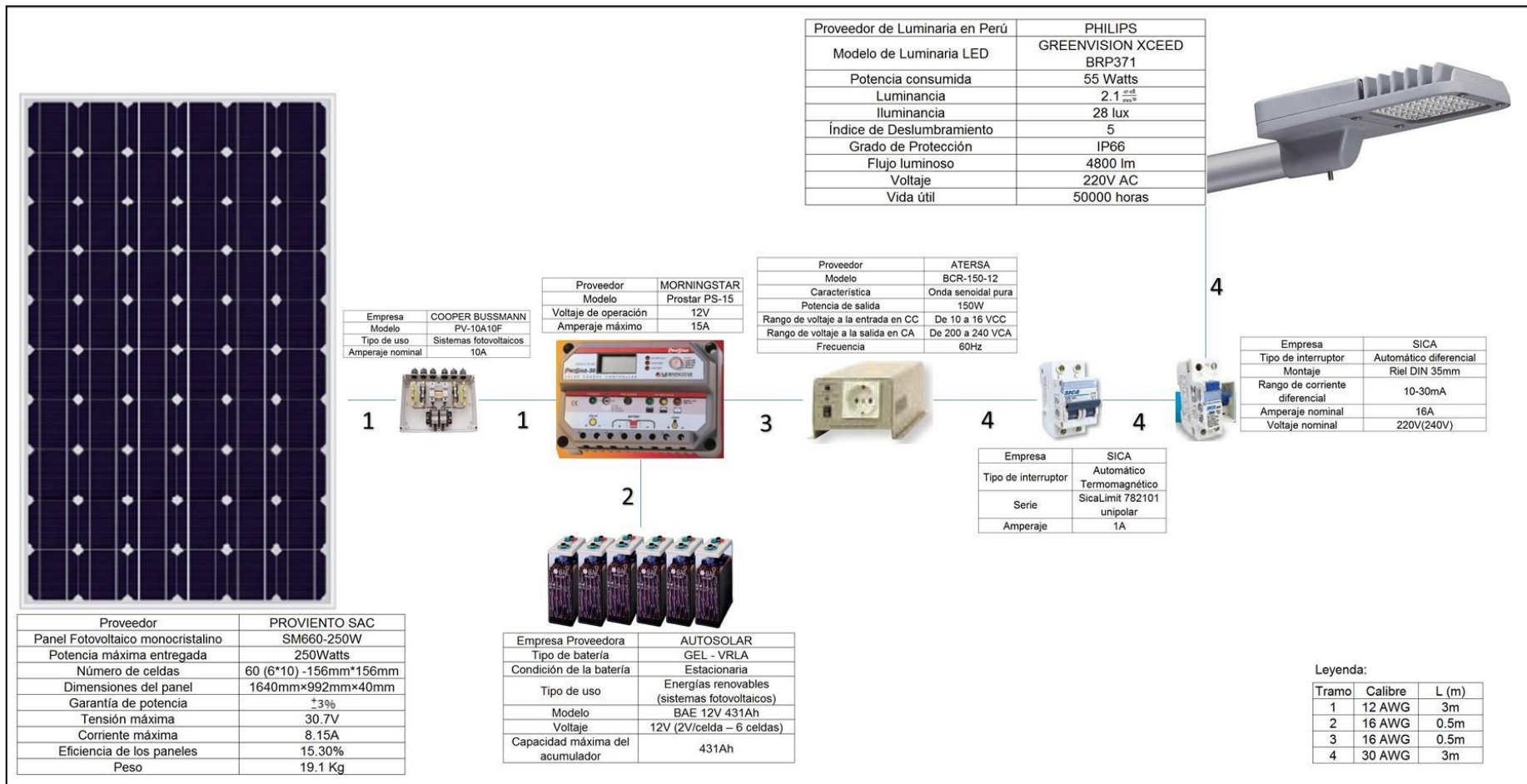


Figura 38: Equipos intervinientes en el sistema fotovoltaico

En la figura 39, se muestra el diagrama unifilar del sistema autónomo fotovoltaico, con panel monocristalino de potencia nominal de 250 W, el cual entrega un voltaje de 30.7 V en corriente monofásica y una intensidad de 10 A, asimismo está protegido con fusibles de capacidad de rompimiento de 10A. La tensión se estabiliza en un controlador en paralelo a un acumulador de 12 V para el almacenamiento de la energía eléctrica, luego la corriente monofásica se convierte en alterna mediante un inversor, transformando la tensión a 220V para reducir el consumo de corriente. Para la protección de los equipos se implementó un interruptor termomagnético de un rango de exceso de 1A e interruptor diferencial para protección humana de 30 mA, conllevando a que la luminaria pueda recibir una potencia de 55kW.

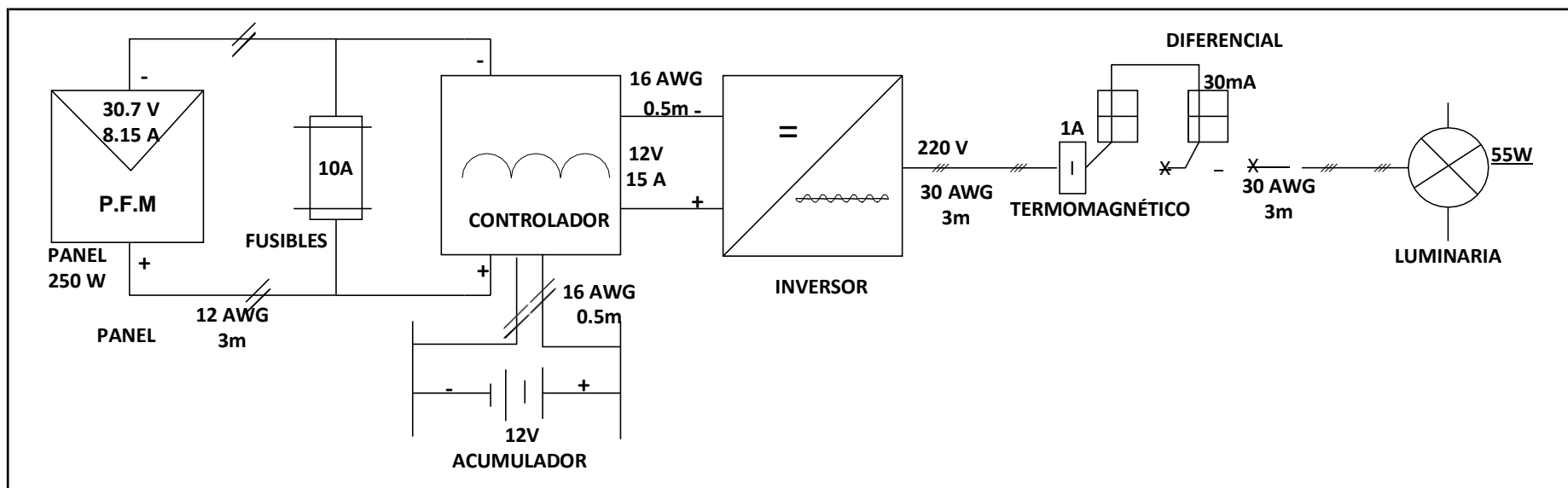


Figura 39: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

4.4. ANÁLISIS ECÓNOMICO

Tabla 20: Inversión del puente metálico con iluminación fotovoltaica

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO	VALOR UNITARIO (soles)	COSTO TOTAL (Soles)
ESTRUCTURAS METALICAS				5241524.731
Estructuras primarias ASTM A709 GR 50 400x400x16mm	kg	662789.4509	5.46	3618830.402
Estructura secundaria (arco metálico) ASTM A709 GR 50 1250x1250x25mm	kg	119077.6531	5.46	650163.986
Estructuras secundarias diagonales ASTM A709 GR 50 100x100x16mm	kg	29769.413	5.46	162540.995
Cimientos	m ³	2540.55	122.00	309947.10
Accesorios del puente metálico	Unidad	1	23540.00	23540.00
Mano de obra (10%) para ejecución del puente metálico	Unidad	1	1	4765022.48
ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA				22616.00
Panel Fotovoltaico monocristalino, modelo SM660-250W y batería gel 1640mm×992mm×40mm, 30.7V, 8.15A	Unidad	20	400.00	8000.00
Luminaria LED, Philips, 55W, 4800lumenes, 200V AC	Unidad	20	23.00	460.00
Controlador, Prostar PS15, 12V, 15A	Unidad	20	122.00	2440.00
Inversor de onda senoidal pura,150VA, BCR150, 12/220V CC/CA	Unidad	20	190.00	3800.00
Interruptor Automático Termomagnético unipolar 78LIMIT, 1A	Unidad	20	50.00	1100.00
Interruptor automático diferencial, DIN 35, 10 - 30mA, 220V	Unidad	20	88.00	1760.00
Accesorios del sistema de iluminación	Unidad	1	3000.00	3000.00
Mano de obra del sistema de iluminación (10%)				2056.00
TOTAL				5264140.73

El costo del acero laminado en caliente de ASTM A709 GR 50 donde el análisis unitario para la estructura del puente tiene un costo de \$ 1550 USD tonelada el

cambio de moneda en soles 5471.5(3.53*800), Donde la tabla 20 muestra inversión del puente en las estructuras, con un costo total de 5241524.731 soles y el costo por iluminación fotovoltaica 22616.00 soles esta tesis desde la justificación social el puente con iluminación fotovoltaica mejorara la circulación vehicular y la seguridad humana.

a) Beneficio útil

El servicio Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) tiene un costo de energía eléctrica s/ 0.24 KWh.

- Tiempo 24 h
- 360 días

$$\text{costo de energia un año} = 0.24 * 360 = 8760 \text{ h/año}$$

se tendría que pagar s/ 8760 h/año de electrificación

$$B_{\text{util}} = 0.24 \text{ KWh} * 1.1 \text{ KW} * 8760 \text{ h/año}$$

$$B_{\text{util}} = \text{s}/2312.64 \text{ año}$$

Se llegará utilizar la red del servicio eléctrico interconectado nacional (SEIN)la cual no tiene acceso al centro poblado chagual el costo de la energía que se tendría que pagar S/ 2312.64 para cubrir la iluminación del puente.

b) Retorno operacional de la inversión:

$$ROI = \frac{\text{INVERSIÓN}}{\text{BENEFICIO}} = \frac{22616.00}{2312.64}$$

$$ROI = 9.8 \approx 10 \text{ años}$$

Retorno de la inversión seria en 10 años.

V. DISCUSIÓN

En el presente estudio se realizó el diseño de un puente de arco metálico con tablero superior de 100 m de longitud sobre el río Marañón en el centro poblado de Chagual. El puente fue diseñado para una carga viva de 48 TM y una carga nominal de 240 TM, con elementos estructurales primarios y secundarios de material ASTM A709 GR 50 con factores de seguridad de 5.32 a 9.7.

En la investigación de Guerrero (2017), realizó el diseño de un proceso de control de calidad para la construcción y montaje de puentes metálicos de vigas de alma llena para luces mayores a 40 metros y menores a 100 metros, obtuvo como resultado que, en la construcción de puentes con una luz máxima de 100 metros, es viable las vigas tipo H, tanto para vigas primarias o secundarias, para soportar pesos el rango de 65 a 85 TM sobre el puente como una distribución de carga axial. También el autor especificó que las vigas H de alma llena de designación 44x335 son las adecuadas para soportar hasta cargas de 100 TM, con un factor de seguridad de 3. En comparación a la presente investigación el puente de Chagual fue diseñado para soportar una carga máxima o nominal de 240 TM, donde la carga viva máxima es 48 TM, con un factor de seguridad de 5. Asimismo, las vigas primarias tienen un perfil de tubo cuadrado 400x400x1.6 m con un factor de seguridad de 5.32, lo cual indica que las vigas de tubo cuadrado son mejores que las vigas H, según la investigación de Guerrero.

De la misma manera, Salazar (2015), realizó el diseño y simulación de un puente metálico de un carril, para vehículos hasta 50 Ton, longitud de 15m y ancho de 8m, obtuvo como resultado que la construcción de puentes respecto a su seguridad y durabilidad depende de las propiedades mecánicas de la estructura metálica tales como momento de inercia, resistencia a la fluencia, resistencia última, radio de giro y dureza, y estas en su gran mayoría las poseen las estructuras metálicas de tubo cuadrado las cuales son excelentes para soportar cargas de hasta 50 Toneladas. De igual manera el autor indicó que las estructuras metálicas de tubo cuadrado son excelentes soportando cargas axiales en puentes de longitudes cortas de hasta 15m, pero a mayores longitudes este tipo de estructuras son afectadas por la

flexión. En similitud al puente de Chagual se diseñó para una longitud de 100 m para una carga viva de 48 TM, asimismo los elementos primarios fueron diseños para soportar una carga por compresión de 16 TM y una carga axial de 4.8 TM. En concordancia a la investigación de Salazar se utilizaron perfiles cuadrados para el diseño de las vigas primarias y secundarias lo cual corrobora que la mejor selección ya que el autor la recomienda para una carga viva de hasta 50 TM.

Por otro lado, Morales (2016), en su estudio titulado alumbrado de un puente peatonal de 45 metros de Luz con sistema fotovoltaico, tuvo como resultados que el puente necesita de una potencia de 450 KW/mes para su sistema de iluminación con energía fotovoltaica, donde la zona cuenta con una irradiación solar del orden de 3900 Wh/m^2 , con una energía eléctrica de 6000 Wh/día, por lo cual se seleccionaron 8 paneles fotovoltaicos de 150 W, el sistema fotovoltaico tiene una vida útil de 25 años y máxima de 35 años, con una beneficio de \$ 20000.00 y una inversión fija de \$ 10500.00. En comparación a la investigación en el centro poblado de Chagual se tiene una irradiación solar de 2550 Wh/m^2 . Por otra parte, se estableció que el sistema de iluminación debe contar con la siguiente instrumentación: Panel fotovoltaico monocristalino Proviento de 0.25 KW, lámparas Philips LED de 0.055 KW, acumuladores Auto solares BAE de gel de 12V con capacidad de 431A, inversor Atersa de 0.15KW 12/220V modelo BCR150, interruptor termomagnético 78LIMIT Sica con intensidad de 1A, interruptor diferencial DIN35 de 30mA y conductores AWG de 12, 16 y 30, para una vida máxima de 25 años.

Torres (2017), realizó un diseño y simulación estructural de un puente metálico, en sus resultados indicó que los puentes deben ser diseñados con estructuras metálicas tipo I para vigas primarias, tipo C para vigas secundarias y vigas de miembro cero, las cuales son adecuadas para soportar grandes cargas de flexión entre 90 - 120 TM, con puentes de hasta de 150 m de luz. Asimismo, también puntualizó que las vigas primarias de carga viva deben poseer factores de seguridad en el orden de 3 a 5, las vigas secundarias 2 a 3 y las vigas de miembro cero deben tener entre 1.5 a 1.8. En comparación a la presente investigación las estructuras primarias tienen un factor de seguridad 5.32 y las vigas secundarias (arco metálico) tiene un factor de seguridad de 9.72 esto se debe a que el perfil

estructural de tubo cuadrado es mejor frente a los perfiles propuestos por el investigador Torres, asimismo cabe indicar que el investigador en mención utilizó el software de diseño Solidworks para determinar los distintos factores de seguridad, por lo cual la comparación es correcta.

Asimismo, Mejía (2016), realizó el diseño de un puente metálico con vigas de acero, tuvo como resultados que el diseño de un puente metálico asistido por el software Solidworks para soportar cargas dinámicas del orden máximo de 100 TM, debe utilizar vigas de acero compuesto de forma I, las cuales son ideales para reducir las cargas por flexión ocasionadas por el peso y fricción de los vehículos. Las vigas I ofrecen mayores momentos de inercia de hasta $100\ 000 * 10^4 \text{ mm}^4$, donde las vigas de acero compuesto soportan las menores deflexiones de 0.9 mm a 1.1 mm, frente a las de tipo C que generan flexiones el rango de 1.5 mm a 1.9 mm. En comparación a la investigación al diseño del puente metálico se utilizó como material al ASTM A709 GR 50 a comparación del autor Mejía que utilizó al acero estructural conocido como ASTM A36, no se utilizó este material porque tiene una velocidad de corrosión elevada. Asimismo, el perfil estructural seleccionado tiene una deflexión de 0.9 mm a comparación del acero estructural que tiene como máximo 1.9mm según lo indica el autor Mejía en su investigación. Por lo cual podemos reafirmar que el material propuesto limita las acciones que puedan ocasionar deflexión por pandeo.

Finalmente, en el estudio de Cruz & Núñez (2013), realizaron un estudio basado en las aplicaciones y usos de la energía fotovoltaica, los autores detallan que el Perú es geográficamente un país con un elevado índice de irradiación donde los valores varían entre 2100 a 6800 Wh/m², siendo aprovechables para la generación de energía eléctrica. Obteniendo como resultados que para la implementación de un sistema fotovoltaico con un consumo medio de 5000 W, en una zona con una irradiación media de 3500 Wh/m² (valor que se pueden originar en la costa, sierra y selva) necesita en promedio de la instalación de 10 paneles fotovoltaicos, 5 baterías con capacidad de 150 Ah de 12 V, 1 inversor de 12V/220V, 1 controlador de 30A, asimismo los autores indicaron que es satisfactoria la instalación de paneles fotovoltaicos porque poseen en promedio un retorno operacional de la inversión de 5 a 8 años, donde los equipos del sistema fotovoltaico pueden ser aprovechados hasta una vida útil de 30 años. En similitud a la investigación en el

centro poblado de Chagual se tiene una irradiación solar de 2550 Wh/m². La Luminaria más óptima para el alumbrado público debe de ser de una potencia 0.055KW, de 4 800 lúmenes. Los elementos del sistema fotovoltaico a fueron seleccionados de proveedores establecidos en el Perú, obteniendo los siguientes modelos de fabricación: Panel fotovoltaico monocristalino Proviento de 0.25 KW, lámparas Philips LED de 0.055 KW, acumuladores Auto solares BAE de gel de 12V con capacidad de 431A, inversor Atersa de 0.15KW 12/220V modelo BCR150, interruptor termomagnético 78LIMIT Sica con intensidad de 1A, interruptor diferencial DIN35 de 30mA y conductores AWG de 12, 16 y 30, para una vida máxima de 25 años. En comparación a los investigadores Cruz & Núñez ellos evaluaron zonas con altos índices de radiación que les permitían obtener potencias eléctricas más elevadas, a comparación de la irradiación del puente Chagual se eligió el valor más bajo en el año para no tener problemas por insuficiencia de carga eléctrica.

La investigación impacta en la sociedad, porque la implementación de un puente metálico permite la conexión de vías de comunicación entre localidades, genera competitividad, asimismo es una respuesta a las necesidades de una población y permite el intercambio de actividades como comercio, turismo, educación, recreación, otros.

VI. CONCLUSIONES

- El puente metálico óptimo seleccionado para el centro poblado Chagual, fue puente de arco metálico con tablero superior, el cual fue más rentable desde el punto de vista técnico y económico frente a puentes tipo viga y colgantes.
- Se determinó que la carga máxima viva en el puente Chagual es 48TM, con una carga de nominal de 240 TM, con un factor de seguridad de 240 TM.
- Se realizó un análisis estructural mediante la simulación de elementos finitos en el software Solidworks, determinando que las estructuras primarias soportan una carga de aplastamiento de 16TM y una carga axial de 4.8TM con dimensiones 400x400x1.6mm, para lo cual el material seleccionado fue ASTMA709 GR-50 para obtener un factor de seguridad requerido de 5.32 estático y 1.64 por fatiga. La estructura secundaria (arco metálico) tiene las siguientes medidas 1250x1250x25mm con un factor de seguridad de 9.7 estático y 2.68 por fatiga.
- Se realizó el diseño del sistema fotovoltaico para lo cual se dimensionaron y seleccionaron los siguientes equipos: Panel fotovoltaico monocristalino Proviento de 0.25 KW, lámparas Philips LED de 55 W, acumuladores Auto solares BAE de gel de 12V con capacidad de 431A, inversor Atersa de 0.15KW 12/220V modelo BCR150, interruptor termomagnético 78LIMIT Sica con intensidad de 1A, interruptor diferencial DIN35 de 30mA, fusibles PV10F de 10A y conductores AWG de 12, 16 y 30, para una vida máxima de 25 años.
- Se determinó que la inversión del puente de arco metálico con tablero superior tiene un costo de 5241524.731 soles y el sistema fotovoltaico 22616.00 soles, obteniendo un total de 5264140.73 soles.
- Se determinó que el retorno de inversión de la iluminación fotovoltaica la cual tiene una inversión 22616.00 soles, un beneficio útil de 2312.64 soles año si se utilizara el servicio de interconectado y un periodo de retorno de la inversión de 10 años

VII. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para las estructuras metálicas y para el sistema fotovoltaico el cual posee equipos críticos como: panel fotovoltaico, batería y luminarias.
- b) Se recomienda realizar un programa de actividades para la ejecución del diseño del puente Chagual.
- c) Se recomienda realizar un estudio de especificaciones civiles respecto a un análisis de cimentación del puente metálico. Para evaluar la trasmisión de cargas hacia el suelo.
- d) Se recomienda realizar un estudio de impacto económico respecto al beneficio útil que se logra en el centro poblado Chagual con la implementación del puente.

REFERENCIAS

- ALCÁNTARA, P. *Vías de transporte en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú, 33-34, 2018.
- ATLAS SOLAR DEL PERÚ. *Irradiación solar en la localidad de Pataz*. Lima: Biblioteca Ediciones del Perú, 2015.
- BAKER, J. *Diseño de elementos de máquinas*. Estados Unidos : Akal , 2018. 25 p.
- BELTRÁN, R. *Módulos fotovoltaicos para la producción de energías limpias*. Bogotá: Uniandes, 2017.
- BELL, H Y RIVERA, F. *Estructuras en condiciones de pandeo*. Estados Unidos: Tusquet, 2015. 122 p.
- BEER, L. *Mechanical Engineering Design metal bridges*. United States of América: McGraw–Hill Primis, 2018.
- CAMPOS, Y. *Fuentes energéticas fotovoltaicas en el Perú*. México, D.F: McGraw-Hill, 2015.
- CANTEC, Y. *Análisis eléctrico en equipos fotovoltaicos*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2016.
- CARRERA, L. *Diseño estructural de puentes*. México: Ediciones Arlequín, 2018.
- CASTILLO, M. *Investigación metodológica*. Estados Unidos : Satori, 2019. 56 p.
- DALTÓN, JAHES. *Diseño de elementos finitos*. Lima : Universidad Nacional de Trujillo , 2017.
- DÍEZ, R. *Cálculo de sistemas fotovoltaicos, eficiencia de paneles solares y su incidencia en el impacto solar*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017.
- DUGLAS, JESÚS. *Matriz de selección de equipos*. España : Editores Libros, 2018.
- ESTEF, M. *Metodología para el análisis de fatiga en puentes estructurales*. [En línea] 01 de febrero de 2016. [Citado el: 01 de noviembre de 2019.] <http://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10852/PFC_EVA_MARCO.pdf?sequence=1, 2016.

FERNÁNDEZ, P. *Análisis de radiación e irradiación solar en paneles fotovoltaicos*. Madrid: Universidad de Cantabria, 2016.

GARCÍA, F. *Elementos finitos computarizado*. Lima : Universidad Nacional del Callao , 2019. 177 p.

GUERRERO, T. *Diseño de un proceso de control de calidad para la construcción y montaje de puentes metálicos de vigas de alma llena para luces mayores a 40 metros y menores a 100 metros en la empresa Bullcandle Company Cia. Ltda*. Universidad Técnica De Ambato. Ecuador, 2017.

HALL, R. *Control computarizado de elementos de máquinas*. Lima: McGraw – Hill, 2015.

HARPER, E. *Generadores, Transformadores y motores eléctricos*. México: Limusa Noriega Editores S.A, 2015.

HERNÁNDEZ, W. *Diseño de máquinas*. Estados Unidos : Akal , 2018. 176 p.

JHONSON, H . *Diseño eléctrico y mecánico de elementos de máquinas*. Lima : Universidad Nacional de Piura , 2017. 67 p.

JUÁREZ, E. *Estudio de estructuras de acero: Mecánica de suelos*. Lima: Limusa, 2016.

KERT, E. *Eficiencia en elementos fotovoltaicos de tipo planos*. Madrid: Concepción Fernández Madrid, 2015.

MEJÍA, J. *Diseño de un puente metálico con vigas de acero*. Universidad Nacional de Trujillo. Perú, 2016.

MORALES. M. *Alumbrado de un puente peatonal de 45 metros de Luz con sistema fotovoltaico*. Universidad de Buenos Aires. Argentina, 2016.

NELSON, M. *Diseño y mecanismos*. Ecuador : Saden , 2018. 88 p.

LEGRÁ, A. *Metodología para la Investigación Científico Tecnológico*. Tercera. España, Madrid. Ediciones Díaz de Santos, 2018.

QUINTANA, B. *Mecanismos de elementos de máquinas* . España : Sajain , 2019. 111 p

RAMIREZ, LUIS. *Diseño de elementos de máquinas* . Lima : Lumen , 2017.

RAMOS, L. *Mecanismos de elementos de máquinas* . Lima : Universidad Nacional de Ingeniería , 2017. 88 p

RUSSELL, C. *Análisis Estructural. Puentes metálicos*. México: Pearson Educación, 2017.

SALAZAR, S. *Diseño y simulación de un puente metálico de un carril, para vehículos hasta 50 Ton, longitud de 15m y ancho de 8m*. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador, 2015.

SANJURGO, R. *Fundamentos de ingeniería de diseño de elementos de máquinas y modelamiento de puentes estructurales*. Galicia : Routledge, 2015.

SANTOS, T. *Mecanismo de máquinas-sistemas asistido por software* . Lima : Alhambra, 2017.

SENAMHI. *Datos hidrometeorológicos*. Obtenido de Provincia de Pataz: <https://www.senamhi.gob.pe>, 2019.

SINGER, L. *Resistencia de Materiales y análisis estructural*. Madrid : Ediciones del Castillo S.A, 2018.

SHIGLEY, B. *Diseño en ingeniería mecánica*. D.F México: Edward Elgar Publishing, 2018.

TORRES, L. *El hierro fundido como aplicación en puentes metálicos*. Scielo, 43-50, 2017.

TORRES, Q. *Diseño y simulación estructural de un puente metálico*. Universidad Católica del Perú. Perú, 2017.

TURNER, H Y HILL, H. *Mecanismos lineales* . Lima : Satori Els , 2017. 58 p

VALERO, F. *Diseño de máquinas y control automático de sistemas*. Madrid: McGraw-Hill, 2016.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Características técnicas del puente metálico alumbrado con energía fotovoltaica	Es la metodología de la ingeniería del diseño estructural, el cual combina dos características: el análisis que refiere a la aplicación de las leyes de la ingeniería de materiales y el diseño que se ejecuta mediante la asistencia de un software (Shigley, 2018).	Es la aplicación de los criterios existentes de la ingeniería de materiales para el correcto diseño del puente estructural, así como el uso de un software para el análisis estático y dinámico real del diseño.	Área m ²	Secciones transversales de las vigas estructurales	De Razón
			Peso (Kg)	cargas de las vigas estructurales	De Razón
	Es la energía útil generada en un panel fotovoltaico, la cual es inagotable porque proviene de una fuente renovable (energía solar) (Beltrán, 2017).	La energía fotovoltaica, será utilizada para el alumbrado del puente estructural de 100 metros de longitud, por medio de lámparas o focos LED, para la sostenibilidad del proyecto en el tiempo.	Potencia (KW)	Potencias eléctricas de los equipos del sistema fotovoltaico	De Razón
			Irradiación (W/m ²)	Energía solar	De Razón
Costos de inversión	Son los gastos en activos fijos, bajo criterios económicos medios, que permiten definir el gasto máximo para la evaluación de un proyecto (Salazar, 2015)	Está relacionado con los costos de las estructuras del puente, equipos de sistemas fotovoltaicos y mano de obra.	Inversión (Soles/año)	Inversión en activos fijos	De Razón

Fuente: Elaborada por el autor

ANEXO 2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FIHA DE REGISTRO

FICHA DE REGISTRO DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL, PROVINCIA DE PATAZ			
PÁRAMETROS		Unidad	Valor	Simbología
Longitud del puente				
Ancho del puente				
Peso máximo (Carga máxima)				
Número de unidades vehiculares/día				
Altura del puente				
Ángulo de inclinación (en la horizontal) del puente				
Longitud de libre bordo				
Tipo de suelo del rio Marañón				
Caudal máximo del agua en el rio Marañón				
Altura del agua máxima en el rio Marañón				
Caudal mínimo del agua en el rio Marañón				
Altura del agua mínima en el rio Marañón				
Velocidad lineal máxima del agua en el rio Marañón				
Velocidad lineal mínima del agua en el rio Marañón				
Velocidad del viento en la zona				
Velocidad máx. permitida de vehículos en el puente				
Temperatura máxima de la zona				
Latitud/Longitud de la zona (rio Marañón)				
Irradiación solar según ubicación del rio Marañón				
Número de lámparas Led				
Distancia entre lámparas Led				
Tiempo de alumbrado/día				

FICHAS BIBLIOGRÁFICAS

FICHA BIBLIOGRÁFICA – TESIS	
Autor:	
Año:	
Título de tesis:	
Nivel:	
Universidad:	
Pág.:	
Resumen (Parafraseado):	
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	

FICHA BIBLIOGRÁFICA – LIBRO	
Autor:	
Año:	
Título:	
Edición:	
Lugar:	
Editor:	
Pág.:	
Resumen (Parafraseado):	
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	

ANEXO 3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÁULICO DEL RIO MARAÑÓN EN ORILLAS DEL CENTRO POBLADO DE CHAGUAL

Estudios del caudal máximos y mínimos del rio Marañón en orillas del centro poblado de Chagual a una altitud de 1247 msnm, Latitud Sur de 7° 50' 0" S y Longitud Oeste de 77° 38' 4.6" W

Balance hídrico del rio Marañón (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Caudal del rio	3.685	5.159	4.637	3.02	1.631	1.338	1.225	1.168	1.182	1.285	1.434	2.284

Fuente: Estudio hidrológico del Rio Marañón, 2017.

Demanda Agrícola en la Cuenca del río Sausicucho (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Uso Agrícola	0.413	0.233	0.273	0.613	0.933	1.173	1.203	1.103	0.893	0.783	0.733	0.653

Fuente: Estudio hidrológico del Rio Marañón, 2017.

El caudal, máximo por cada mes del año, del rio Marañón, resulta de la suma del caudal del balance hídrico y el caudal de la demanda agrícola.

Caudales máximos y mínimos del río Marañón en orillas del centro poblado de Chagual (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Caudal del rio	3.685	5.159	4.637	3.02	1.631	1.338	1.225	1.168	1.182	1.285	1.434	2.284
Uso Agrícola	0.413	0.233	0.273	0.613	0.933	1.173	1.203	1.103	0.893	0.783	0.733	0.653
Total	4.098	5.392	4.91	3.633	2.564	2.511	2.428	2.271	2.075	2.068	2.167	2.937

Fuente: "Estudio hidrológico del Rio Marañón, 2017"

Balance hídrico del río Marañón (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Caudal del río	4.537	4.358	3.304	2.752	1.688	2.479	2.311	2.941	1.694	2.766	3.387	3.462

Fuente: Estudio hidrológico del Río Marañón, 2015.

Demanda Agrícola en la Cuenca del río Sausicucho (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Uso Agrícola	0.561	0.539	0.408	0.340	0.209	0.306	0.286	0.364	0.209	0.342	0.419	0.428

Fuente: Estudio hidrológico del Río Marañón, 2015.

El caudal, máximo por cada mes del año, del río Marañón, resulta de la suma del caudal del balance hídrico y el caudal de la demanda agrícola.

Caudales máximos y mínimos del río Marañón en orillas del centro poblado de Chagual (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Caudal del río	4.537	4.358	3.304	2.752	1.688	2.479	2.311	2.941	1.694	2.766	3.387	3.462
Uso Agrícola	0.561	0.539	0.408	0.340	0.209	0.306	0.286	0.364	0.209	0.342	0.419	0.428
Total	5.098	4.897	3.712	3.092	1.897	2.785	2.597	3.305	1.903	3.108	3.806	3.89

Fuente: "Estudio hidrológico del Río Marañón, 2015.

Balance hídrico del río Marañón (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Caudal del río	3.477	4.797	4.533	3.450	2.143	2.142	2.137	1.865	2.852	3.369	2.566	3.044

Fuente: Estudio hidrológico del Río Marañón, 2010.

Demanda Agrícola en la Cuenca del río Sausicucho (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Uso Agrícola	0.430	0.593	0.560	0.426	0.265	0.265	0.264	0.231	0.353	0.416	0.317	0.376

Fuente: Estudio hidrológico del Río Marañón, 2010.

El caudal, máximo por cada mes del año, del río Marañón, resulta de la suma del caudal del balance hídrico y el caudal de la demanda agrícola.

Caudales máximos y mínimos del río Marañón en orillas del centro poblado de Chagual (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Caudal del río	3.477	4.797	4.533	3.450	2.143	2.142	2.137	1.865	2.852	3.369	2.566	3.044
Uso Agrícola	0.430	0.593	0.560	0.426	0.265	0.265	0.264	0.231	0.353	0.416	0.317	0.376
Total	3.907	5.39	5.093	3.876	2.408	2.407	2.401	2.096	3.205	3.785	2.883	3.42

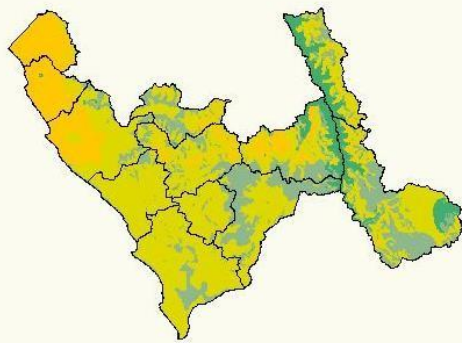
Fuente: "Estudio hidrológico del Río Marañón, 2010"

ANEXO 4. NIVELES DE IRRADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ.

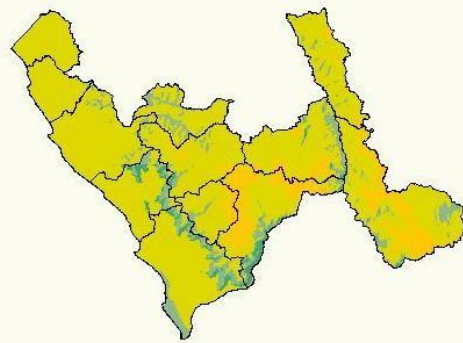


Fuente: Atlas Solar del Perú, 1975 - 1990.

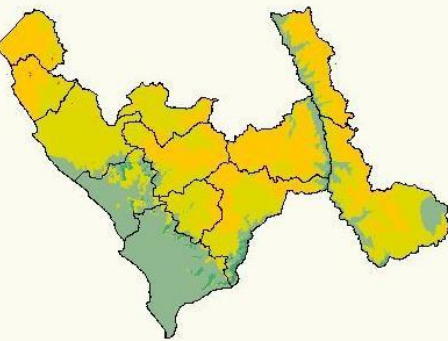
LA LIBERTAD



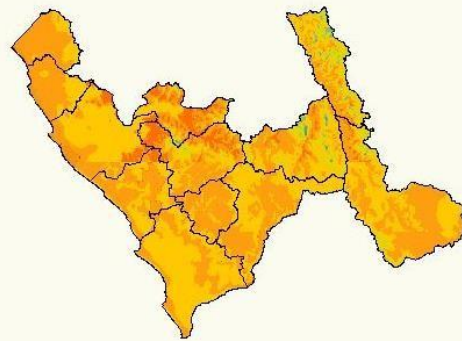
FEBRERO



MAYO



AGOSTO



NOVIEMBRE



REPÚBLICA DEL PERÚ

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
SINAMHI

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y ASUNTOS AMBIENTALES

ENERGÍA SOLAR INCIDENTE DIARIA
Departamento de La Libertad
(1975-1990)

L.M.V. PERÚ
DICIEMBRE 2006



TIEMPO IRRADIACIÓN EN SUPERFICIE TERRESTRE	Irradiación solar media - inclinación 30° (Kcal/m²)- UBICACIÓN OKM PATAZ / LA LIBERTAD		
	Longitud: -77.5895500/ Latitud: -7.7324500 0 Km Longitud: 077°35'22.38"/Latitud: 57°43'56.82"		
ENERO - MEDIO	2235.61	2149.625	2106.6325
FEBRERO - MEDIO	2321.595	2235.61	2252.807
MARZO - MEDIO	2192.6175	2063.64	2149.625
ABRIL - MEDIO	2407.58	2407.58	2287.201
MAYO - MEDIO	2235.61	2235.61	2063.64
JUNIO - MEDIO	2321.595	2235.61	2012.049
JULIO - MEDIO	2235.61	2235.61	2106.6325
AGOSTO - MEDIO	2493.565	2407.58	2364.5875
SEPTIEMBRE - MEDIO	2751.52	2751.52	2545.156
OCTUBRE - MEDIO	2579.55	2493.565	2347.3905
NOVIEMBRE - MEDIO	2450.5725	2355.989	2192.6175
DICIEMBRE - MEDIO	2751.52	2751.52	2579.55
ANUALIDAD	2015	2006	1995

Fuente: Atlas Solar del Perú, estación meteorológica en la Provincia de Pataz, 1995-2006-2015.

ANEXO 5. ANÁLISIS DEL SUELO

Se analizó el suelo sobre el cual se van a empotrar los apoyos del puente metálico tipo arco con tablero superior, obteniendo los siguientes resultados de laboratorio.

ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

Solicita : Ener L. Chávez Sopla

Fecha : 10/02/2020

Referencia : Informe de resultados / Ensayo de compresión no confinada.

VALORACIÓN DE LA MUESTRA:

Emplazamiento Suelo en orillas del rio Marañon
Ubicación Centro Poblado Chagual/Pataz/La Libertad
Espécimen 1500 gramos (1-1)
Inclinación 0° R
Incluye otros -

Por medio de la presente se le está alcanzando los resultados del ensayo de compresión no confinada

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL INCONFINADA

Textura	(98%) Franco – Arcilloso (1.5%) Franco – Arenoso (0.5%) Otros
Resistencia de Cohesión al Corte	1.63 Kgf/cm2 (160KPa)
Típico de Partículas	0.025 – 0.30 mm
Ángulo suelo / Herramienta	30° - 35°

Av. América Sur 3145 Monserrate Teléfono [+51][044] 604444 FAX 282900 Apartado Postal 1075

E-mail: imagen_institucional@upao.edu.pe Trujillo - Perú

Campus UPAO Piura: Av. Los Tallanes Zona Los Ejidos S/N Piura

Teléfonos: [+51][073] 607777

[+51][044] 604444 anexo 3028

Equipo Responsable: Imagen Institucional

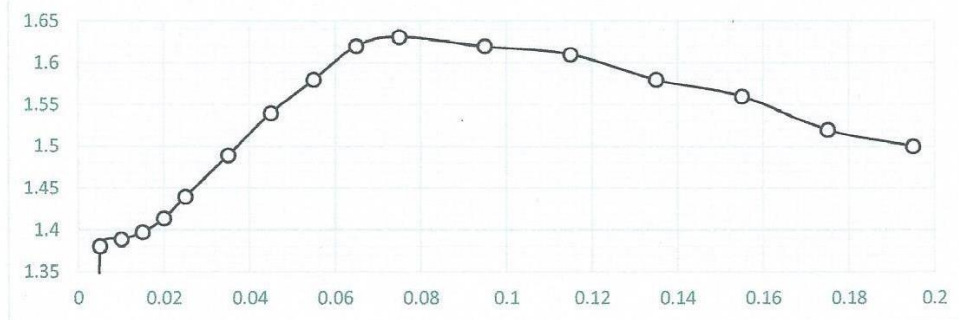
ANÁLISIS DEL ENSAYO:

Se empleó una máquina de compresión, con sistema de lectura de carga de rango bajo, un dial o lector de deformación, con curso de al menos 25% del largo de la probeta y precisión de 0,01 mm y un Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $100^{\circ} \pm 8^{\circ} \text{C}$.

PROCEDIMIENTO CUALITATIVO

Diámetro Inicial (cm)	2.01	Área Inicial (cm ²)	3.17308712
Diámetro Final (cm)	2.22	Área Final (cm ²)	3.870756308
Altura Inicial	4.9	Altura Final	5.01
Volumen Inicial (cm ³)	15.54812689	Volumen Final (cm ³)	19.3924891

Diagrama Esfuerzo Uniaxial - Deformación Unitaria -Textura: Franco Arcilloso



América Sur 3145 Monserrate Teléfono [+51][044] 604444 FAX 282900 Apartado Postal 1075

E-mail: imagen_institucional@upao.edu.pe Trujillo - Perú

Campus UPAO Piura: Av. Los Tallanes Zona Los Ejidos S/N Piura

Teléfonos: [+51][073] 607777

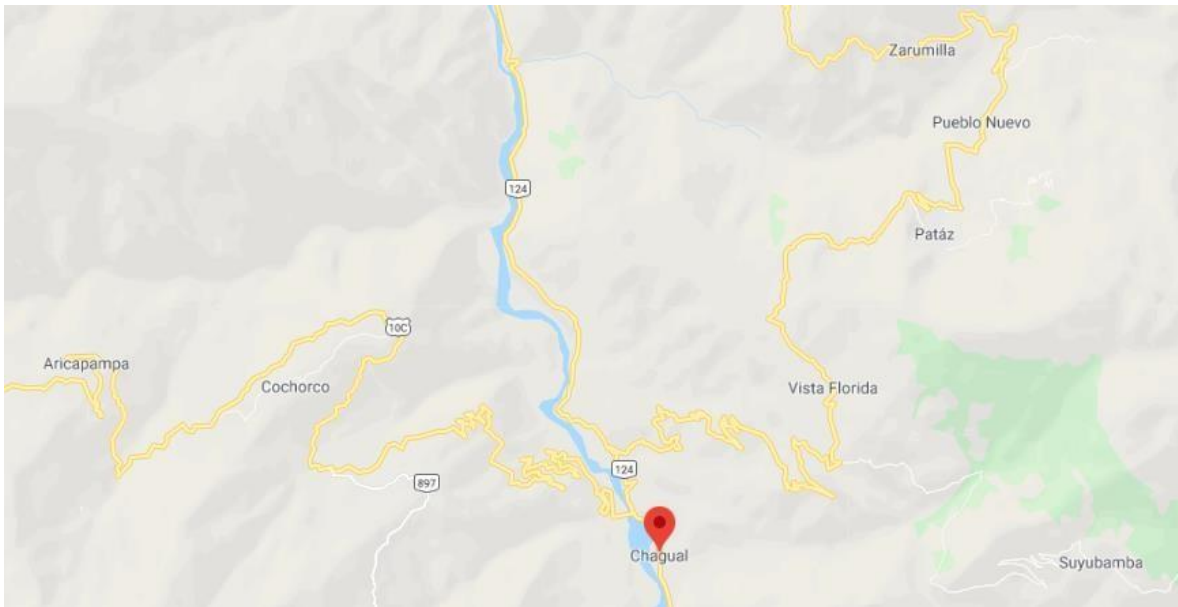
[+51][044] 604444 anexo 3028

Equipo Responsable: Imagen Institucional

ANEXO 6. UBICACIÓN DEL PUENTE METÁLICO TIPO ARCO DE TABLERO SUPERIOR

Ubicación geográfica del centro poblado Chagual

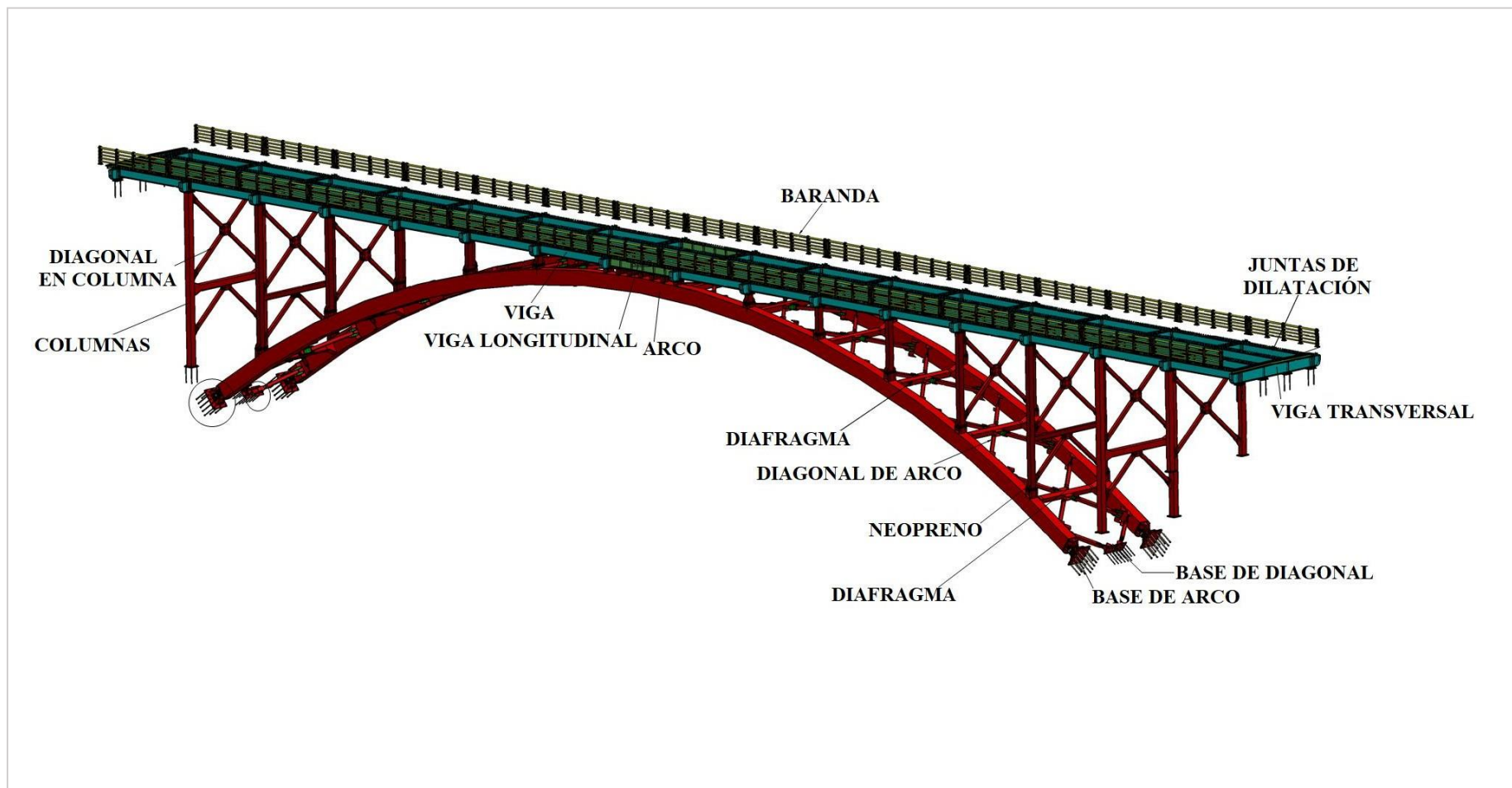
Se muestra la ubicación del centro poblado de Chagual y las demás localidades con las que limita.

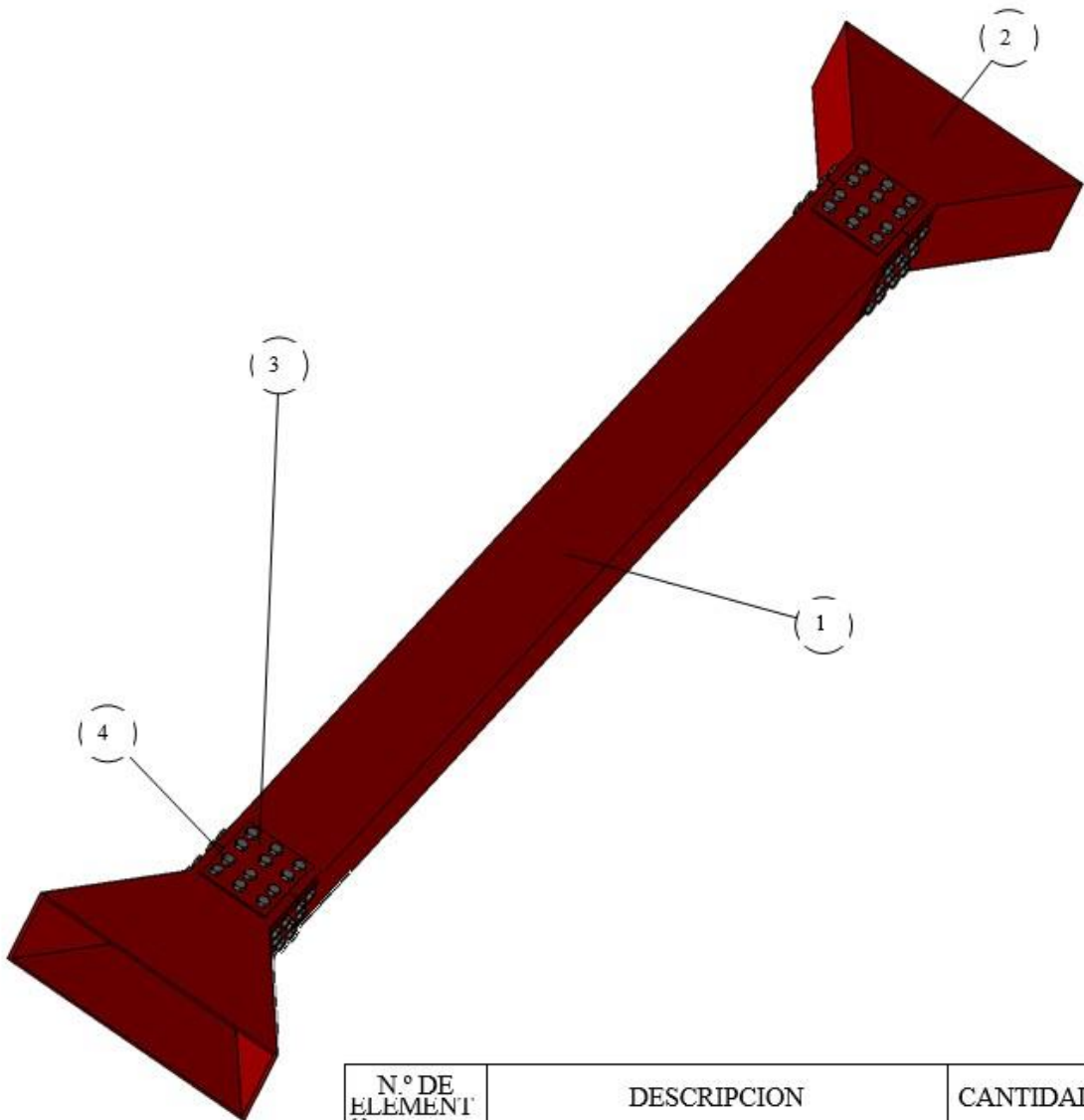


Ubicación geográfica del puente metálico tipo arco de tablero superior.



ANEXO 7. PLANOS DEL PUENTE METALICO DE ARCO CON TABLERO SUPERIOR

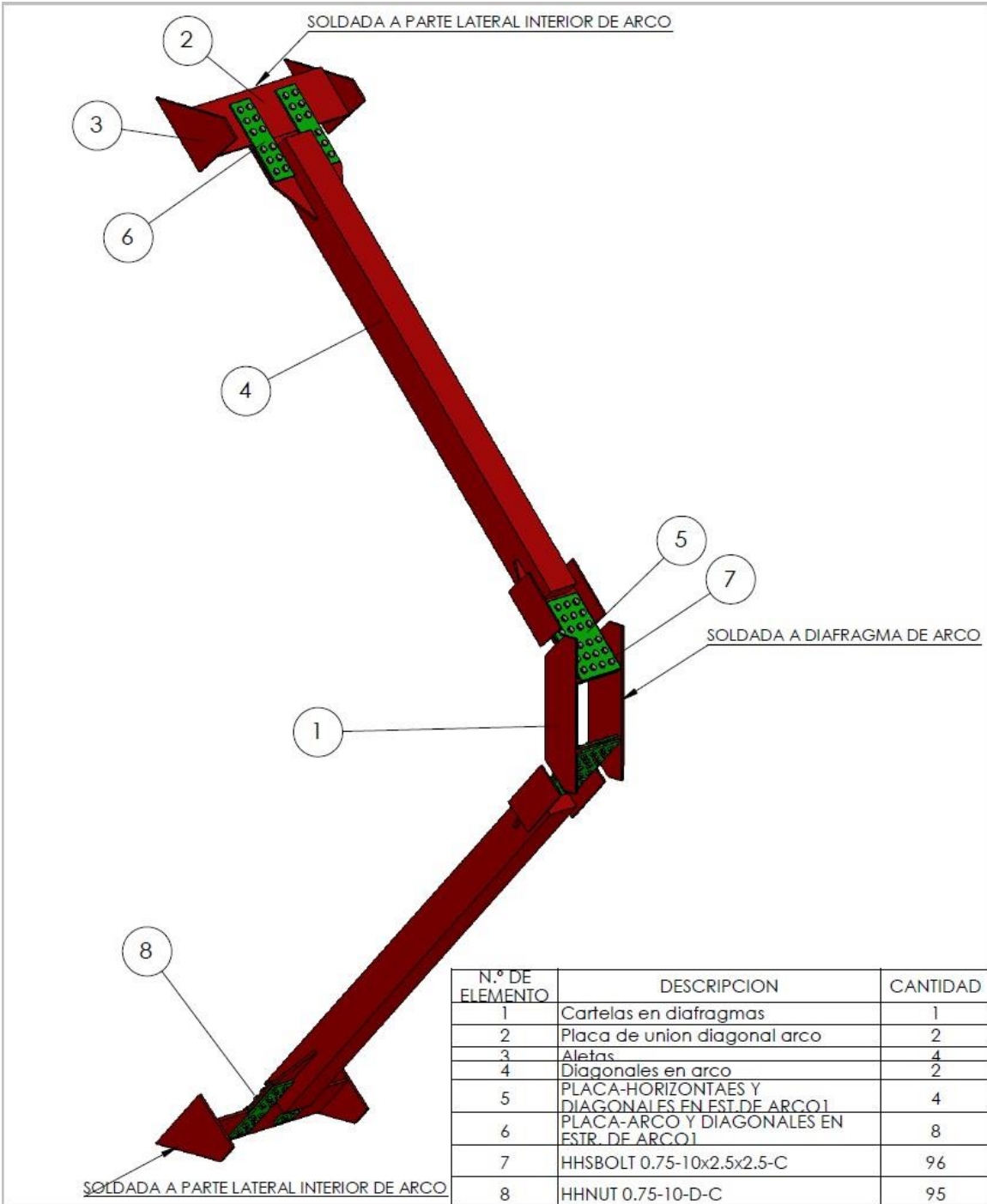




N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Tubo diafragma 350x350x4000	1
2	Cono de diafragma	2
3	PLACA EN DIAFRAGMA	16
4	HHSBOLT 1-8x3x3-C	96

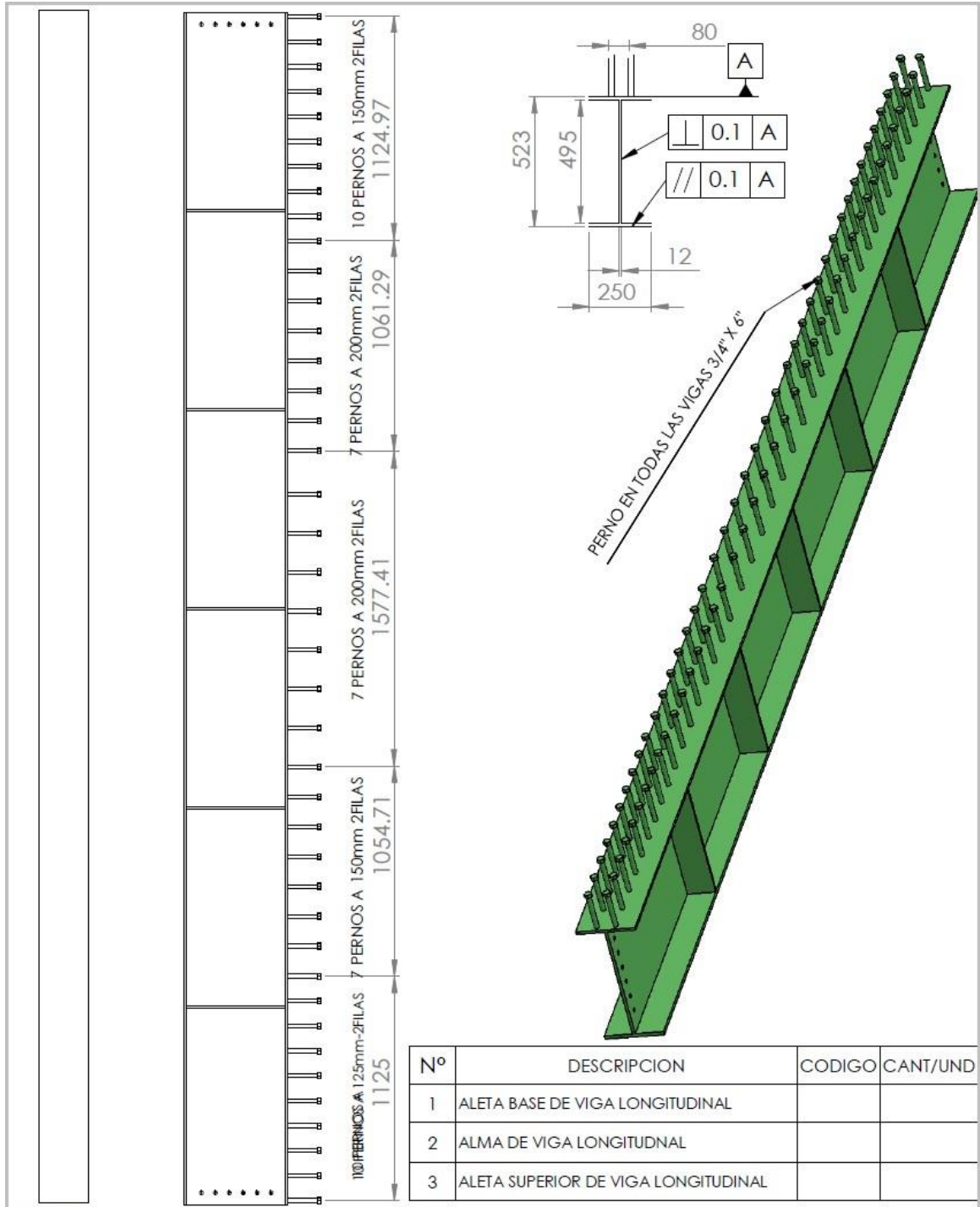
ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METALICO ALUMBRADO CON ENERGIA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑON EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

NOMBRE		FECHA	TÍTULO:	
PROYEC.	CHAVEZ SOPLA ENER.LANDER		DIAFRAGMA	
VERIF.				
APROB.		MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
FABR.		ACERO ASTM-A709 GR 50	D-01	
CALID.		PESO:	ESCALA: 1:50	HORA 1 DE 1



ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
PROYEC.	CHAVEZ SOPLA ENER LANDER			DIAGONALES	
VERIF.					
APROB.		MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	D-01	
FABR.		ACERO ASTM-A709 GR 50			
CALID.		PESO:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1	

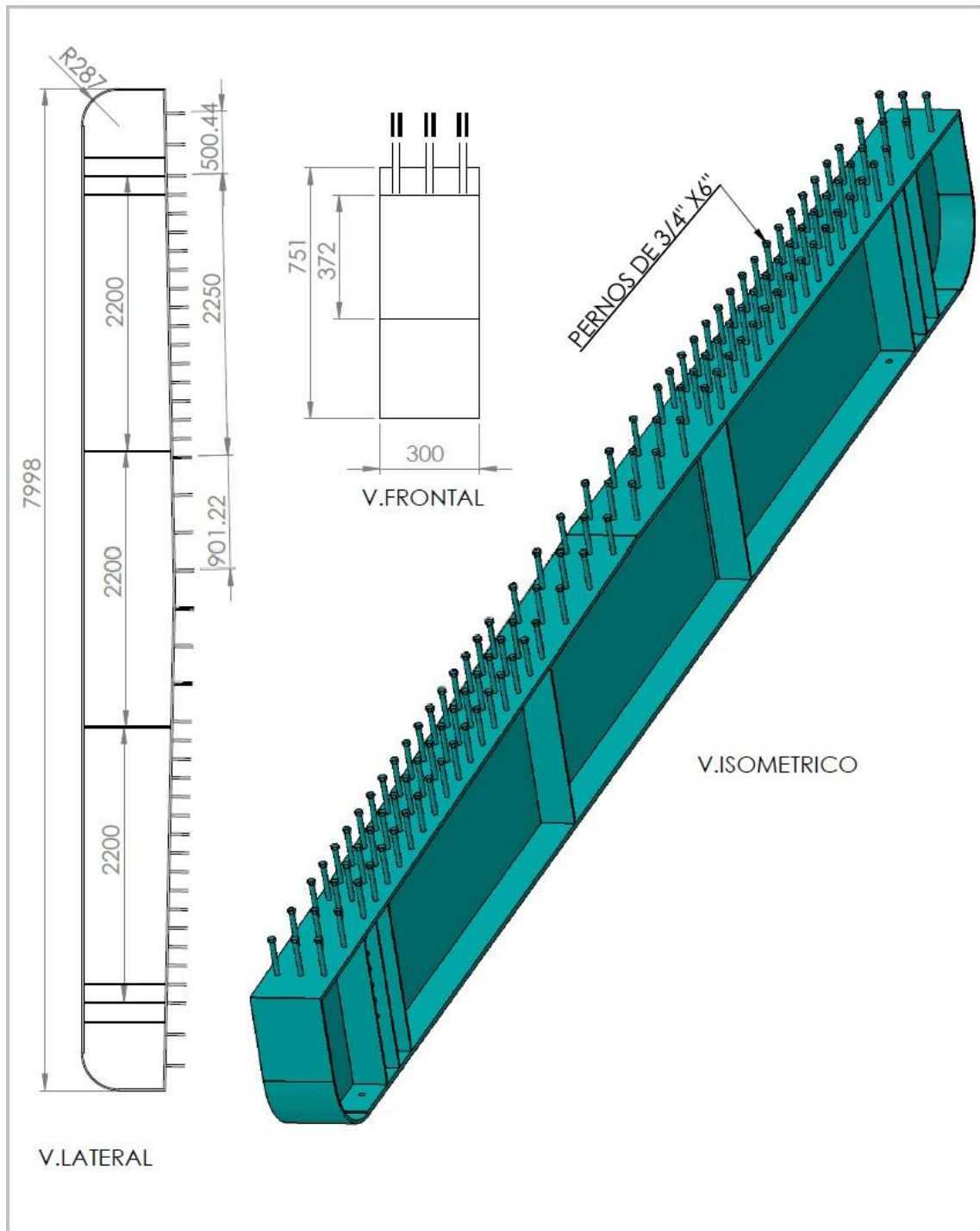


Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANT/UND
1	ALETA BASE DE VIGA LONGITUDINAL		
2	ALMA DE VIGA LONGITUDINAL		
3	ALETA SUPERIOR DE VIGA LONGITUDINAL		

V. PLANTA

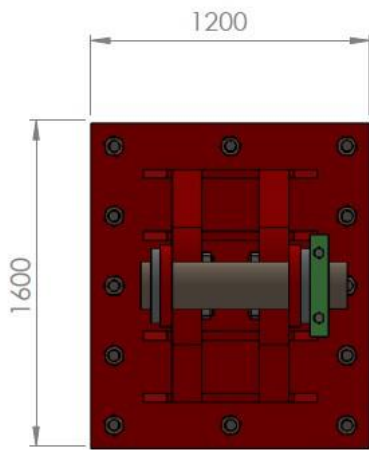
ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

PROYEC.	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	CHÁVEZ SOPLA ENER LANDER		VIGA LONGITUDINAL	
APROB.			N.º DE DIBUJO	A4
FABR.	MATERIAL:		D-01	
CALID.	ACERO ASTM-A709 GR 50			
	PESO:	ESCALA: 1:50		HOJA 1 DE 1

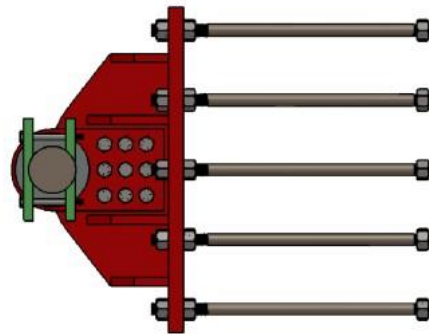


ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTVOLTAICA SOBRE EL RÍO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

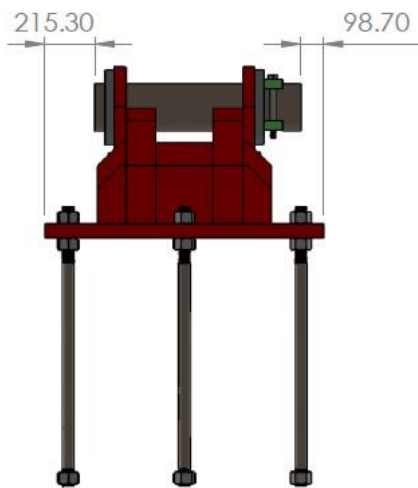
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
PROYEC.	CHÁVEZ SOPLA ENER LANDER		VIGA PRINCIPAL	
VERIF.			N.º DE DIBUJO	A4
APROB.		MATERIAL:	D-02	
FABR.		ACERO ASTM-		
CALID.		A709 GR 50		
	PESO:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1	



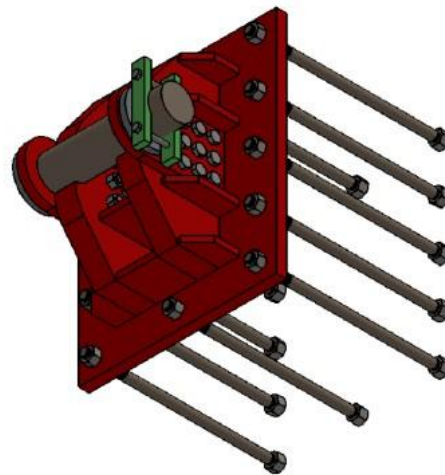
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



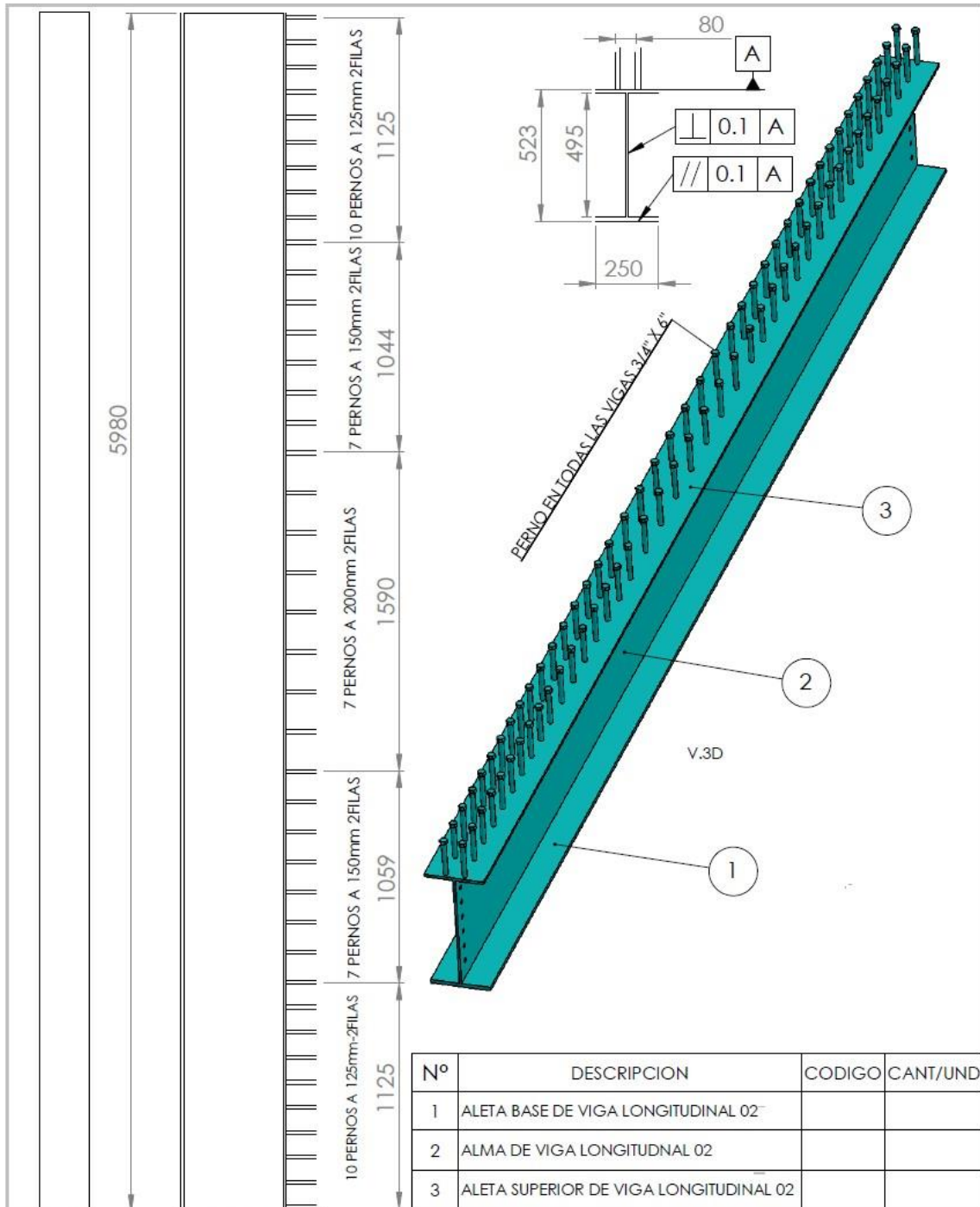
VISTA FRONTAL



V.ISOMETRICO

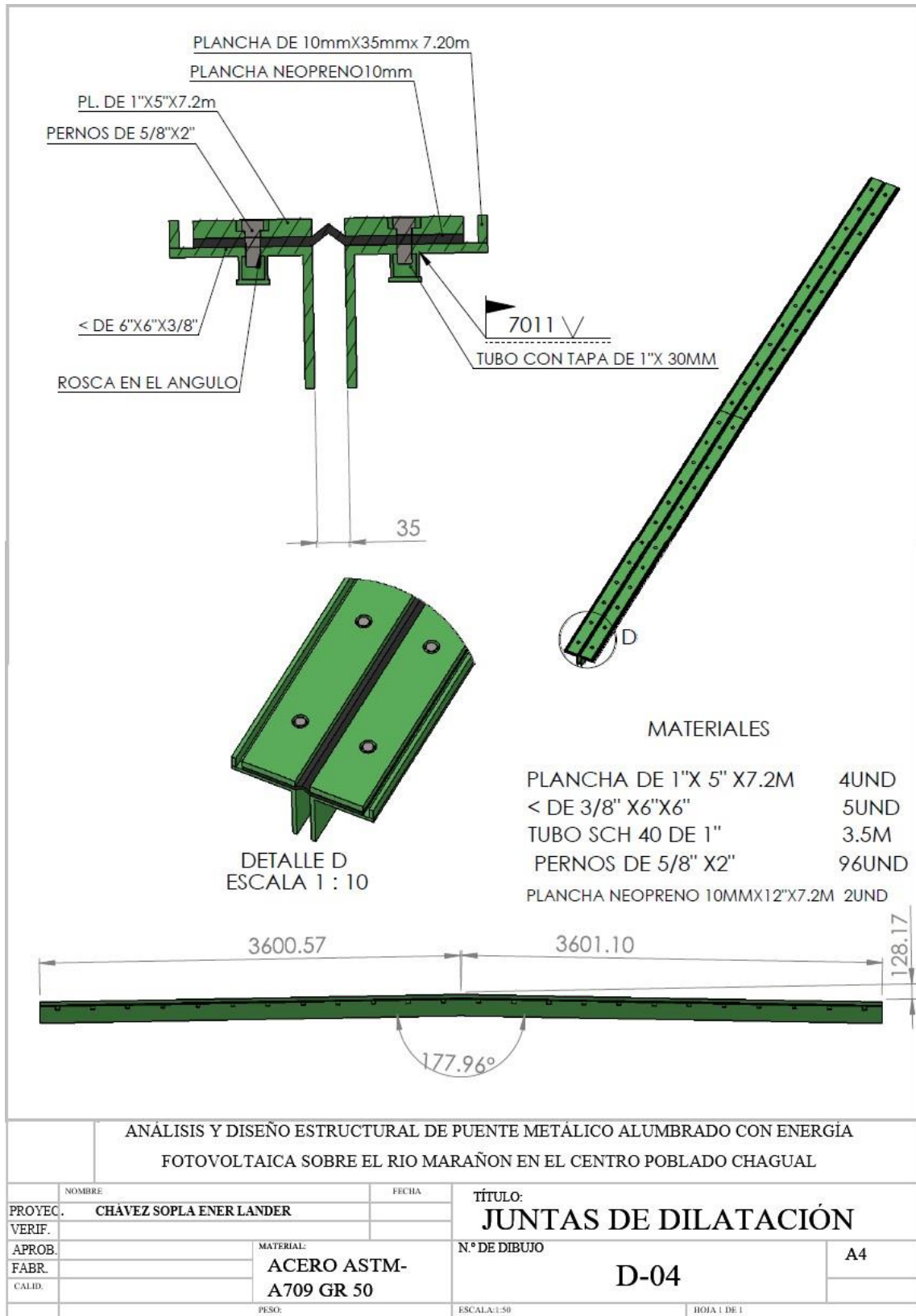
ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
PROYEC. CHÁVEZ SOPLA ENER LANDER		VISTA DE DETALLE	
VERIF.		N.º DE DIBUJO	A4
APROB.	MATERIAL:	D-03	
FABR.	ACERO ASTM-		
CALID.	A709 GR 50		
PESO:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1	



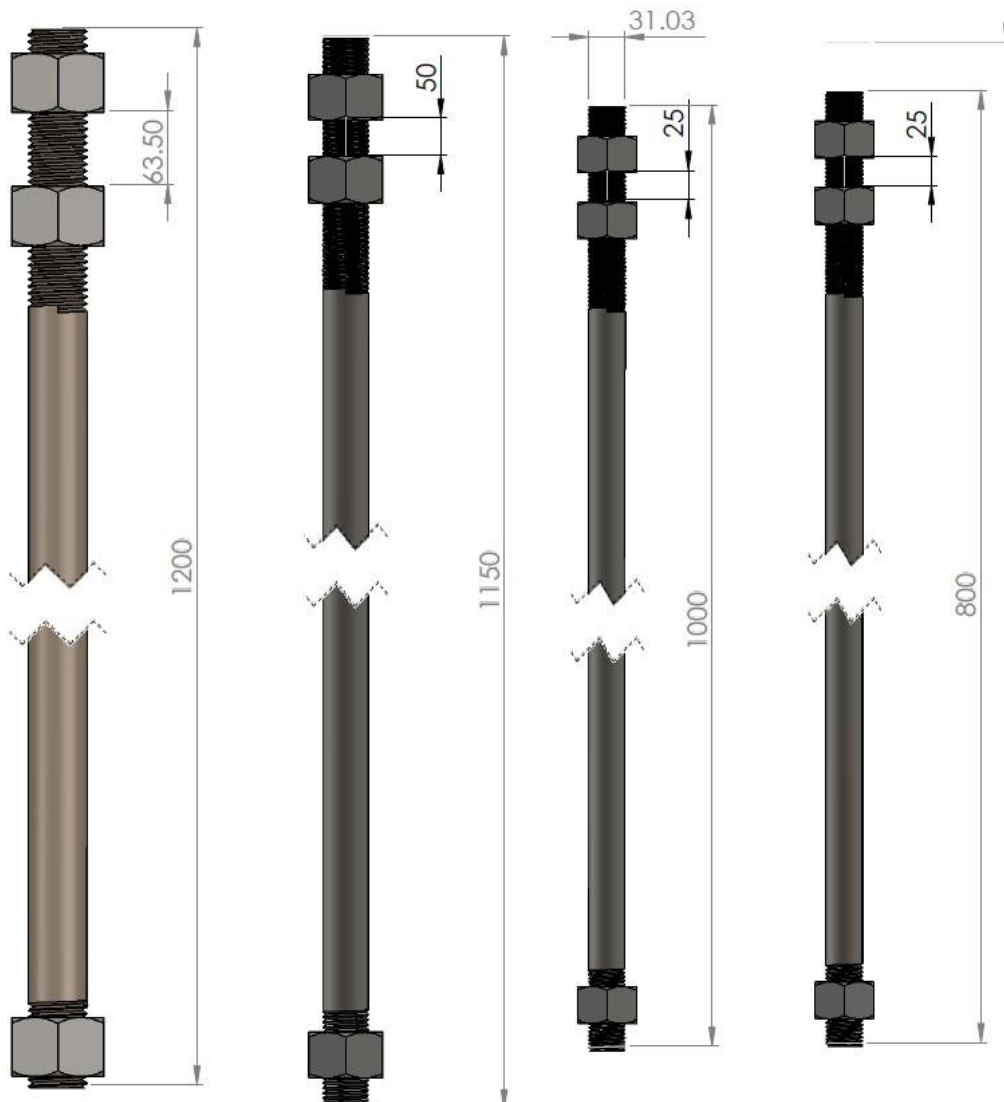
Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANT/UND
1	ALETA BASE DE VIGA LONGITUDINAL 02		
2	ALMA DE VIGA LONGITUDNAL 02		
3	ALETA SUPERIOR DE VIGA LONGITUDINAL 02		

V. PLANTA		V. FRONTAL	
ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL			
NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
PROYEC. CHÁVEZ SOPLA ENER LANDER		VIGA TRANSVERSAL	
VERIF.		Nº DE DIBUJO	A4
APROB.	MATERIAL:	D-04	
FABR.	ACERO ASTM-A709 GR 50		
CALIB.	PESO:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1



ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
PROYEC. CHÁVEZ SOPLA ENER LANDER		JUNTAS DE DILATACIÓN	
VERIF.		N° DE DIBUJO	A4
APROB.	MATERIAL:	D-04	
FABR.	ACERO ASTM-A709 GR 50		
CALID.	PESO:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1



PERNO ESPARRAGO
2" X 1.2m
EN BASE DE ARCO

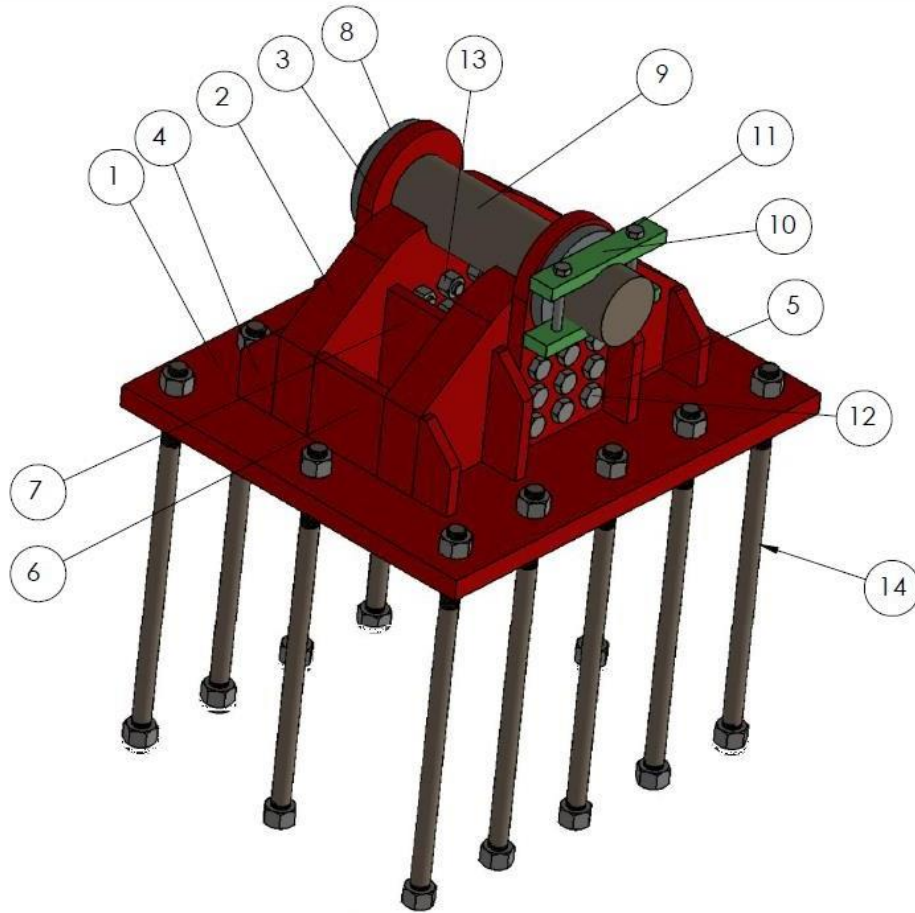
PERNO ESPARRAGO
1.5" X 1.15M
EN BASE DE COLUMNA

PERNO ESPARRAGO
1.-1/4" X 1.00m
EN DIAGONALES -ARCO

PERNO ESPARRAGO
1.1/4" X 0.8m
EN ESTRIBOY VAI

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA
FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑÓN EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
PROYEC.	CHAVEZ SOPLA ENER LANDER			ANCLAJES	
VERIF.					
APROB.		MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		A4
FABR.		ACERO ASTM-	D-05		
CALID.		A709 GR 50			
PESO:			ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1	



N.º DE ELEMENTO	MATERIALES	CANTIDAD
1	Placa base de arco 1.4x1.2x2.5p	1
2	Soporte de eje 1m x 0.5m x 4p	2
3	Placa guía de eje 350 x 675 x 2p	2
4	Cartela 122.6x250x1.5p	4
5	Cartela 122.6x350x1.5p	4
6	Placa cuad.250x1.5p	2
7	Placa 250x350x1.5p	2
8	Anillo de eje	2
9	Eje en articulacion de arco	1
10	Chaveta	2
11	HHBOIT 1-8x10x1.75-S	2
12	HHSBOIT 1.5-6x9x2.25-C	18
13	HHFNUT 1.5-6-N	18
14	Perno de anclaje.	11

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE METÁLICO ALUMBRADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA SOBRE EL RIO MARAÑON EN EL CENTRO POBLADO CHAGUAL

NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
PROYEC.	CHÁVEZ SOPLA ENER LANDER			DETALLE - BASE	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	A4
APROB.		MATERIAL:	D-06		
FABR.		ACERO ASTM-			
CALID.		A709 GR 50			
PESO:		ESCALA: 1:50		HOJA 1 DE 1	

ANEXO 8. NORMAS TÉCNICAS



Resolución Directoral

No 19-2018-MTC/14
Lima, 20 de diciembre del 2018.

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 16° de la Ley No 27181-Ley General del Transporte y Tránsito Terrestre establece que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es el órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, teniendo, entre otras, competencias normativas;

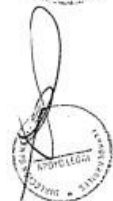
Que, en ese marco, el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado por Decreto Supremo No 034-2008-MTC, ha señalado en el Numeral 4.1 de su artículo 4°, que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial, fiscalizar su cumplimiento e interpretar las normas técnicas contenidas en dicho reglamento. Asimismo; su artículo 19°, en concordancia con la Primera Disposición Complementaria Final de la misma norma, señala que este Ministerio, a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, elabora, actualiza y aprueba los manuales para la gestión de la infraestructura vial;

Que, el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, ha previsto en su artículo 18°, que los manuales son documentos de carácter normativo y de cumplimiento obligatorio, que sirven como instrumentos técnicos a las diferentes fases de gestión de la infraestructura vial;

Que, en la relación de manuales consignados en el artículo 20° del mencionado reglamento, se encuentra el Manual de Puentes. Dicho manual, según el artículo 23° de la misma norma, contiene las normas, guías y procedimientos para el diseño y cálculo estructural de puentes, e incluye los estudios de ingeniería básica y planos tipo;

Que, en el marco de las disposiciones de la Ley No 27181, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Ministerial No 589-2003-MTC/02, de fecha 31 de julio del 2003, aprobó el Manual de Diseño de Puentes. Dicha resolución fue publicada en el Diario Oficial "El Peruano", en fecha 02 de agosto del 2003;

Que, con posterioridad a dicha aprobación, la Dirección de Normatividad Vial de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles realizó un proceso de revisión integral del Manual de Diseño de Puentes, a fin de determinar las modificaciones y correcciones que debían efectuarse. Una vez concluido tal proceso, la citada dirección procedió a formular una nueva versión con la denominación de Manual de Puentes;





PRESENTACIÓN

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles es el órgano de línea de ámbito nacional encargada de normar sobre la gestión de la infraestructura de caminos, puentes y ferrocarriles; así como de fiscalizar su cumplimiento.

*El presente **Manual de Puentes** forma parte de los Manuales de Carreteras que establece el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC, y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio, por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.*

La presente norma es una actualización del Manual de Diseño de Puentes aprobado por Resolución Ministerial 589-2003-MTC/02 del 31 de julio de 2003, y del año 2014 Setima Edición, en lo que respecta a la adaptación de las Especificaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO LRFD).

*Las disposiciones del presente Manual deben cumplirse sin modificación alguna, y en lo que respecta al **Capítulo 2.12 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS**, su aplicación debe tener concordancia con las disposiciones del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, EG – vigente.*

Teniendo en consideración que como toda ciencia y técnica, la ingeniería vial se encuentra en permanente cambio e innovación, es necesario que el presente documento sea revisado y actualizado periódicamente por el órgano normativo de la infraestructura vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Lima, enero de 2016



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

1.2 ESTUDIOS DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA

1.2.1 Objetivos

Los objetivos de los estudios son establecer las características hidrológicas de los regímenes de avenidas máximas y extraordinarias y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río que permiten definir los requisitos mínimos del puente y su ubicación óptima en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características particulares de la estructura.

Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes deben permitir establecer lo siguiente:

- *Ubicación óptima del cruce.*
- *Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce.*
- *Comportamiento hidráulico del río en el tramo que comprende el cruce.*
- *Área de flujo a ser confinada por el puente.*
- *Nivel máximo de agua (NMA) en la ubicación del puente.*
- *Nivel mínimo recomendable para el tablero del puente.*
- *Profundidades de socavación general, por contracción y local.*
- *Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación, según el tipo de cimentación.*
- *Obras de protección necesarias.*
- *Previsiones para la construcción del puente.*

Por la compleja geografía física, el Perú tiene ríos de características morfológicas distintas, así se diferencian los ríos de la costa, de los ríos de la sierra, de montaña, de la vertiente oriental de los andes, de la baja amazonia y de la cuenca del lago Titicaca. Muchos de estos ríos transportan en épocas de avenidas grandes cantidades de piedras y lodo, huaycos, otros transportan palizadas y troncos de árboles grandes, lo cual debe ser considerado en la elaboración y cálculos del proyecto.



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

I Clasificación para fines del Diseño Sísmico

Para fines del diseño sísmico de los puentes, el Propietario deberá clasificar el puente en una de las tres categorías siguientes según su importancia:

- *Puentes Críticos,*
- *Puentes Esenciales, u*
- *Otros puentes*

1.1 Puentes Esenciales

Son aquellos puentes que deberían, como mínimo, estar abiertos para vehículos de emergencia o para fines de seguridad y/o defensa inmediatamente después del sismo de diseño, con un periodo de retorno de 1000 años.

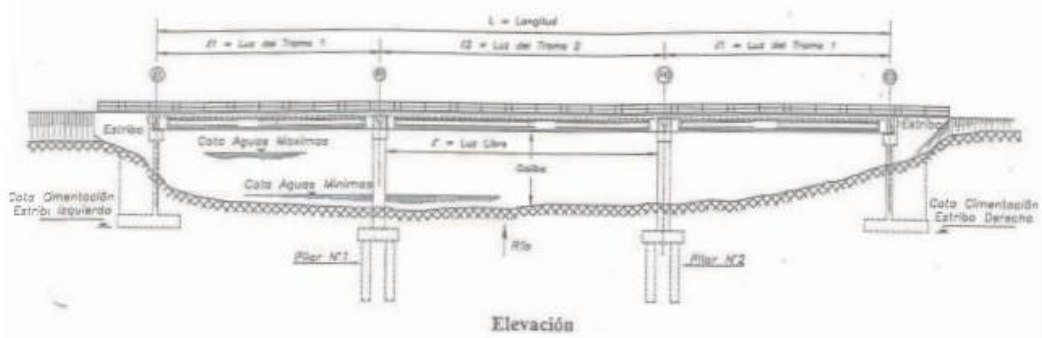
1.2 Puentes Críticos

Son aquellos puentes que deben permanecer abiertos para el tránsito de todo tipo de vehículos y deben poder ser utilizados por vehículos de emergencia o para fines de seguridad y/o defensa inmediatamente después de un sismo con un periodo de retorno de 2500 años.

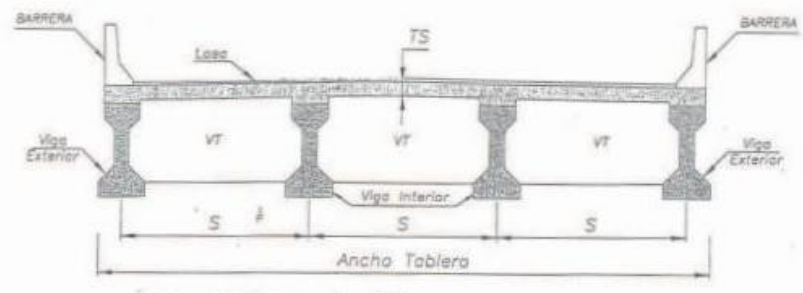
1.3 Otros puentes

Los puentes que no son Críticos ni Esenciales

De acuerdo a esta clasificación se deberá considerar los efectos sísmicos según lo especificado en el Art. 2.4.3.11.6 del Manual de Puentes.

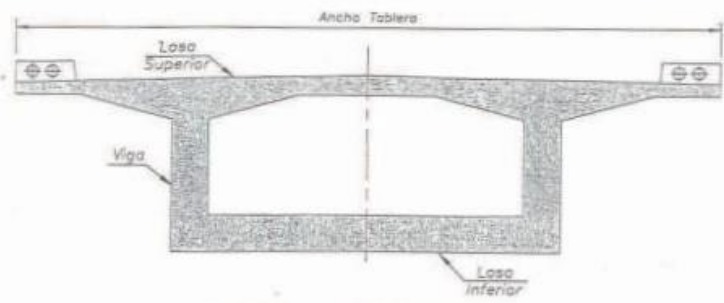


Elevación



VT = Viga Transversal o Diafragma

Sección Transversal : Tablero con Vigas I



Sección Transversal : Viga Cajón

Fig. 1.10-a Puentes Tipo Viga

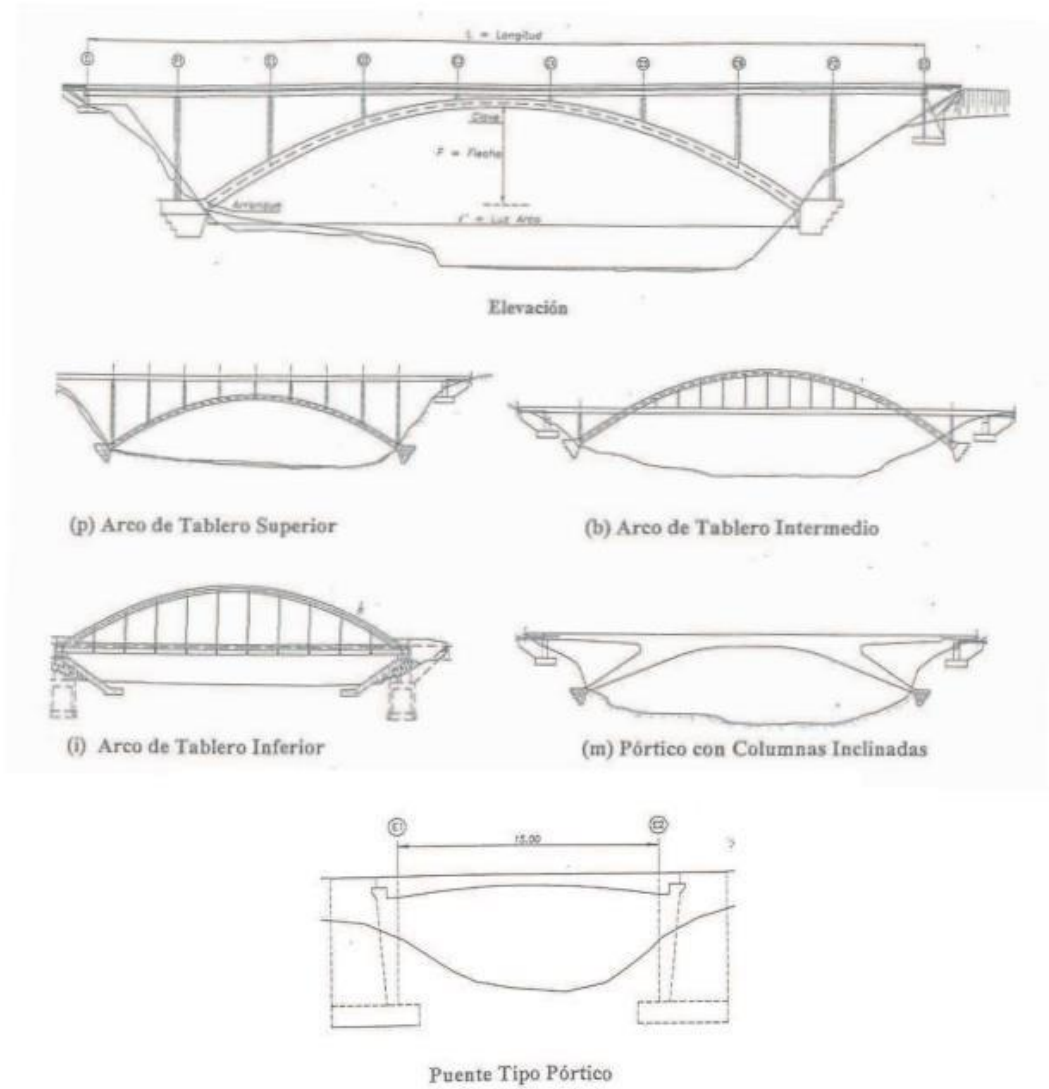


Fig. 1.10-b Puentes Tipo Arco y Portico



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

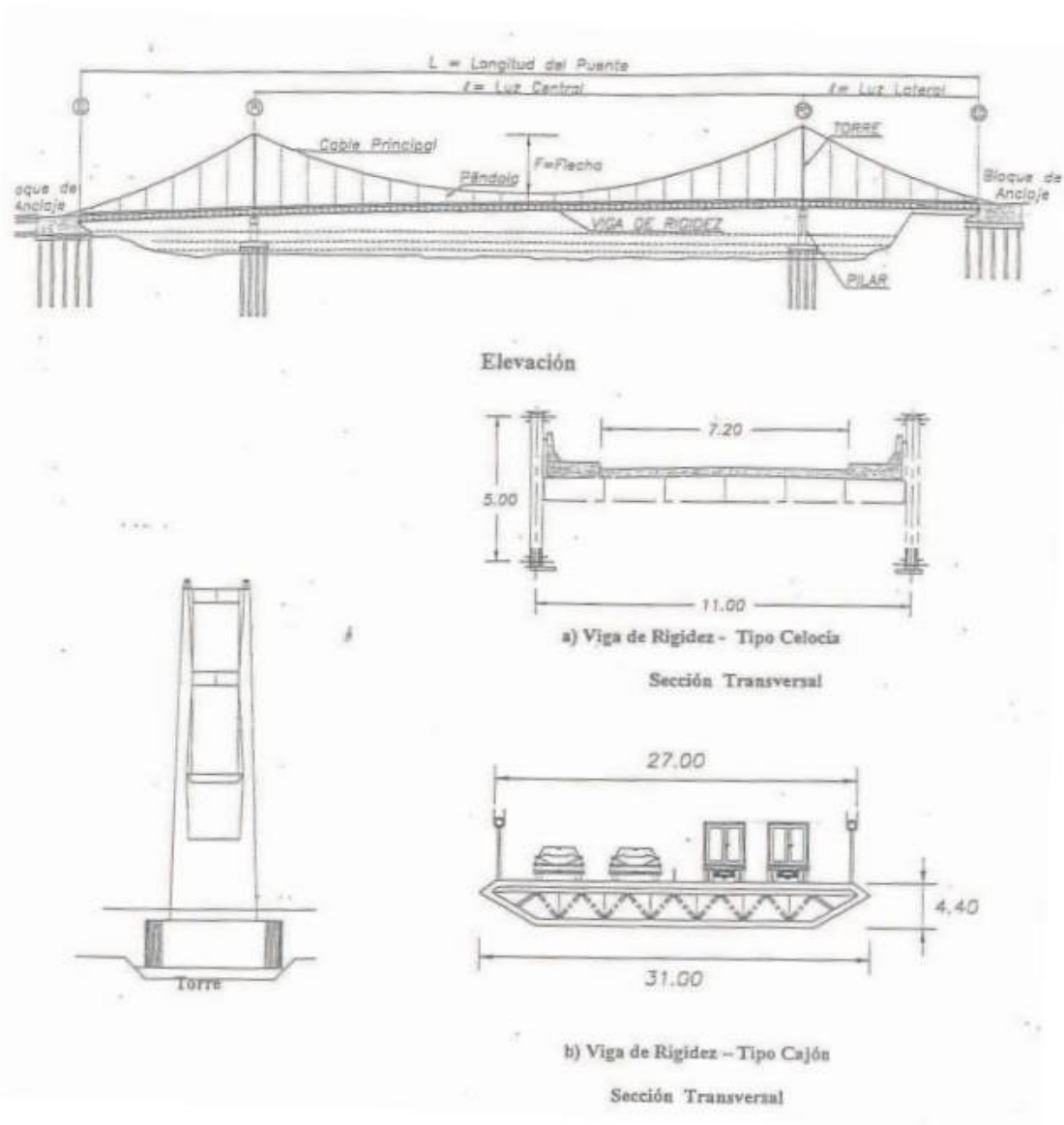


Fig. 1.10-c Puente Colgante

2.1.4.3.3 Gálbos o Alturas Mínimas

(2.3.3 AASHTO)

Los gálbos horizontal y vertical para puentes urbanos serán el ancho y la altura necesarios para el paso, sin obstáculo, del tráfico vehicular y de navegación.

El galibo mínimo en pasos a desnivel sobre un camino, debe ser 5.50 m que es la distancia vertical entre la menor cota de fondo de las vigas de la superestructura y la cota más alta, correspondiente, del pavimento del camino sobre el cual cruza. En casos excepcionales debidamente sustentados y con la autorización del propietario, se podrá reducir a un mínimo de 5.30 mt.

Los gálbos especificados pueden ser incrementados si el asentamiento pre - calculado de la superestructura excede los 2.5 cm. (1.0 in)

En los puentes metálicos reticulados el galibo mínimo debe ser 5.50 mt, distancia vertical medida entre el fondo de las vigas superiores de arriostre y el correspondiente nivel del pavimento del tablero.

El galibo vertical en los puentes peatonales será 0.30 mt (1 ft) más alto que el de los puentes vehiculares.

Ancho libre: El ancho libre está dado por la calzada de la sección transversal del puente. Si la carretera pasa por debajo de un puente los estribos y pilares se ubicarán fuera de las bermas y/o cunetas. De usarse guardavías u otro dispositivo de protección, la cara que da a la carretera estará mínimo a 0.60 mt de las caras de los pilares o estribos a menos que se use una barrera rígida.

Las estructuras diseñadas para cruzar sobre vías ferroviarias deben satisfacer las normas establecidas y habitualmente empleadas por la empresa ferroviaria afectada.

Los puentes construidos sobre vías navegables deben considerar los alturas libres de navegación de esas vías; a falta de información precisa, la distancia libre horizontal podrá ser, por lo menos, dos veces el ancho máximo de las embarcaciones más un metro.

2.1.4.3.3.1 Altura libre sobre el Nivel del agua de los ríos

En los puentes sobre cursos de agua, se debe considerar como mínimo una altura libre de 1.50 m de la parte más baja del fondo de la viga de la superestructura con respecto al nivel máximo de las aguas, NAM, que corresponde al caudal de diseño cuando el río no arrastra palizadas. Para el caso de los ríos que arrastran palizadas y troncos se considerará como mínimo la altura libre de 2.50 mt.

2.1.4.3.4 Dispositivos Básicos de Protección

2.1.4.3.4.1 Barreras de concreto

Las barreras deben ser diseñadas con altura, capacidad resistente y perfil interno adecuados.

En puentes con dos vías de tráfico, puede disponerse de una barrera de mediana magnitud como elemento separador entre las dos vías. En obras urbanas, se admiten barreras especiales, más ligeras y estéticas, pero con la resistencia verificada.

Las barreras serán ubicadas como mínimo a 0.60 metros del borde de una vía y como máximo a 1.20 metros.



	Características de los vehículos	Pequeños automóviles		Camioneta (pi-ckups)	Camión semi-remolque	Camión con remolque		Camión cisterna
COMBINACION AASHTO	W (kips)	2.42	3.3	5.0	22.0	N/A	79.3	79.3
	B (ft)	5.5	5.5	6.5	7.5	N/A	8.0	8.0
	G (in.)	N/A	N/A	28	63	N/A	73	81
	Angulo de Impacto	25°	N/A	25°	15°	N/A	15°	15°
	Nivel de ensayo	Velocidades de ensayo (mph)						
	TL-1	30	N/A	30	N/A	N/A	N/A	N/A
	TL-2	45	N/A	45	N/A	N/A	N/A	N/A
	TL-3	60	N/A	60	N/A	N/A	N/A	N/A
	TL-4	60	N/A	60	55	N/A	N/A	N/A
	TL-5	60	N/A	60	N/A	N/A	50	N/A
TL-6	60	N/A	60	N/A	N/A	N/A	50	

Tabla 2.1.4.3.4.2-1 Niveles de ensayo para las barandas de puentes y criterios para los ensayos de choque. (13.7.2-1.AASHTO)

	Características de los vehículos	Pequeños automóviles		Camioneta (pi-ckups)	Camión semi-remolque	Camión con remolque		Camión cisterna
NCHRP Reporte 350	W (kips)	1.55	1.8	4.5	18.0	50.0	80.0	80.0
	B (ft)	5.5	5.5	6.5	7.5	8.0	8.0	8.0
	G (in.)	22	22	27	49	64	73	81
	Angulo de Impacto	20°	20°	25°	15°	15°	15°	15°
	Nivel de ensayo	Velocidades de ensayo (mph)						
	TL-1	30	30	30	N/A	N/A	N/A	N/A
	TL-2	45	45	45	N/A	N/A	N/A	N/A
	TL-3	60	60	60	N/A	N/A	N/A	N/A
	TL-4	60	60	60	50	N/A	N/A	N/A
	TL-5	60	60	60	N/A	N/A	50	N/A
TL-6	60	60	60	N/A	N/A	N/A	50	

2.1.4.3.4.2.4.2 Sobrecargas de Diseño

(13.8.2 AASHTO)

La sobrecarga de diseño para las barandas para peatones se deberá tomar como $w = 0.050 \text{ klf}$ ($0,73 \text{ N/mm}$), tanto transversal como verticalmente, actuando en forma simultánea. Además, cada elemento longitudinal deberá estar diseñado para una carga concentrada de 0.20 kips (890 N), la cual deberá actuar simultáneamente con las cargas previamente indicadas en cualquier punto y en cualquier dirección en la parte superior del elemento longitudinal.

Los postes de las barandas para peatones se deberán diseñar para una sobrecarga concentrada de diseño aplicada transversalmente en el centro de gravedad del elemento longitudinal superior o bien, en el caso de las barandas cuya altura total es mayor que 5.0 ft (1500 mm), en un punto ubicado 5.0 ft (1500 mm) por encima de la superficie superior de la acera. El valor de la sobrecarga concentrada de diseño para los postes, P_{LL} , en kips, se deberá tomar como:

$$P_{LL} = 0.20 + 0.050L$$

2.1.4.3.4.2.4.2-1 (13.8.2-1 AASHTO)

Donde:

L = espaciamiento entre postes (ft)

La carga de diseño para el tipo enlace de cadena o de valla metálica deberá ser igual a 0.015 ksf ($7.2 \times 10^{-4} \text{ MPa}$) actuando de forma normal a la totalidad de la superficie.

Las cargas se deberán aplicar como se ilustra en la Figura 2.1.4.3.4.2.4.2-1 (13.8.2-1 AASHTO), en la cual las geometrías de los elementos de las barandas sirven apenas a título ilustrativo. Se pueden utilizar cualesquiera de los materiales o combinaciones de materiales a los que se les debe aplicar las especificaciones del Artículo 2.5, 2.9.2 (sección 5: Estructuras de Concreto; Sección 6: Estructuras de acero y Sección 8: Estructuras de madera), a no ser que sean modificadas.

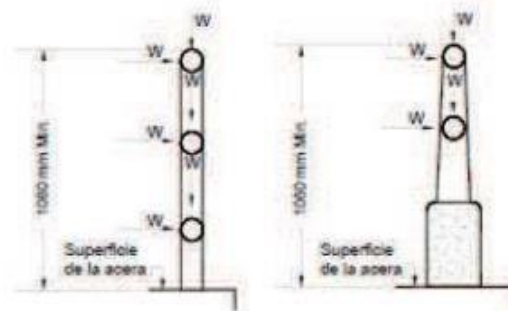


Figura 2.1.4.3.4.2.4.2-1 Cargas que actúan sobre las barandas para peatones. Baranda a utilizar en el borde exterior de una acera cuando el tráfico vehicular está separado del tráfico peatonal mediante una baranda para tráfico vehicular. Las geometrías de las barandas son simplemente ilustrativas (Fig. 13.8.2-1 AASHTO)

2.3.2.2 Estados Límite

(1.3.2 AASHTO)

2.3.2.2.1 Requisitos Generales

(1.3.2.1 AASHTO)

Las componentes y conexiones deberán satisfacer la ecuación 2.3.2.2.1-1 para cada estado límite a menos que se especifique otra cosa.

Para el estado límite de servicio y el estado límite de evento extremo, los factores de resistencia serán tomados como 1.0 excepto para pernos, para los cuales se aplicará los requerimientos del artículo 2.9.4.5 (6.5.5 AASHTO) y para las columnas de concreto según la zona sísmica se aplicará los requerimientos de los artículos 2.6.5.5.3 y 2.6.5.5.4.1b (5.10.11.3 y 5.10.11.4.1.b AASHTO) Todos los estados límite serán considerados de igual importancia.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad 2.3.2.2.1-1 \quad (1.3.2.1-1 \text{ AASHTO})$$

Para cargas para las cuales un valor máximo de γ_i es apropiado:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95 \quad 2.3.2.2.1-2 \quad (1.3.2.1-2 \text{ AASHTO})$$

Para cargas para las cuales un valor mínimo de γ_i es apropiado:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1.0 \quad 3.2.2.1-3 \quad (1.3.2.1-3 \text{ AASHTO})$$

Dónde:

γ_i = Factor de carga: multiplicador de base estadística que se aplica a las solicitaciones

ϕ = Factor de resistencia: multiplicador de base estadística que se aplica a la resistencia nominal, según lo especificado en el artículo 2.7.1.1.4.2a; 2.9.4.4.2.

η_i = Factor de modificación de las cargas: factor relacionado con la ductilidad, redundancia e importancia operativa

η_D = Factor relacionado con la ductilidad, según lo especificado en el Artículo 2.3.2.3 (1.3.3 AASHTO)

η_R = Factor relacionado con la redundancia, según lo especificado en el Artículo 2.3.2.4 (1.3.4 AASHTO)

η_I = Factor relacionado con la importancia operativa según lo especificado en el Artículo 2.3.2.5 (1.3.5 AASHTO)

Q_i = Efectos de fuerza (solicitaciones).

R_n = Resistencia nominal.

R_r = Resistencia factorada: ϕR_n

2.3.2.5 Importancia Operativa

(1.3.5 AASHTO)

Este artículo será aplicado solamente a los Estados Límite de Resistencia y Evento Extremo.

El propietario puede declarar si un puente, una conexión o una componente estructural tienen importancia operativa

Para el estado límite de resistencia:

$$\begin{aligned}\eta_R &\geq 1.05 \text{ para puentes críticos o esenciales} \\ &= 1.00 \text{ para puentes típicos} \\ &\geq 0.95 \text{ para puentes de relativa menor importancia}\end{aligned}$$

Para los demás estados límites:

$$\eta_I = 1.00$$

La clasificación operativa del puente será efectuada por el personal responsable de la red vial afectada y conector de sus necesidades operativas. La definición de la prioridad operativa puede diferir de propietario a propietario y de red a red. Los lineamientos para clasificar los puentes como críticos o esenciales son:

Críticos:

Puentes que requieren ser abiertos a todo tráfico una vez que han sido inspeccionados después del evento de diseño, y son utilizables por vehículos de emergencia, y para fines de seguridad, defensa, económicos, o propósitos de seguridad secundaria inmediatamente después del evento de diseño.

Esenciales:

Puentes que deben como mínimo ser abiertos para el tránsito de vehículos de emergencia y para fines de seguridad, defensa, o propósitos económicos después del evento de diseño y abiertos a todo tráfico dentro de los días siguientes de ese evento

En el artículo 2.4.3.11.4 (3.10.5 AASHTO) se especifican tres clasificaciones operativas respecto del diseño sismo resistente: Puentes críticos, Puentes esenciales u otros puentes. Los clasificados como críticos o esenciales deberán ser considerados como de importancia operativa.

2.4.3.2.2 Diseño con Cargas Vivas de Vehículos

(3.6.1.2 AASHTO)

2.4.3.2.2.1 Generalidades

(3.6.1.2.1 AASHTO)

La carga viva correspondiente a cada vía será la suma de:

- Camión de diseño, según 2.4.3.2.2.2 (3.6.1.2.2 AASHTO) ó tándem, según 2.4.3.2.2.3 (3.6.1.2.3 AASHTO) tomándose aquello que produzca en cada caso los efectos más desfavorables.
- Sobrecarga distribuida (2.4.3.2.2.4) (3.6.1.2.4 AASHTO)

Para el estado límite de fatiga sólo se considerará la carga correspondiente al camión de diseño, según se indica en 2.4.3.2.4 (3.6.1.4 AASHTO)

Para el cómputo de deflexiones se tomará el mayor de los resultados obtenidos con el camión de diseño solo, o con la suma de la sobrecarga distribuida más 25% del camión de diseño. (3.6.1.3.2 AASHTO)

2.4.3.2.2.2 Camión de Diseño

(3.6.1.2.2 AASHTO)

Las cargas por eje y los espaciamientos entre ejes serán los indicados en la (Figura 2.4.3.2.2.2-1), la distancia entre los dos ejes de 32 kips (14.55 t) será tomada como aquella que, estando entre los límites de 14.0 ft (4.27 m) y 30.0 ft (9.14 m), resulta en los mayores efectos.

Las cargas del camión de diseño deberán incrementarse por efectos dinámicos en los casos indicados en artículo 2.4.3.3 (3.6.2 AASHTO).

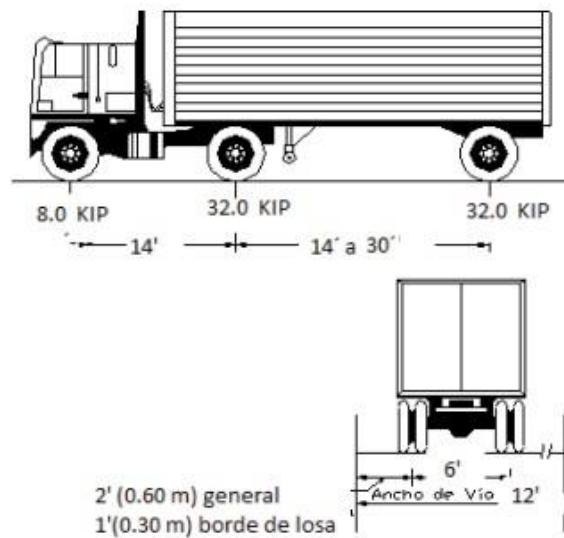


Figura 2.4.3.2.2.2-1. Características del Camión de Diseño

2.4.3.2.2.6 Presencia múltiple de sobrecargas

(3.6.1.1.2 AASHTO)

Los requisitos de este artículo no se aplicarán al estado límite de fatiga para el cual se utiliza un camión de diseño, independientemente del número de carriles de diseño. Si en lugar de emplear la ley de momentos y el método estático se utilizan los factores de distribución aproximados para carril único de los Artículos 2.6.4.2.2 (4.6.2.2 AASHTO) y 2.6.4.2.1 (4.6.2.3 AASHTO), las solicitaciones se deberán dividir por 1,20.

A menos que en este documento se especifique lo contrario, la solicitación extrema correspondiente a sobrecarga se deberá determinar considerando cada una de las posibles combinaciones de número de carriles cargados, multiplicando por un factor de presencia múltiple correspondiente para tomar en cuenta la probabilidad de que los carriles estén ocupados simultáneamente por la totalidad de la sobrecarga de diseño HL93. En ausencia de datos específicos del sitio, los valores de la Tabla 2.4.3.2.2.6-1, (3.6.1.1.2-1 AASHTO)

- Se deberán utilizar al investigar el efecto de un carril cargado,
- Se podrán utilizar al investigar el efecto de tres o más carriles cargados.

A los fines de determinar el número de carriles cuando la condición de carga incluye las cargas peatonales especificadas en el Artículo 2.4.3.7 (3.6.1.6 AASHTO) combinadas con

Tabla 2.4.3.2.2.6-1

(3.6.1.1.2-1 AASHTO)

Número de Vías Cargadas	Factor Presencia múltiple, <i>m</i>
1	1,20
2	1,00
3	0,85
4 ó más	0,65

2.4.3.2.3 Aplicación de las Cargas Vivas Vehiculares

(3.6.1.3 AASHTO)

2.4.3.2.3.1 Generalidades

(3.6.1.3.1 AASHTO)

Posición de las Cargas en Dirección Longitudinal

En la dirección longitudinal, el puente será cargado en forma continua o discontinua según resulte más crítico para el efecto en estudio, considerando los siguientes casos:

- Tándem de diseño más carga distribuida.
- Camión de diseño más carga distribuida. La distancia entre los ejes de 32.0 kips (14,55 t), ver artículo 2.4.3.2.2.2, será aquella que produzca el efecto más desfavorable en cada caso.

Tanto para momento negativo entre puntos de contraflexión bajo una carga uniforme en todos los tramos como para reacción en pilas interiores solamente, 90 por ciento de la solicitación debida a dos camiones de diseño separados como mínimo 50.0 ft (15.00 m) entre el último eje del primer camión hasta el eje delantero del camión que le sigue, combinada con 90 por ciento de la solicitación debida a la carga del carril de diseño (carga distribuida). La distancia entre los ejes de 32.0 kip (14.55 t) de cada camión se deberá tomar como 14.0 ft (4.27 m). Los dos camiones de diseño serán colocados en tramos adyacentes para producir los máximos esfuerzos

2.4.3.2.4.3.b Métodos Aproximados

(3.6.1.4.3.b AASHTO)

Si el puente se analiza utilizando una distribución de cargas aproximada, como se especifica en el Artículo 2.6.4.2 (4.6.2 AASHTO), se deberá utilizar el factor de distribución para un carril de circulación.

2.4.3.3 Carga Dinámica Permitida: IM

(3.6.2 AASHTO)

2.4.3.3.1 Requisitos Generales

(3.6.2.1 AASHTO)

A menos que los Artículos 2.4.3.3.2 y 2.4.3.3.3 (3.6.2.2 y 3.6.2.3 AASHTO) permitan lo contrario, los efectos estáticos del camión o tandem de diseño, a excepción de las fuerzas centrífugas y de frenado, se deberán mayorar aplicando los porcentajes indicados en la Tabla 2.4.3.3.-1, incremento por carga dinámica.

El factor a aplicar a la carga estática se deberá tomar como: $(1 + IM/100)$.

El incremento por carga dinámica no se aplicará a las cargas peatonales ni a la carga del carril de diseño (carga uniformemente repartida)

Tabla 2.4.3.3-1 Incremento de la Carga Viva por Efectos Dinámicos (IM)

(3.6.2.1-1 AASHTO)

Componente	Porcentaje (IM)
Elementos de unión en el tablero (para todos los estados límite)	75%
Para otros elementos	
• Estados límite de fatiga y fractura	15%
• Otros estados límite	33%

La aplicación del incremento por carga dinámica para componentes enterrados, será como se especifica en el Artículo 2.4.3.3.1 (3.6.2.2 AASHTO). No es necesario aplicar el incremento por carga dinámica a:

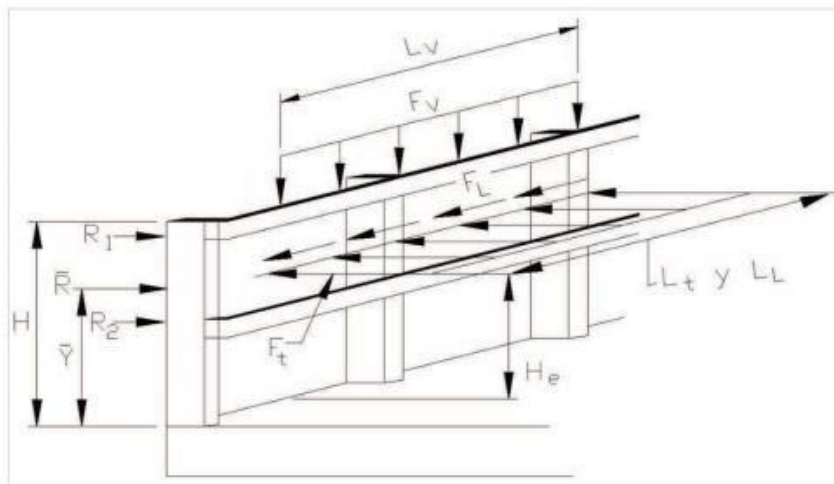
- Muros de sostenimiento no solicitados por reacciones verticales de la superestructura, y
- Componentes de las fundaciones que están completamente por debajo del nivel del terreno.

El incremento por carga dinámica se puede reducir para algunos componentes, excepto las juntas, si hay evidencia suficiente que justifique esta reducción, respetando los requisitos del Artículo 2.4.3.3.4 (4.7.2.1. AASHTO)

Tabla 2.4.3.6.3.-1 Fuerzas de diseño para barandas

(Tabla A13.2-1 AASHTO)

Fuerzas de diseño y simbología	Niveles de ensayo para baranda					
	TL-1	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5	TL-6
Transversal F_t (kips)	13.5	27.0	54.0	54.0	124.0	175.0
Longitudinal F_L (kips)	4.5	9.0	18.0	18.0	41.0	58.0
Vertical descendente F_v (kips)	4.5	4.5	4.5	18.0	80.0	80.0
L_t y L_L (ft)	4.0	4.0	4.0	3.5	8.0	8.0
L_v (ft)	18.0	18.0	18.0	18.0	40.0	40.0
H_e (mín.) (in)	18.0	20.0	24.0	32.0	42.0	56.0
Minima altura del riel H (in)	27.0	27.0	27.0	32.0	42.0	90.0



2.4.3.8.3.2 En Dirección Lateral

(3.7.3.2- AASHTO)

La presión lateral uniformemente distribuida que actúa sobre una subestructura debido a un caudal de agua que fluye formando un ángulo θ respecto del eje longitudinal de la pila se deberá tomar como:

$$P = \frac{C_L V^2}{1,000} \quad 2.4.3.8.3.2-1 \quad (3.7.3.2-1 \text{ AASHTO})$$

Donde:

P = presión lateral (ksf)

C_L = coeficiente de arrastre lateral Tabla 2.4.3.8.3.2-1

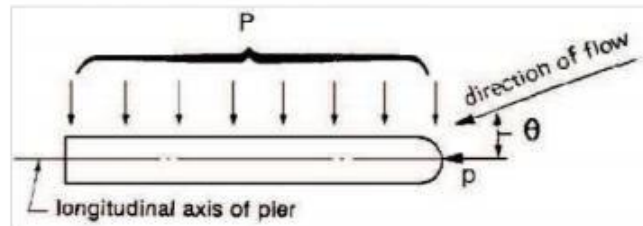


Figura 2.4.3.8.3.2-1 Vista en planta de un pilar con indicación de la presión de flujo del curso de agua

(3.7.3.2-1 AASHTO)

Tabla 2.4.3.8.3.2-1 Coeficiente de arrastre lateral

(3.7.3.2-1 AASHTO)

Ángulo, θ , entre la dirección del flujo y el eje longitudinal de la pila C_L	C_L
0 grados	0.0
5 grados	0.5
10 grados	0.7
20 grados	0.9
≥ 30 grados	1.0

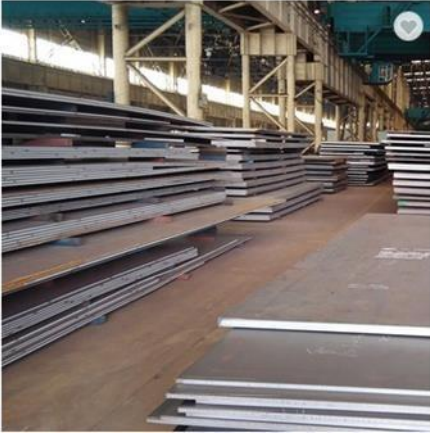


Limitaciones en los espesores relativos a formas y grupos laminadas deberá cumplir AASHTO M160M / M160 (ASTM A6 / A6M).

Tabla 2.5.3.1-1 Propiedades Mecánicas Mínimas de Aceros Estructurales según su forma, resistencia y espesor (6.4.1-1 AASHTO)

Denominación AASHTO	M 270M/	M 270M/	M 270M/	M 270M/	M 270M/	M 270M/	M 270M/	
	M 270	M 270	M 270	M 270	M 270	M 270	M 270	
	Grado 36	Grado 50	Grado 50S	Grado 50W	Grado HPS 50W	Grado HPS 70W	Grado HPS 100W	
Denominación equivalente en ASTM	A709/	A709/	A709/	A709/	A709/	A709/	A709/	
	A709M	A709M	A709M	A709M	A709M	A709M	A709M	
	Grado 36	Grado 50	Grado 50S	Grado 50W	Grado HPS 50W	Grado HPS 70W	Grado HPS 100W	
Espesor de las placas en in (mm)	Hasta 4.0 incl. (100 mm)	Hasta 4.0 incl. (100 mm)	No Aplicable	Hasta 4.0 incl. (100 mm)	Hasta 4.0 incl. (100 mm)	Hasta 4.0 incl. (100 mm)	Hasta 2.5 incl. (65 mm)	Mas 2.5 hasta 4.0 incl. (65 mm a 100 mm)
Forma	Todos los grupos	Todos los grupos	Todos los grupos	Todos los grupos	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable
Resistencia a la tracción mínima F _u , ksi (kg/cm ²)	58 ksi	65 ksi	65 ksi	70 ksi	70 ksi	85 ksi	110 ksi	100 ksi
	4000 kg/cm ²	4600 kg/cm ²	4600 kg/cm ²	4950 kg/cm ²	4950 kg/cm ²	6000 kg/cm ²	7750 kg/cm ²	7050 kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia mínimo o resistencia a la fluencia mínima fy, ksi	36 ksi	50 ksi	50 ksi	50 ksi	50 ksi	70 ksi	100 ksi	90 ksi
	2500 kg/cm ²	3500 kg/cm ²	3500 kg/cm ²	3500 kg/cm ²	3500 kg/cm ²	4950 kg/cm ²	7050 kg/cm ²	6340 kg/cm ²

ANEXO 9. COSTO DEL ACERO ASTM A709 GR 50 E ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA



Laminado en caliente astm a709 grado 50 placa de acero a709 gr.50 corten chapa de acero con precio bajo



FOB Referencia Precio: [Consigna El Último Precio](#)

USD 800.00 -USD 1550.00 / Tonelada | 1 Tonelada/s (Pedido mínimo)

Grosor:

Lead Time:	Cantidad(Tonelada/s)	1 - 100	101 - 20000	>20000
	Hora del Est.(días)	7	35	Negociable

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

 SP250-60 Policristalino 250Wp / 30V SOLO SISTEMAS MPPT	Panel fotovoltaico para proyectos grandes con controladores MPPT. No se puede usarlos con controladores PWM. Dependiendo del controlador para sistemas de 12 / 24 o 48VDC. También sistemas de bombeo solar o de inyección a la red con los SMA.		PRECIO: 113 USD	37.80V / 30.50V	8.85A / 8.20A	Poli 60 células con 4 Bushbars Si 1640×992×40 mm	1
---	--	---	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--	----------

PROMART
HOME CENTER
Buscar



Interruptor Termomagnético
78LIMIT/1A

Schneider-Electric SKU: 84261

S/ 49.⁹⁰



controlador de carga para panel solar



Descarga gratis la app de Mercado Libre

Categorías ▾

Historial

Tiendas oficiales

Ofertas de la semana

Vender

Ayuda

Crea tu cuenta

Ingresar

Mis compras

Controlador de carga solar Prostar de Morningstar 15A o 30A en 12V o 24V



S/122


Lima


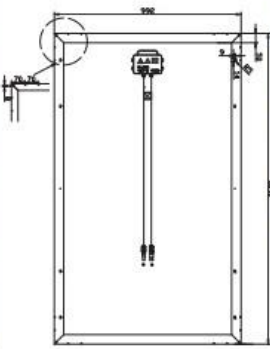
ANEXO 10. ELEMENTOS DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA

Catálogo PROVIENTO SAC

Specification | Photovoltaic Module

SIMAX 156 Solarmodule (SP660-230W-235W-240W-245W-250W)













Mechanical Characteristics	
Solar Cell	Polycrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 (6 x 10)
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	20 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

Output	
Cable Type	Ø = 4 mm ²
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

Temperature Coefficients	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P _{max})	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V _{oc})	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I _{sc})	0.035% / °C

Parameters	SP660-230	SP660-235	SP660-240	SP660-245	SP660-250
Peak power [Wp] P _{mp}	230W	235W	240W	245W	250W
Power Tolerance	0~+3%	0~+/-3%	0~+/-3%	0~+/-3%	0~+/-3%
Module Efficiency (%)	14.3%	14.5%	14.7%	14.9%	15.2%
Open circuit voltage [V] V _{oc}	36.6	37.2	37.2	37.2	37.8
Maximum Power Voltage [V] (V _{mp})	29.5	30.0	30.0	30.0	30.5
Maximum Power Current [A] (I _{mp})	7.80	7.83	8.00	8.17	8.20
Short circuit Current [A] (I _{sc})	8.42	8.46	8.65	8.74	8.85




STC: Irradiance : 1000 W/m²; Spectrum AM 1.5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s

- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥80% in 25 years

Simax Green New Energy (Europa) GmbH
Mergenthaler Allee 23 / 25
65760 Eschborn / Germany
Tel.: +49 6196 9739 525
Fax: +49 6196 5929 684
info@simaxsolar.com
www.simaxsolar.de

Simax (Suzhou) Green New Energy Co.,Ltd
Address: No. 567 Suzhou Road, Taicang city,
Jiangsu province, China
P.C.: 215400
Tel: +86 512 5337 8555
Fax: +86 512 5337 8556
info@simaxsolar.com
www.simaxsolar.com

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd
5/76 Frankston Gardens Drive,
Carrum Downs, VIC 3210
Tel: +61 03 9708 2400
Fax: +61 03 9708 2482
info@simaxsolar.com
www.simaxsolar.com.au



¡ El Nuevo !
PROSTAR™
 CONTROLADOR SOLAR

El controlador solar **ProStar** de Morningstar es el líder mundial en controladores solares de mediano rango, ya sea para aplicaciones profesionales como para el consumidor en general. Esta segunda generación de controladores ProStar ofrece:

- Adiciona nuevas prestaciones y protecciones usando tecnología altamente avanzada
- Proporciona mayor vida útil a la batería y mejora el rendimiento del sistema
- Define nuevos estándares de confiabilidad y genera diagnósticos automáticos

Prestaciones Estándar:

- Versiones disponibles: 15 o 30 amperios
12 / 24 o 48 volts
positivo o negativo a tierra
- Vida útil de 15 años (estimado)
- Carga de baterías mediante PWM (sin derivación)
- Selección del tipo de batería: gel, sellada o con líquido
- Controles y medidas muy precisas
- Puente para eliminar el ruido de telecomunicaciones
- Paralelo para hasta 300 amp
- Compensación de temperatura

- Tropicalización: revestimiento de protección, fijadores de acero inoxidable y disipador de calor de aluminio anodizado
- No es necesario conmutación ni medición en la pierna aterrada
- Componentes de estado sólido, 100%
- Caídas de tensión muy pequeñas
- Desconexión por baja tensión (LVD — Low Voltage Disconnect) con compensación de corriente
- Indicación de status y fallas de batería a través de LED
- Capaz de suportar sobrecargas hasta del 25%
- Terminales remotos con sensores de tensión de batería

Protecciones Electrónicas

- Cortocircuito — paneles solares y carga
- Sobrecarga — paneles solares y carga
- Polaridad invertida
- Corriente invertida por la noche
- Desconexión por alta tensión
- Desconexión por alta temperatura
- Protección contra relámpagos y sobre tensión o transitorios
- Cargas protegidas contra picos de tensión
- Restablecimiento automático de todas las protecciones

Prestaciones Opcionales del ProStar:

- Medidor digital
 - Visor de tensión y voltaje de alta precisión
 - Bajo consumo propio (1 mA)
 - Incluye botón de desconexión manual
 - Muestra 5 funciones de protección y de condiciones de desconexión
 - El auto-diagnóstico (auto-test) provee una prueba completa del ProStar:
 - Muestra 9 diferentes parámetros de estado del controlador, incluyendo la temperatura
 - Muestra las fallas detectadas
- Positivo a Tierra
- Sensor remoto de temperatura

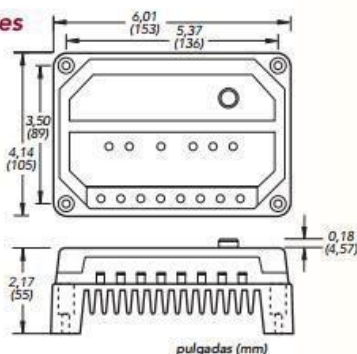
Carga de la batería optimizada:

El ProStar tiene 4 etapas de carga de batería, para proporcionar una mayor capacidad y tiempo de vida útil a la batería.



Especificaciones Mecánicas:

Peso:
0,34 kg
Calibre del cable:
6 AWG
(16 mm²)



Versiones del ProStar:

	PS-15	PS-30	PS15M-48V
Corriente nominal del panel solar	15A	30A	15A
Corriente nominal de carga	15A	30A	15A
Tensión del sistema	12/24V	12/24V	48V
Opciones:			
Medidor digital	si	si	estándar
Tierra positiva	no	si	si
Sensor remoto de temperatura	si	si	si

Puntos de Ajuste de La Batería*

	Gel	Sellada	Con líquido
Tensión de regulación	14,0	14,15	14,4
Flotante	13,7	13,7	13,7
Equalización	n/a	14,35	14,9/15,1
Deconexión de la carga	11,4	11,4	11,4
Reconexión de la carga	12,6	12,6	12,6

Observación: los valores están especificados para 12V.

Use 2X para 24V e 4X para 48V.

Especificaciones Eléctricas:

	12V	24V	48V
Compensación de temperatura (mV/°C)*	-30mV	-60mV	-120mV
Precisión	40mV	60mV	80mV
Minima temperatura de operación	8V	8V	15V
Autoconsumo	22mA	25mA	28mA
Coefficiente de corriente LVD**	-20mV	-40mV	-80mV
Algoritmo de carga	PWM, tensión constante		
Temperatura de operación	-40°C a +60°C		
Visor digital:			
Temperatura de funcionamiento	-30°C a +85°C		
Precisión de la tensión	0,5%		
Precisión de corriente	2,0%		
Autoconsumo	1 mA		

* Referencia 25°C

** por ampere de carga

GARANTÍA: Cinco años de garantía. Contáctese con Morningstar o con un distribuidor autorizado para obtener los términos completos de la garantía.

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:



1098 Washington Crossing Road
Washington Crossing, PA 18977 USA
Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458
E-mail: info@morningstarcorp.com
Website: www.morningstarcorp.com

TABLAS DEL CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Material	Densidad a 20°C gr/cm ³	Resistividad a 20°C Ω.mm ² /m	Conductividad % IACS	Coefficiente térmico de resistencia a 20°C por °C	Modulo de elasticidad Kg/mm ²	Esfuerzo mínimo de rotura Kg/mm ²	Coefficiente de dilatación lineal a 20°C por °C
Cobre blando	8.89	0.01724	100	0.00393	10.000	25	1.7 x 10 ⁻⁵
Cobre semiduro	8.89	0.01783	96.66	0.00384	11.500	35	1.7 x 10 ⁻⁵
Cobre duro	8.89	0.01790	96.16	0.00382	12.650	42	1.7 x 10 ⁻⁵
Alineación de aluminio	2.7	0.0328	52.5	0.00360	5.700	28	2.3 x 10 ⁻⁵

COMPARACIÓN ENTRE LOS CALIBRES AMERICANOS Y EUROPEOS DE CABLES Y CONDUCTORES

CALIBRE AMERICANO		CALIBRE METRICO (europeo)
AWG - MCM	mm ²	mm ²
30 AWG	0.0509	0.05
28	0.0810	0.10
26	0.1288	
24	0.2047	0.25
22	0.3255	0.50
20	0.5176	0.75
18	0.8231	1.00
16	1.3090	1.50
14	2.081	2.5
12	3.309	4.0
10	5.261	6.0
8	8.366	10.0
6	13.30	16
4	21.15	25
2	33.63	35
1	42.41	50
1/0	53.48	70
2/0	67.43	70
3/0	85.03	95
4/0	107.20	120
250 MCM	126.7	150
300	151	185
350	177	185
400	202	240
500	253	300
600	303	400
700	354	400
750	380	400
800	407	500
900	455	500