

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE SUMBAY

Tesis presentada por los Bachilleres:

Navarro Miranda, Diego Armando Francisco

Pérez Cárdenas, Pedro Manuel

Para optar por el título profesional de:

Ingeniero Mecánico.

Asesor:

Ing. Donayre Cahua, Jesus Manuel

Arequipa – Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO DE BORRADOR

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 01 de Agosto del 2021

Dictamen: 000967-C-EPIMMEM-2021

Visto el borrador del expediente 000967, presentado por:

2010700481 - PEREZ CARDENAS PEDRO MANUEL

2010800901 - NAVARRO MIRANDA DIEGO ARMANDO FRANCISCO

Titulado:

MANTENIMIENTO Y ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE SUMBAY

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1839 - DONAYRE CAHUA JESUS MANUEL
DICTAMINADOR



1895 - CARPIO RIVERA MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR



DEDICATORIA

Agradezco profundamente a mis padres, familiares y a todas las personas que me apoyaron con cariño, consejos y motivación estando presentes en cada etapa de mi desarrollo profesional.

Gracias Dios por darme la fuerza, salud y acompañarme y guiarme en todo momento.

*- **Diego Armando Francisco Navarro Miranda***

Primero agradezco a nuestra Institución y Maestros por todo el esfuerzo que realizaron en formarnos como mejores estudiantes y personas.

Agradezco mucho a mis padres, familia y amigos por todo el apoyo, motivación y cariño brindado, y agradezco a Dios por la vida y salud que me ha entregado en todos estos años.

*- **Pedro Manuel Pérez Cárdenas***

RESUMEN

El presente trabajo está basado en el análisis estructural y mantenimiento de la ingeniería mecánica, en conjunto a datos estadísticos de producción de las mineras Las Bambas, Antapaccay y Constancia. Con los datos obtenidos del estudio se conocerá la situación actual del puente para de esta forma dar viabilidad a la propuesta asegurando un aumento de carga y ciclos de trabajo más seguros causando de esta manera un impacto positivo en la producción de las mineras mencionadas como también en la disminución del tráfico generado por los camiones de carga.

Iniciaremos con estudios y antecedentes de ferrocarriles y las mineras involucradas, presentando datos de capacidad de producción y cantidad de camiones que circulan diariamente. Como también con la descripción del problema, objetivos y limitaciones que presenta este proyecto.

Como segunda parte nos centraremos en el marco teórico referido a puentes metálicos y puentes ferroviarios esto incluye el diseño, los tipos de mantenimiento que implican y los ensayos a realizar para su inspección. Todo en base a las normas que rigen estos aspectos.

Como tercera parte se procederá a los cálculos estructurales, determinación de cargas y otros factores que están involucrados en el diseño de puentes metálicos. Esto incluye también un modelamiento y análisis mediante software de estructuras metálicas (SAP 2000) y generación de planos en Autodesk Inventor.

Como parte final se generará un reporte de costos basados en el plan de mantenimiento y en el caso sea necesario un refuerzo estructural se incluirá dicho costo en el reporte.

Al concluir se presentarán las recomendaciones y conclusiones como también anexos y referencias.

PALABRAS CLAVE: Transporte ferroviario, Cargas, Análisis Estructural, Mantenimiento de Puentes, ASTM A-36, Pilar, Celosía, Compresión, Deflexión, Tensión, Refuerzo, Recubrimiento.

ABSTRACT

This work is based on the structural analysis and maintenance of mechanical engineering, together with statistical data of production from the Las Bambas, Antapaccay and Constancia mining companies. With the data obtained from the study, the current situation of the bridge will be known in order to make the proposal viable, ensuring an increase in load and safer work cycles, thus causing a positive impact on the production of the aforementioned mining companies as well as on the decrease in traffic generated by cargo trucks.

We will begin with studies and antecedents of the railways and the mining companies involved, presenting data on production capacity and the number of trucks that circulate daily. As well as the description of the problem, objectives and limitations that this project presents.

As a second part we will focus on the theoretical framework referred to metallic bridges and railway bridges, including the design, the types of maintenance involved and the tests to be performed for their inspection. All based on the standards that govern these aspects.

As a third part we will proceed to the structural calculations, determination of loads and other factors that are involved in the design of steel bridges. This also includes modeling and analysis using metallic structures software (SAP 2000) and generation of drawings in Autodesk Inventor.

As a final part, a cost report will be generated based on the maintenance plan and if structural reinforcement is required, the cost will be included in the report.

At the end, recommendations and conclusions will be presented as well as annexes and references.

KEY WORDS: Rail Transportation, Loads, Structural Analysis, Bridge Maintenance, ASTM A-36, Pillar, Lattice, Compression, Deflection, Tension, Reinforcement, Coating.

ÍNDICE DE CONTENIDO

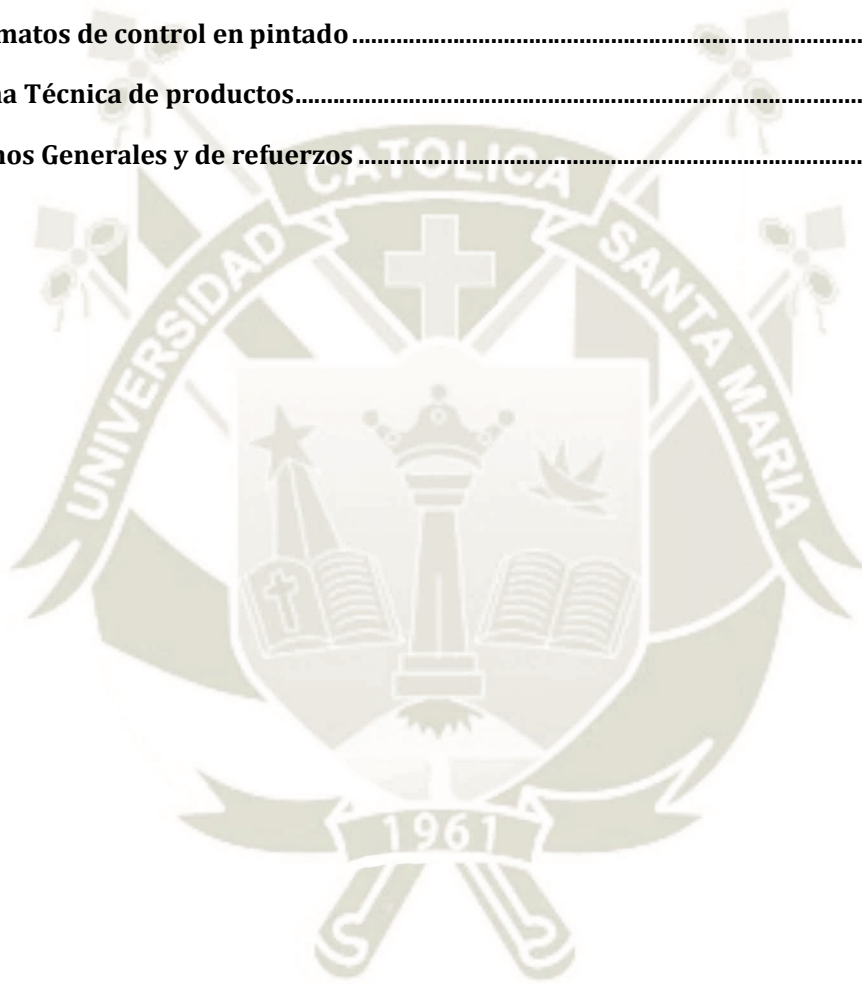
DICTAMEN APROBATORIO DE BORRADOR.....	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN	15
1. CAPITULO 1: Planteamiento teórico	16
1.1. Antecedentes	16
1.1.1. Sistema de ferrocarriles Nacionales	16
1.1.2. Puente Sumbay.....	20
1.1.3. Minería en el Perú.....	23
1.1.3.1. Unidad Minera Las Bambas.....	26
1.1.3.2. Compañía minera Antapaccay	29
1.1.3.3. Mina Constancia.....	30
1.2. Planteamiento Del Problema	31
1.2.1. Descripción del problema	31
1.2.2. Sistematización del problema	32
1.2.3. Interrogantes secundarias	32
1.3. Objetivo General.....	32
1.4. Justificación.....	33
1.5. Limitaciones	33
1.6. Hipótesis.....	34
2. CAPITULO 2. Aspectos generales y conceptos básicos	35
2.1. Puentes.....	35
2.1.1. Definición.....	35
2.1.2. Partes de la estructura de un puente	35

2.1.3.	Tipología de puentes	36
2.2.	Cargas y factores de carga	38
2.2.1.	Cargas permanentes.....	38
2.2.2.	Cargas variables	39
2.2.3.	Cargas excepcionales	39
2.2.4.	Factores de carga.....	39
2.3.	Determinación de cargas	39
2.4.	Cargas permanentes	40
2.4.1.	Cargas muertas	40
2.4.3.	Deformaciones impuestas	41
2.5.	Cargas variables.....	41
2.5.1.	Cargas durante la construcción	41
2.5.2.	Cargas vivas.....	42
2.6.	Diseño por factores de carga y resistencia	44
2.6.1.	Estados Limites	44
2.6.2.	Factores de carga.....	45
2.7.	Regulaciones y reglamentación relacionada a ferrocarriles.....	47
2.8.	Mantenimiento de puentes.....	49
2.8.1.	Mantenimiento rutinario	51
2.8.2.	Mantenimiento periódico.....	52
2.8.3.	Mantenimiento de vías férreas	52
2.9.	Guía Para Inspección De Puentes	55
2.9.1.	Inspección.....	56
2.9.2.	Acciones Para Detectar Daños Más Comunes.....	57
2.9.3.	Pruebas En Los Componentes De Un Puente	60
2.9.4.	Reconocimiento De La Corrosión Del Acero Concreto Armado.....	60
2.9.5.	Inspección Radiográfica.....	61
2.9.6.	Pruebas En Elementos De Acero	62
2.9.7.	Líquidos Penetrantes	62
2.9.8.	Pruebas Con Partículas Magnéticas	63
2.9.9.	Pruebas Ultrasónicas	63
2.9.10.	Inspección Radiográfica.....	64
2.9.11.	Inspección Visual.....	65
3.	CAPITULO 3: ANALISIS Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.....	70
3.1.	Consideraciones generales	70
3.2.	Evaluación y levantamiento de información de la estructura	70

3.2.1.	Materiales y elementos estructurales.....	71
3.2.1.1.	Pilar 1:.....	71
3.2.1.2.	Pilar 2:.....	73
3.2.1.3.	Pilar 3:.....	75
3.2.1.4.	Celosía:	77
3.3.	Modelamiento de la estructura	79
3.4.	Definición y asignación de cargas	79
3.4.1.	DC cargas muertas	79
3.4.2.	Cargas Vivas.....	82
3.5.	Combinaciones de carga	91
3.5.1.	Resumen de combinaciones aplicadas al modelo.....	93
3.6.	ANALISIS.....	94
3.6.1.	Verificación De Ratios	94
3.6.2.	Elementos Sobre Estresados.....	96
3.6.2.1.	Pilar 1	96
3.6.2.2.	Pilar 2	98
3.6.2.3.	Pilar 3	100
3.6.2.4.	Celosía	102
3.6.2.5.	Reacciones En La Base.....	102
3.7.	Cálculo De Pernos De Anclaje.....	104
3.8.	Cálculo de elementos estructurales	105
3.8.1.	Definición de cargas en el puente.....	105
3.8.1.1.	Cargas Muertas.....	105
3.8.1.2.	Cargas vivas.....	105
3.8.1.3.	Combinaciones de Cargas.....	106
3.8.1.4.	Áreas Tributarias	107
3.8.2.	Evaluación de perfiles y Refuerzos.....	108
3.8.2.1.	Pilar 1	108
3.8.2.2.	Pilar 3	117
3.8.3.	Cálculo de deflexión en la Celosía.....	124
4.	CAPITULO 4: Mantenimiento y Costos.....	131
4.1.	Informes De Inspección.....	131
4.1.1.	Introducción	131
4.1.1.1.	Del Informe De Inspección.....	131
4.2.	Informe de inspección	134
4.3.	Procedimiento de Mediciones y Ensayo con equipo de Ultrasonido	140

4.3.1.	Objetivo	140
4.3.2.	Alcances	140
4.3.3.	Documentos De Referencia	140
4.3.4.	Desarrollo	140
4.3.4.1.	Requisitos Generales	140
4.3.4.2.	Procedimiento de inspección	142
4.3.4.3.	Procedimiento de recopilación de espesores	142
4.3.4.4.	Registros	143
4.3.4.5.	Responsabilidades	143
4.3.4.6.	Reporte Final	143
4.4.	Medición Vibracional Mediante Colector De Vibraciones A Puente Ferroviario - Sumbay	147
4.4.1.	Equipos	147
4.4.2.	Detalles De Las Zonas De Inspección Realizada	148
4.4.3.	Ensayo De Prueba Vibracional Con Velocidad De Tren A 5 Km/H	148
4.4.4.	Ensayo De Prueba Vibracional Con Velocidad De Tren A 10 Km/H	149
4.4.5.	Ensayo De Prueba Vibracional Con Velocidad De Tren A 15 Km/H	149
4.5.	Informe De Calidad del Estado actual del Puente / Pintura.	151
4.5.1.	Objetivo	151
4.5.2.	Documentos De Referencia	151
4.5.3.	Antecedentes	151
4.5.4.	Desarrollo	151
4.5.4.1.	Inspección Visual	151
4.6.	Procedimiento de pintado	153
4.6.1.	Alcances	153
4.6.2.	Documentos De Referencia	153
4.6.3.	Hojas Técnicas De Productos	154
4.6.4.	Recursos	154
4.6.5.	Ejecución De Preparación Superficial	156
4.6.6.	Aplicación De Pintura Y Curado	157
4.6.7.	Plan De Pintado.	158
4.6.8.	Ejecución de Pintado	159
4.6.9.	Formatos para Registros Pintura	159
4.7.	Estimación De Recursos	160
4.7.1.	Identificación De Puentes En Situación Crítica	160
4.7.2.	Estudio de costos y presupuestos.	161

	ix
5. Conclusiones.....	164
6. Recomendaciones.....	166
7. Referencias.....	167
8. Anexos.....	169
8.1. Registros de inspección mediante ultrasonido	169
8.2. Formatos de control en pintado.....	172
8.3. Ficha Técnica de productos.....	178
8.4. Planos Generales y de refuerzos	183



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Ferroviario del Perú.....	16
Figura 2: Mapa de principales vías férreas del Perú.....	17
Figura 3: Concesión del Centro.....	19
Figura 4: Distribución de carga movilizada ferrocarril sur y sur-oriente.....	20
Figura 5: Ubicación Puente Sumbay.....	21
Figura 6: Ubicación de la estación del ferrocarril Sumbay.....	22
Figura 7: Ubicación Puente Sumbay.....	22
Figura 8: Camiones Portacontenedores.....	27
Figura 9: Mapa de Ruta de Transporte de Cobre hacia el puerto de Matarani.....	28
Figura 10: Camión encapsulado utilizado por Antapaccay.....	29
Figura 11: Camión encapsulado utilizado por Antapaccay.....	30
Figura 12: Mapa de ubicación mina Constanca.....	30
Figura 13: Subestructura – esquema longitudinal del puente.....	36
Figura 14: Ecuación de estados Limites.....	44
Figura 15: Apoyo Para La Inspección De Obras De Arte.....	51
Figura 16: Ciclo de mantenimiento de la vía férrea.....	53
Figura 17: Ciclo mejorado del mantenimiento de la vía férrea.....	54
Figura 18: Delaminación del concreto por corrosión del acero.....	61
Figura 19: Equipo de Rayos x.....	61
Figura 20: Aplicación de líquidos penetrantes.....	63
Figura 21: Aplicación de pruebas ultrasónicas.....	64
Figura 22: Aplicación de pruebas Radiográficas.....	64
Figura 23: Vista general del Puente Sumbay.....	70
Figura 24: Vista general Pilar 1.....	72
Figura 25: Vista general Pilar 2 (Central).....	74
Figura 26: Vista general Pilar 3.....	76
Figura 27: Vista general Celosía.....	78
Figura 28: Vista General de puente Sap 2000.....	79
Figura 29: Cargas puntuales de durmientes.....	81
Figura 30: Cargas Distribuida de rieles.....	81
Figura 31: Locomotora GT 42.....	82

Figura 32: Distribución de cargas locomotora.....	83
Figura 33: Cargas Puntuales por rueda de locomotora.....	83
Figura 34: Vagón de carga.....	84
Figura 35: Distribución de cargas vagón.....	85
Figura 36: Cargas Puntuales por rueda de vagón	85
Figura 37: Presión de viento sobre la estructura	88
Figura 38: Presión de viento sobre Vehículos	89
Figura 39: Efectos sísmicos.....	90
Figura 40: Combinación de cargas agregadas a software	94
Figura 41: Vista general del puente en Sap 2000	94
Figura 42: Componentes analizados.....	95
Figura 43: Elementos estresados Pilar 1	96
Figura 44: Perfil estresado Pilar 1.....	97
Figura 45: Elementos estresados Pilar 2	98
Figura 46: Perfiles estresados Pilar 2	99
Figura 47: Elementos estresados Pilar 3	100
Figura 48: Perfiles estresados Pilar 3	101
Figura 49: Celosía	102
Figura 50: Máxima cortante	103
Figura 51: Áreas tributarias	107
Figura 52: Cargas puntuales.....	108
Figura 53: Cargas Pilar 1.....	109
Figura 54: Reacciones Pilar 1	109
Figura 55: Reacciones Pilar 1	110
Figura 56: Arriostres Pilar	111
Figura 57: Cargas Pilar 3.....	117
Figura 58: Reacciones Pilar 3	118
Figura 59: Reacciones Pilar 3	119
Figura 60: Vista de perfil de viga que compone la Celosía.....	124
Figura 61: Refuerzos Celosía.....	126
Figura 62: Refuerzos Celosía.....	127
Figura 63: Cargas distribuidas LRFD	128
Figura 64: Equipo Olympus Epoch 4.....	141

Figura 65: Pared lateral de Celosía	143
Figura 66: Pruebas en pared lateral de Celosía	144
Figura 67: Tabla de dimensiones.....	146
Figura 68: Equipo de Vibraciones SKF	147
Figura 69: Zonas de inspección puente sumbay	148
Figura 70: Toma de lecturas de vibraciones en puente Sumbay	150



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ranking de producción minera.....	24
Tabla 2: Producción de cobre por regiones.....	25
Tabla 3: Producción de Cobre por empresa	26
Tabla 4: Cantidad de camiones por día.....	31
Tabla 5: Densidades de materiales	40
Tabla 6: Factor de incremento de carga viva por efectos Dinámicos (IM).....	42
Tabla 7: Presiones Básicas de viento PB	43
Tabla 8: Combinación de cargas	46
Tabla 9: Factores de cargas	47
Tabla 10: Máxima velocidad de operaciones permitidas.....	48
Tabla 11: Clasificación de vías según su tonelaje.....	48
Tabla 12: Actividades de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada	50
Tabla 13: Perfiles detallados Pilar 1.....	73
Tabla 14: Perfiles detallados Pilar 2.....	75
Tabla 15: Perfiles detallados Pilar 3.....	77
Tabla 16: Perfiles detallados Celosía.....	78
Tabla 17: Resumen de Pesos y Áreas	80
Tabla 18: Combinación de cargas	92
Tabla 19: Factores de carga.....	93
Tabla 20: Cargas muertas sobre pilares.....	105
Tabla 21: Cargas Vivas sobre el puente	106
Tabla 22: Cargas Vivas sobre el puente	106
Tabla 23: Cargas Vivas sobre el puente	106
Tabla 24: Cargas Vivas sobre el puente	107
Tabla 25: Factor k.....	112
Tabla 26: Cargas a compresión L4x3	113
Tabla 27: Cargas a compresión L4x3	114
Tabla 28: Cargas a compresión 2L4x3	115
Tabla 29: Cargas a compresión 2L4x3	116

Tabla 30: Cargas a compresión L4x3.....	120
Tabla 31: Cargas a compresión L4x3.....	121
Tabla 32: Cargas a compresión 2L4x4.....	122
Tabla 33: Cargas a compresión 2L4x4.....	123
Tabla 34: Refuerzos.....	124
Tabla 35: Deflexión máxima permitida en puentes.....	126
Tabla 36: Cargas muertas.....	129
Tabla 37: Cargas Vivas.....	129
Tabla 38: Cuadro de condición global del puente.....	132
Tabla 39: Información general del puente.....	134
Tabla 40: Medidas tomadas en pared lateral.....	145
Tabla 41: Medidas tomadas en arriostres.....	146
Tabla 42: Prueba de Vibraciones a 5 km/h.....	148
Tabla 43: Prueba de Vibraciones a 10 km/h.....	149
Tabla 44: Prueba de Vibraciones a 15 km/h.....	149
Tabla 45: Resumen de inspección Visual.....	152
Tabla 46: Reporte Fotográfico.....	152
Tabla 47: Temperatura superficial para aplicación del producto.....	157
Tabla 48: Plan de pintado.....	158
Tabla 49: Partidas generales.....	161
Tabla 50: Detalle de costos Unitarios.....	162

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento industrial, el tráfico vehicular tanto para transporte de pasajeros como transporte de mercadería en los ingresos y salidas de la ciudad de Arequipa generan una congestión cada vez más insostenible, por lo que en este estudio se propone una solución con el fin de reducir dicho tráfico optando por el medio de transporte ferroviario.

Una gran parte de vehículos que circulan por las vías de ingreso mencionadas pertenecen a las empresas mineras Las Bambas, Antapaccay y Constancia, siendo estas dos últimas las que solo utilizan camiones de carga para el transporte de su concentrado al puerto de Matarani para su exportación. Por lo que presentamos la alternativa el transportar su producto por medio del transporte ferroviario lo cual incrementaría el tránsito y cargas soportadas por las vías y puentes.

Con esta premisa nos centramos en el puente Sumbay que se encuentra como paso obligado de ferrocarriles procedentes de la región sur del Perú.

Para plantear esta alternativa se identificó la necesidad de realizar un nuevo estudio estructural como un plan de mantenimiento para verificar, corroborar y asegurar el correcto desempeño del puente.

1. CAPITULO 1: Planteamiento teórico

1.1. Antecedentes

1.1.1. Sistema de ferrocarriles Nacionales

Actualmente el sur del Perú concentra la mayor cantidad de líneas férreas según indica el Ministerio de Transportes en su documento “Mapas ferroviarios del Perú” (*Figura 1*), donde se puede observar que en el norte principalmente hay ferrocarriles en proyecto, mientras que en el sur operan los ferrocarriles del sur, ferrocarriles de Southern Perú que conecta a Ilo - El Sargento – Toquepala, El Sargento (183 km) - Cuajone (Botiflaca), y el de Tacna y Arica.

Figura 1: Mapa Ferroviario del Perú

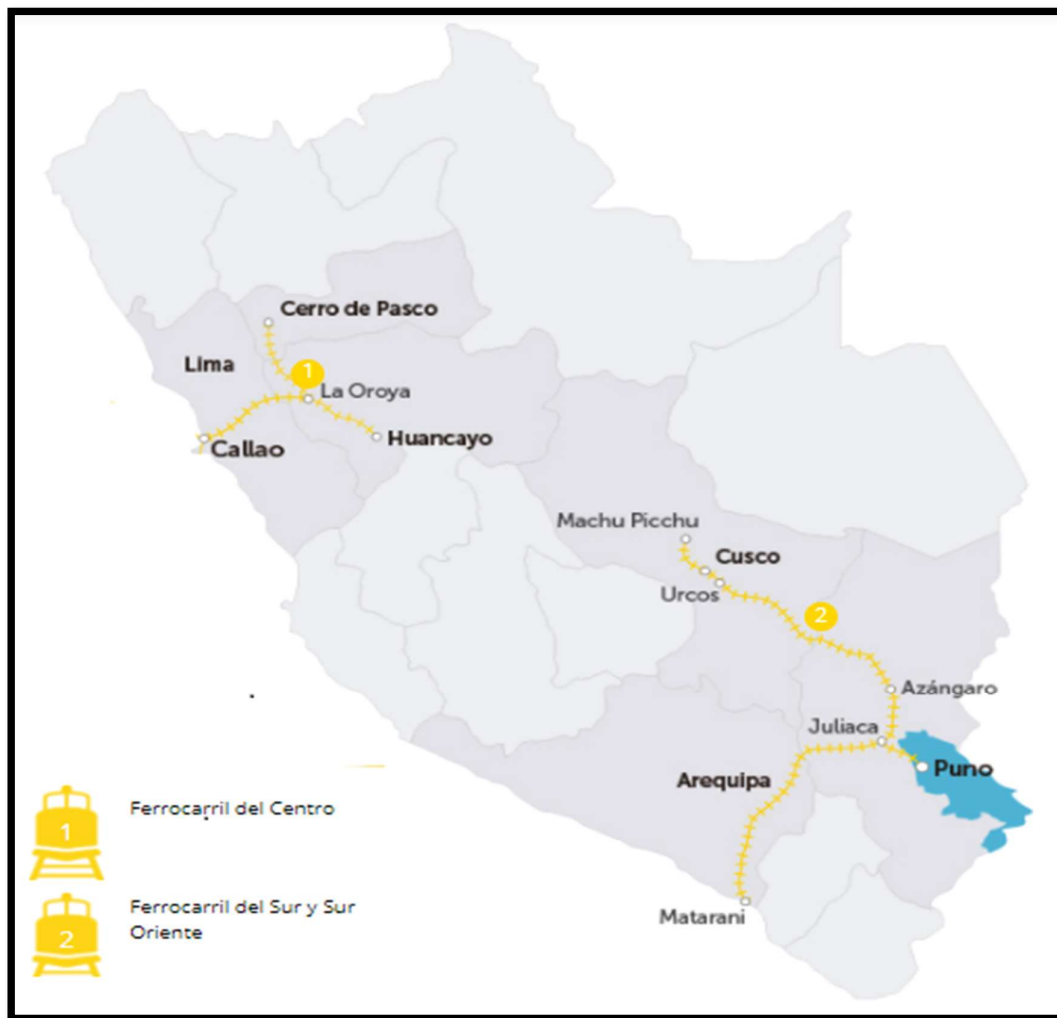


Nota: El gráfico representa a los mapas ferroviarios en el Perú

Fuente: Ministerio de Transportes, (2021)

En el Perú OSITRAN es el organismo supervisor de la inversión en infraestructura de transporte de uso público, dentro de sus actividades esta la supervisión de las dos concesiones de ferrocarriles más grande de nuestro País.

Figura 2: Mapa de principales vías férreas del Perú



Nota: El gráfico representa a los mapas ferroviarios en el Perú

Fuente: OSITRAN, (2018)

El ferrocarril del centro: El Ferrocarril Central es el principal medio de transporte de productos minerales en la región central del país, cubre importantes áreas mineras ubicadas en el departamento de Pasco, Junín y Lima. Con un total de 477 km está compuesto por líneas férreas que unen Cerro de Pasco – La oroya (131km) / Huancayo – La oroya (124km) / La oroya – Callao (222km).

Estas rutas son administradas por la empresa concesionada Ferrovías Central Andina S.A. quien se encarga de los mantenimientos en las vías, puentes y estaciones como también en la señalización de los mismos.

Esta vía además de brindar servicio de transporte de pasajeros es utilizada para transporte de carga y minerales procedentes de la minería.

La ruta por la que se transporta el mayor volumen de carga es la que conecta Cerro de Pasco – Patio Central; esta ruta concentra la quinta parte del volumen total transportado por el Ferrocarril del Centro, siendo el concentrado de zinc (perteneciente a la empresa Volcan) el principal producto transportado. La segunda ruta en importancia es Cerro de Pasco – Cajamarquilla, que transporta principalmente concentrado de zinc también de la empresa Volcan. Le sigue en importancia la ruta La Oroya – Patio Central, a través de la cual se transporta concentrado de zinc de las empresas El Brocal y Volcan, así como barras de cobre y de zinc de la empresa Doe Run. Por otra parte, resulta importante señalar que a partir de abril de 2001 la empresa El Brocal comenzó a utilizar la ruta Unish – Patio Central para el transporte de sus productos. (Ministerio de Transportes, 2019)

Dentro de sus principales usuarios se encuentran:

- Compañía minera volcán S.A.
- Sociedad Minera el Brocal S.A.A.
- Cemento andino S.A.
- Empresa Administradora Chungar S.A.C

Figura 3: *Concesión del Centro*



Nota: El gráfico representa a los de la concesión del Centro

Fuente: *Ministerio de Transportes, (2021)*

El ferrocarril del Sur y Sur Oriente: El Ferrocarril del Sur y Sur Oriente fue entregado en Concesión el 19 de Julio de 1999, al Consorcio Ferrocarril Trasandino S.A., conformado por Containers y Peruval Corp quien se encarga de administrar la infraestructura ferroviaria el mantenimiento de vías, puentes y estaciones como de la señalización; Perú Rail S.A. es la empresa encargada de la operación y puede utilizar la línea férrea pagando una tarifa por ese servicio. (Ministerio de Transportes, 2021)

Este tramo cuenta con un total de 988km dividido entre el Ferrocarril del Sur Oriente (134km) que van desde Cusco – Hidroeléctrica (121km) y Pachar – Urubamba (13km). Siendo mayormente utilizado para el transporte de mercadería en general. Y el ferrocarril del Sur (854km) que une Mollendo – Matarani – Arequipa (165km) / Arequipa – Juliaca (304km) / Juliaca – Puno (47km) y Juliaca – Cusco (338km). (Ministerio de Transportes, 2021)

Figura 4: Distribución de carga movilizada ferrocarril sur y sur-oriente.



Nota: El gráfico representa a la Distribución de carga movilizada ferrocarril sur y sur-oriente.

Fuente: OSITRAN, (2019)

En la (Figura 4), se puede observar que el tramo Sur es el más importante en lo que transporte de minerales se refiere ya que se ubica entre los centros mineros más importantes de la región sureste del país conectando con el puerto de Matarani para su exportación hacia mercados internacionales.

En cuanto a los beneficios de las vías férreas a nivel Perú, se tiene que:

El transporte ferroviario ofrece grandes ventajas como la gran capacidad de carga por eje, la menor tasa de accidentabilidad, el ahorro de combustible, la menor cantidad de emisiones contaminantes y la descongestión de las carreteras. Además, constituye el transporte masivo más eficiente de los últimos años. (OSITRAN, 2019)

1.1.2. Puente Sumbay

El puente Sumbay, nombrado así por el río que cruza, está localizado en la carretera Arequipa – Juliaca, en la zona de Patahuasi Santa Lucia, en el KM 115.

Figura 5: *Ubicación Puente Sumbay*



Nota: *El gráfico representa a la ubicación geográfica de Sumbay*

Fuente: *Mapas ferroviarios, (2014)*

El puente, con la vía férrea une a Puno y Cusco con Arequipa, la estación Sumbay se encuentra a 280 metros de unas cuevas consideradas turísticas cerca a la Quebrada de Q'ollpa. El ferrocarril fue iniciado a la segunda mitad del siglo XIX y terminado en 1908, en 1928 se le concedió perpetuidad.

Figura 6: Ubicación de la estación del ferrocarril Sumbay



Nota: El gráfico representa a la ubicación geográfica de Ferrocarril Sumbay

Fuente: Google Earth, (2019)

Dada su ubicación (**Figura 7**) el puente se encuentra entre tres mineras importantes en el sur del país por lo que su importancia toma mayor valor en el trasporte de concentrado de minerales.

Figura 7: Ubicación Puente Sumbay



Nota: El gráfico representa a los mapas ferroviarios en el Perú,

Fuente: Ministerio de Transportes, (2021)

1.1.3. Minería en el Perú

<<Perú país minero>> Frase muchas veces escuchada en el Perú destacando que somos un país minero por excelencia con riqueza abundante tanto en cantidad como en variedad, prácticamente no hay región que no proporcione algún tipo de mineral.

En las regiones de Piura, Cajamarca y La Libertad se encuentran yacimientos de oro y cobre; en Áncash y Huánuco existen yacimientos de oro, polimetálicos y no metálicos; Lima, Pasco y Junín poseen una gran cantidad de yacimientos polimetálicos; Huancavelica, Ayacucho y Apurímac son ricos en plata y cobre; Ica, Moquegua y Tacna destacan por sus yacimientos de cobre y hierro; y en Arequipa, Puno y Madre de Dios hay yacimientos de cobre, hierro y oro.

En el Perú, la minería continúa siendo uno de los pilares de la estabilidad macroeconómica, impulsando el crecimiento del PBI en alrededor del 10%, como consecuencia de una contribución de casi el 60% de las exportaciones nacionales y participación promedio en los últimos diez años de 23% en inversión extranjera directa. (Ministerio de Energía y Minas, 2019, p. 18)

En el ranking mundial (*Tabla 1*), el Perú se mantiene en segundo lugar como productor de cobre, plata y zinc, en la producción de plomo se ubicó tercero; cuarto en la producción de estaño y molibdeno; y octavo en la producción de oro. Además, a nivel latinoamericano destacó por ser el principal productor de oro, zinc, plomo y estaño; así como, el segundo lugar en la producción de cobre, plata y molibdeno. (Ministerio de Energía y Minas, 2019, p. 46)

Tabla 1: Ranking de producción minera

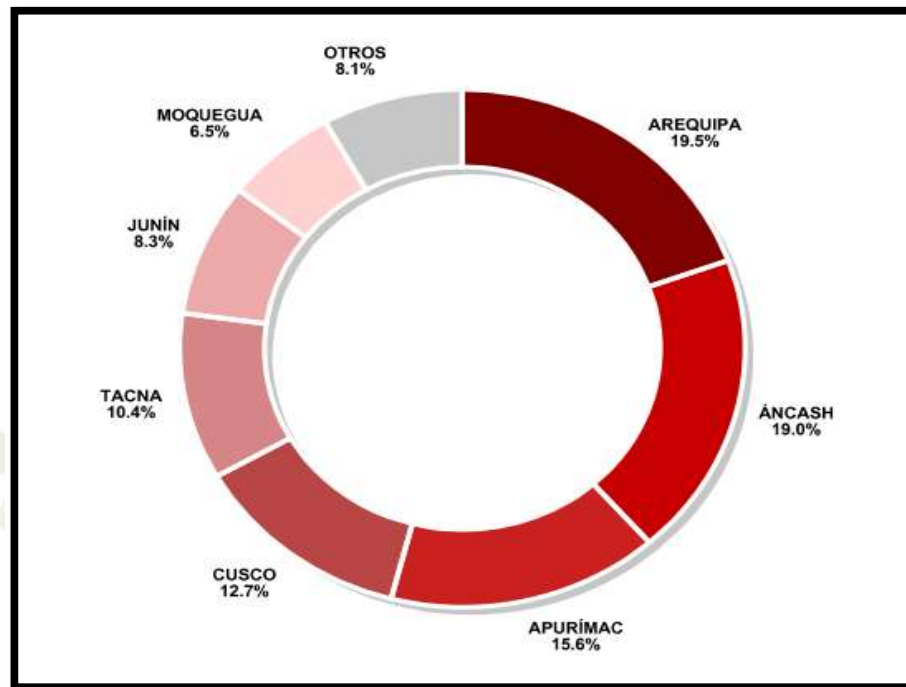
PRODUCTO	LATINOAMÉRICA	MUNDO
Oro	1	8
Cobre	2	2
Plata	2	2
Zinc	1	2
Plomo	1	3
Estaño	1	4
Molibdeno	2	4
Cadmio	2	9
Roca Fosfórica	2	10
Diatomita	1	6
Indio	1	7
Andalucita y minerales relacionados	1	4
Selenio	1	11

Nota: La tabla indica el Ranking de producción minera

Fuente: Anuario minero, (2019)

“A nivel regional, Arequipa se ubicó como principal región productora de cobre, a pesar de la disminución de producción de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. y Minera Las Bambas S.A” (Ministerio de Energía y Minas, 2019, p. 48).

Tabla 2: Producción de cobre por regiones

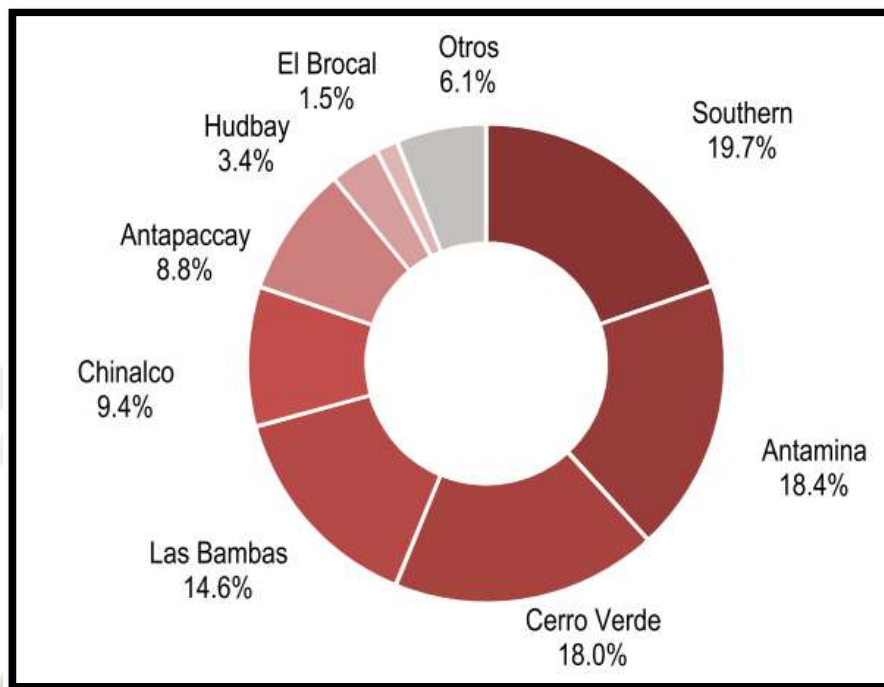


Nota: La tabla indica Producción de cobre por regiones

Fuente: *Anuario minero, (2019)*

La producción del cobre a nivel nacional en el 2019 registró un aumento de 0.8% con respecto al 2018. Este resultado se debió básicamente a un mejor desempeño por Southern Peru Copper Corporation, reportando un aumento en su producción de 25.3% con respecto al año anterior, pese a la menor producción reportada por Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (-4.1%) y Minera Las Bambas S.A. (-0.7%); así como Compañía Minera Antapaccay y Minera Chinalco Perú S.A. que vieron reducida su producción en 3.8% y 8.8%, respectivamente. (Ministerio de Energía y Minas, 2019, p. 58)

Tabla 3: Producción de Cobre por empresa



Nota: La tabla indica la Producción de Cobre por empresa

Fuente: Anuario minero, (2019)

Como se observa en la (**Tabla 3**) dentro las mineras más importantes en el Perú se encuentran Minera las Bambas, Compañía minera Antapaccay y Hudbay Perú con la mina Constancia, estas representan un volumen considerable de concentrado de cobre el cual circula por las vías y carreteras de Arequipa al puerto de Matarani. Dando una mayor importancia en el estudio del puente Sumbay ya que aporta una alternativa a considerar en el transporte de mineral.

1.1.3.1. Unidad Minera Las Bambas

En un sentido general se tiene que minera Las Bambas ubicada en las provincias de Grau y Cotabambas en la región Apurímac, es operada por la empresa MMG(62.5%), una subsidiaria de propiedad total de Guoxin International Investment Co. Ltd(22.5%) y CITIC Metal (15%).

Posee una vida útil de 20 años aproximadamente siendo uno de los más grandes yacimientos de Cobre y Molibdeno en nuestro País.

La extracción del mineral es de un tajo abierto para luego triturarlo y transportarlo a lo largo de 5.5 Km a su planta de flotación donde es producido el concentrado de Cobre, luego es llevado a una planta de molibdeno para su procesamiento, finalmente el concentrado es transportado por camión y ferrocarril al puerto de Matarani donde se envía a sus clientes a nivel mundial.

Las bambas entro en operatividad comercial en Julio del 2016 y se encuentra entre las plantas de producción de cobre más grandes del mundo con una capacidad de producción anual nominal de 51.1 millones de toneladas y una producción de concentrado de cobre de 370.000 toneladas.

En la actualidad minera las Bambas es la única de las tres operaciones estudiadas que utiliza un sistema de transporte de concentrado Bimodal.

Esto quiere decir que luego del proceso de producción el concentrado de Cobre y Molibdeno es transportando 458 km por un Camión Portacontenedor hasta la estación de Pillones perteneciente a la empresa PeruRail, en dicho punto los contenedores son traspasados a los bogies de carga para posteriormente ser llevados por 286 km hasta el puerto de Matarani.

Figura 8: *Camiones Portacontenedores*



Nota: El gráfico representa a Camiones Portacontenedores

Fuente: *Las Bambas MMG, (2019)*

En la actualidad circulan diariamente alrededor de 106 camiones portacontenedores en la ruta Las Bambas – Estación Pillones, los cuales cargan 2 contenedores de 17.3 toneladas cada uno transportando más de 3600 toneladas métricas húmedas por día.

Estos contenedores se trasladan al ferrocarril que los llevarán al puerto de Matarani, la capacidad del tren es de 54 contenedores. Diariamente pueden circular hasta cuatro trenes y son necesarias 36 horas para que el tren realice todo su recorrido.

Cabe mencionar que actualmente minera Las Bambas solo tiene autorización por el ministerio de energía y minas en el marco de la tercera modificación del estudio de impacto ambiental (MEIA) por un máximo de circulación de 125 camiones diarios y un plus de 45 camiones como contingencia.

Figura 9: Mapa de Ruta de Transporte de Cobre hacia el puerto de Matarani



Nota: El gráfico representa al Mapa de Ruta de Transporte de Cobre hacia el puerto de Matarani

Fuente: Las Bambas MMG, (2019)

1.1.3.2. Compañía minera Antapaccay

La unidad minera Antapaccay – Expansión Tintaya es una mina de tajo abierto donde su principal producción es concentrado de Cobre. Está Ubicada en la región Cusco, provincia de espinar a 4100 m.s.n.m. Pertenece en su totalidad a la empresa privada multinacional GLENCORE. Inicio sus operaciones en 2012 y se estima que se encuentre en actividad hasta el año 2032, año en que se iniciara el proceso de cierre final. Sus reservas de mineral ascienden a 720 millones de toneladas de cobre con una ley de 0,56%.

La mina Antapaccay dispone de dos plantas concentradoras.

- **Planta concentradora Antapaccay**

Cuenta con una faja transportadora de 6.8 km desde su chancadora primaria tiene una capacidad de 90000 toneladas/día de mineral, produciendo 1800 toneladas de concentrado de cobre diarias.

- **Planta Concentradora Tintaya**

Con una capacidad de producción de 20000 toneladas/día de mineral tiene una producción de 150 toneladas de concentrado de cobre diarias.

Figura 10: Camión encapsulado utilizado por Antapaccay



Nota: El gráfico representa a Planta Concentradora Antapaccay,

Fuente: Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, (2019)

Luego del proceso de extracción el concentrado de cobre obtenido es trasportado por medio de camiones de carga convencionales y camiones encapsulados circulando diariamente en promedio 70 camiones hasta el puerto de Matarani para su exportación.

Figura 11: Camión encapsulado utilizado por Antapaccay



Nota: El gráfico representa a Camión encapsulado utilizado por Antapaccay

Fuente: Iberoamericano Transportes, (2020)

1.1.3.3. Mina Constancia

La unidad minera Constancia se encuentra ubicada en la provincia de Chumbivilca, en la región del Cusco a una altura de 4500 m.s.n.m.

Propietaria en su totalidad por la minera internacional Hudbay, es una mina a tajo abierto principalmente de Cobre y algunos subproductos de molibdeno, oro y plata.

Figura 12: Mapa de ubicación mina Constancia



Nota: El gráfico representa a Mapa de ubicación mina Constancia

Fuente: Aplicación de conocimiento 360°, (2019)

Entro en operación el cuarto trimestre del 2014 alcanzando su nivel de producción comercial en el segundo trimestre del 2015, estimándose una vida útil de 22 años.

Actualmente la mina constancia es la que produce la menor cantidad de concentrado con respecto a las mineras ya antes mencionadas, procesando anualmente 400000 toneladas de mineral y 120000 toneladas de concentrado de cobre al año.

1.2. Planteamiento Del Problema

1.2.1. Descripción del problema

En la actualidad todos los ingresos a la ciudad de Arequipa de autos, camiones de carga y buses provenientes de los departamentos de Apurímac, Cusco y Puno se realizan por la carretera Yura, generando un abultado congestionamiento vehicular lo que causa malestar general tanto para conductores que utilicen esta vía como habitantes de esta zona.

Como ya vimos en los datos obtenidos por las mineras involucradas el tráfico diario de camiones procedentes de estas es aproximadamente de 100 camiones diarios sin contar los casi 200 camiones pertenecientes a minera Las bambas que circulan solo hasta la estación de Pillones.

Tabla 4: Cantidad de camiones por día

Minera	Cant. De camiones / día
Antapaccay	70
Constancia	30
Las Bambas	200
Total	300

Nota: La tabla indica la Cantidad de camiones por día

Fuente: Elaboración Propia, (2020)

Es entonces que el puente Sumbay es una potencial salida para los conflictos actuales que hay para la zona en cuanto a minería hablando en un tema sociocultural en especial por que la demanda tiene una tendencia al crecimiento. Que debido al transporte del mineral por caravanas entre otros se genera el tráfico mencionado, riesgos de accidentes por adelantamiento de vehículos y un añadido a la peligrosidad de llevar el mineral por vías no férreas.

1.2.2. Sistematización del problema

¿Cuál es el estado actual, el mantenimiento y análisis estructural del Puente Sumbay para su correcto funcionamiento?

1.2.3. Interrogantes secundarias

- ¿Cuáles son los factores de deterioramiento por falta de mantenimiento en la estructura del puente?
- ¿Cuáles son los resultados del análisis estructural tomando para comprobar si es necesario una nueva reingeniería del puente?
- ¿Cuál sería el sistema de ingeniería tanto para estructuras como para el mantenimiento?
- ¿Cuáles son las alternativas de costos que conlleve a un mantenimiento completo y la modificación estructural?

1.3. Objetivo General

Evaluar el estado actual del puente y formular un plan de mantenimiento y realizar un análisis estructural.

Objetivo Específico

- Identificar y analizar los factores de deterioramiento en la estructura del puente.
- Realizar un análisis estructural tomando como base las cargas de trabajo para comprobar si es necesario una nueva reingeniería o refuerzo del puente.
- Definir la ingeniería tanto para la estructura como para el nuevo plan mantenimiento.

- Analizar la mejor alternativa en función de costos que conlleve a un completo plan de mantenimiento.
- Desarrollar cambio o refuerzo en la estructura si esto es necesario, y se realizará una Estimación De Costos Para Su Ejecución.

1.4. Justificación

Mediante la presente tesis se pretende dar una solución y mejora en el tráfico generado en los accesos y salidas de la ciudad de Arequipa dando otra opción más eficiente de transporte de carga pesada procedente de la minería, con la finalidad de liberar el tráfico generado por estos y al mismo tiempo aumentar la capacidad de transporte de producto generado por las mineras ya que también está en sus proyectos el aumento en su capacidad de producción.

Este estudio involucra a todas las partes mecánicas del puente Sumbay como la superestructura y subestructura las que deberán ser analizadas y evaluadas para la correcta propuesta de la presente tesis.

Es trascendental conocer la situación actual del puente, ya que es parte importante de las rutas de las vías férreas del Sur del Perú, fuera de que propone una solución importante para el transporte de minerales y congestión vehicular en la ciudad de Arequipa.

1.5. Limitaciones

Para este análisis como limitaciones tenemos la falta de información con respecto a los cálculos utilizados para el diseño del puente puesto que esta data de hace más de 110 años de antigüedad.

En este estudio nos limitaremos a realizar los análisis y estudios correspondiente a la parte mecánica del puente mas no un estudio a detalle de la parte civil.

Difícil acceso a las todas las partes del puente puesto que se requiere una verificación completa para conocer el estado actual del puente.

La inexistencia de memorias de cálculos que especifiquen los materiales utilizados. Falta de algunos equipos e instrumentos que serían necesarios en la evaluación de la estructura.

1.6. Hipótesis

Debido al incremento de la demanda de carga y tránsito en el Puente Sumbay, se mejorará el sistema de mantenimiento de este. Como también hay la posibilidad que algunos elementos fallen por el incremento de cargas, apuntando a que sea necesario un reforzamiento sustentado por los cálculos realizados.



2. CAPITULO 2. Aspectos generales y conceptos básicos

2.1. Puentes

2.1.1. Definición

De acuerdo al Ministerio de Transportes del Perú, se define a los puentes como:

Estructura requerida para atravesar un accidente geográfico o un obstáculo natural o artificial. Se considera como puente la estructura cuya luz, entre ejes de apoyo es igual o mayor que 6.00 m (20 ft) y que forma parte de una carretera o está localizado sobre o por debajo de ella. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018, p. 41)

Como se puede observar, la definición de puente, está dada por tres palabras claves, estructura, obstáculo y ejes de apoyo, es decir que el Puente de Sumbay se tiene que verificar la estructura, los obstáculos y ejes de apoyo en cuanto a la carga que puede llegar a soportar.

En cuanto a los obstáculos, se refiere a ríos, depresiones naturales de los terrenos u otras vías, por lo que los puentes son diseñados con fines de superar estos obstáculos.

“En cuanto a las definiciones relacionadas a los puentes se tiene la “luz”, que es la distancia entre los ejes, “tablero”, siendo la parte resistente del puente por la que circulan los trenes o vehículos” (Godínez Melgares, 2010).

2.1.2. Partes de la estructura de un puente

2.1.2.1. Superestructura

“La superestructura está compuesta por el tablero, el mismo que es parte estructural transmitiendo sobrecargas y cargas a viguetas y también a las vigas principales. Está en contacto con el tráfico y se comunica con la subestructura” (Ministerio de Transportes, 2018).

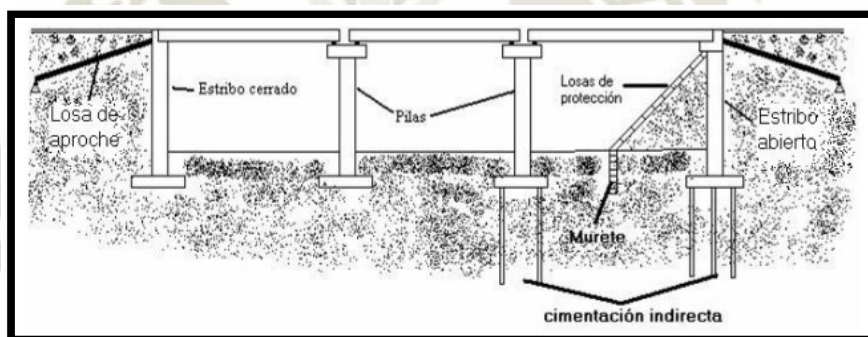
2.1.2.2. Subestructura

De acuerdo a Melgares,

La subestructura está compuesta por los pilares, estribos y cimentación. En cuanto a las pilas, soportan un tablero en puntos intermedios, los estribos soportan el tablero en los extremos, transmiten también las cargas a la parte de la cimentación como parte de contención total, siendo el caso de estribos cerrados o contención parcial, siendo el caso de estribos abiertos. Para la cimentación, esta es directa o indirecta, y sirve para transmitir las cargas a los suelos. (Godinez Melgares, 2010)

Gracias al manual de puentes, podemos ver la siguiente Figura que indica las partes de la subestructura

Figura 13: *Subestructura – esquema longitudinal del puente*



Nota: Tomado de “Manual de puentes” redactado por Guillermo Godines Melgares en el 2010, Figura “*Esquema longitudinal del puente*”

Fuente: *Godinez Melgares, (2010)*

2.1.3. Tipología de puentes

Para esta parte nos apoyamos plenamente en el Manual de Puentes del Ministerio de Transporte, en base a esta información se tiene que los puentes se clasifican.

2.1.3.1. Según la naturaleza de la vía soportada

Para este caso, el Ministerio de Transportes nos indica: “Se distinguen puentes para carretera, para ferrocarril, para trenes eléctricos de pasajeros, para acueductos, puentes para peatones y los puentes para aviones que existen en los aeropuertos; también existen puentes de uso múltiple” (Ministerio de Transportes, 2018, p. 58). De donde se desprende

que son los puentes de acuerdo al tipo de vía y su uso final, si será transitado por vehículos, ferrocarriles, trenes eléctricos, entre otros.

En nuestro caso el Puente Sumbay, es un tren que, de acuerdo al tipo de vía, su uso final es por un ferrocarril.

2.1.3.2. Según su material

Para este caso, el Ministerio de Transportes nos indica: “Existen puentes de piedra, madera, sogas, hierro, acero, concreto armado, concreto pre esforzado, y últimamente de materiales compuestos (fibras de vidrio, fibras de carbón, etc.). La clasificación se hace considerando el material constitutivo de los elementos portantes principales” (Ministerio de Transportes, 2018, p. 58). De donde se tiene que la clasificación por material es lo que determina este punto. En nuestro caso, el Puente Sumbay en el caso de los pilares son de concreto armado, y los perfiles de acero, con probablemente hierro con el pasar del tiempo.

2.1.3.3. Según el sistema estructural principal

En esta clasificación se tienen los puentes tipo viga, los puentes en arco y los suspendidos.

De acuerdo al Ministerio de Transportes, indica que los puentes tipo viga pueden ser de tramos apoyados, isostáticos, Gerber, hiperestáticos o continuos. Y en este tipo de puentes, el elemento portante principal, se encuentra sometido principalmente a esfuerzos de flexión y cortantes. En el caso de los puentes en arco, pueden ser de diversas formas, de distintos tipos de tableros, superior, inferior, y de tímpano ligero, relleno o tipo bóveda. Para los puentes suspendidos, se trata de los puentes colgantes o atirantados, donde también puede hallarse la combinación de los mismos. (Ministerio de Transportes, 2018, p. 58)

2.1.3.4. Según la demanda de tránsito utilizado y clase de carretera

De acuerdo al Manual de diseño geométrico para carreteras se tiene que:

La clasificación de puentes se da de acuerdo al tipo de autopista, así, por ejemplo, se tienen a Puentes para Autopistas de Primera Clase, puentes para

Autopistas de Segunda Clase, puentes para carreteras de 1ra. Clase, puentes para carreteras de 2da. Clase, puentes para carreteras de 3ra. Clase; y puentes para Trochas Carrozable. (Ministerio de Transportes, 2018, p. 59)

2.1.3.5. Según la importancia operativa

En este punto el Ministerio de Transportes nos dice que “se clasifica de acuerdo a la importancia, entonces se tienen los puentes importantes, típicos y relativamente menos importantes. Este punto es importante ya que de acuerdo a la importancia y a la norma se indica un factor para realizar los cálculos” (Ministerio de Transportes, 2016). En nuestro caso es de suma importancia este factor ya que ayudará a determinar las cargas y estructuras en el Puente Sumbay.

2.1.3.6. Según su función

En este caso nos indican que pueden ser de tipo peatonales, carreteros, ferroviarios, paso de nivel, acueductos, y viaductos. En nuestro caso el tipo de fuente por su función es de tipo ferroviario, ya que pasa el ferrocarril por esta vía.

2.2. Cargas y factores de carga

En este punto, de acuerdo al Manual de puentes redactado por el Ministerio de Transportes, trataremos las cargas y factores de carga, teniendo en cuenta los requisitos mínimos, límites y combinaciones necesarias para el diseño del puente de Sumbay, se tendrán en cuenta también los requisitos de carga para la evaluación estructural del puente, en este punto el Ministerio nos indica que las cargas pueden ser de tres tipos, permanentes, variables y excepcionales.

2.2.1. Cargas permanentes

Son aquellas que actúan durante toda la vida útil de la estructura sin sufrir modificaciones significativas, o varían en una sola dirección hasta que se alcanza un valor límite. Este grupo corresponde al propio peso de elementos estructurales y cargas muertas adicionales como las debidas al peso de la superficie de rodadura, vías férreas y

durmientes. De donde se entiende que, en nuestro caso el puente Sumbay tiene una carga permanente, sin embargo, debido al incremento de demanda de carga de trabajo debe de realizare un nuevo análisis estructurar para su asegurar su correcto desempeño.

2.2.2. Cargas variables

Son aquellas para las que se observan variaciones frecuentes y significativas en términos relativos a su valor medio. Las cargas variables incluyen los pesos de los vehículos y personas, así como los correspondientes efectos dinámicos, las fuerzas de frenado y aceleración, las fuerzas centrífugas, las fuerzas laterales sobre rieles. También corresponden a este grupo las fuerzas aplicadas durante la construcción, las fuerzas debidas a empuje de agua y supresiones, los efectos de variaciones de temperatura, las acciones de sismo y las acciones de viento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones , 2018, p. 88)

Se entiende en este punto que las cargas variables son las que dependen de los distintos pesos a las que se pueden ver influenciadas.

2.2.3. Cargas excepcionales

El Ministerio de Transportes define a las cargas excepcionales como “aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es muy baja, pero que deben ser consideradas por el proyectista, como colisiones, u explosiones por ejemplo” (Ministerio de Transportes, 2016, pág.89). De donde se tiene que las cargas excepcionales son aquellas que no es común que vayan a darse, sin embargo, las estructuras deben estar preparadas para las mismas.

2.2.4. Factores de carga

Son factores utilizados para variar las cargas que serán consideradas en las combinaciones de cargas, estos factores deberán ser elegidos según las condiciones de diseño, las condiciones a las que este expuesta la estructura como también su ubicación y características de servicio.

2.3. Determinación de cargas

En cuanto a la determinación de cargas se va a considerar el caso de cargas permanentes, variables y excepcionales, de donde se tiene:

2.4. Cargas permanentes

2.4.1. Cargas muertas

Denominada así considerando el peso muerto de todos los elementos que son indispensables para que la estructura funcione como tal, Peso Muerto o Dead Weight (DC) se refiere también a todos los elementos estructurales, como en nuestro caso los rieles, vigas, columnas, arriostres, cartelas, tableros etc. El peso propio y las cargas muertas deben ser calculados sobre la base de las dimensiones indicadas en los planos y considerando los valores promedios de los pesos específicos. (Ministerio de Transportes, 2018, p. 89)

Nos apoyamos también en el material de Arturo Rodríguez, quien en su libro “Puentes y Obras de arte” brinda las definiciones de DC como el “peso propio de los componentes estructurales, DW, peso propio de las superficies de rodamiento, y EV, a la presión vertical del peso propio del relleno del suelo” (Rodríguez, 2012). Brinda también la siguiente tabla de densidades.

Tabla 5: Densidades de materiales

Material	Densidad (kg/m ³)
Concreto	
Agregados de baja densidad y arena	1925
Normal, con $f'c \leq 357 \text{ kg/cm}^2$	2320
Normal, con $357 < f'c \leq 1071 \text{ kg/cm}^2$	$2240 + 2.29f'c$
Armado	Densidad Concreto Simple + 72 kg/m^3
Superficies de rodamiento bituminosas	2250
Acero	7850
Hierro fundido	7200
Aleaciones de aluminio	2800
Arena, limo o arcilla compactados	1925
Arena, limo o grava sueltos	1600
Arcilla blanda	1600
Grava, macadan o balasto compactado a rodillo	2250
Madera dura	960
Madera blanda	800
Rieles para tránsito, durmientes y fijadores por vía	300 kg/m

Nota: Tomado de “Puentes y obras de arte” redactado por Arturo Rodríguez

Fuente: Arturo Rodríguez, (2012)

En este punto las cargas por peso propio serán definidas por el pre-dimensionamiento de la estructura en cuestión, y debe ser exacta, no puede ser disminuida o aumentada, ya que de esto depende la limitación de la longitud de los vanos que se deben al peso muerto de las estructuras.

Para nuestro caso ya que el puente Sumbay se encuentra en funcionamiento y no tenemos expedientes técnicos que nos especifiquen sus dimensiones completas, se realizó una medición de los elementos estructurales faltantes. De esa forma conocer con exactitud sus dimensiones y hallar el valor de las cargas muertas (DC).

2.4.2. Cargas de suelo

En cuanto a las cargas de suelo, el Ministerio de Transportes indica que son las cargas que inciden en estribos y partes de la estructura que puedan retener la tierra, que debe de ser rediseñado para poder resistir las presiones de empuje del suelo, sobrecarga del suelo y la fricción superficial negativa. (EH, ES, DD), cálculos que deben de ser basados en la mecánica de suelos. (Ministerio de Transportes, 2018, p. 90)

2.4.3. Deformaciones impuestas

Las deformaciones impuestas son definidas por el Ministerio de Transportes como esfuerzos originados por contracción de fragua, podría también darse por el flujo plástico en los elementos de concreto o de madera, son esfuerzos residuales generados por el proceso de laminado o soldadura de elementos de acero, que traen posibles defectos de construcción. (Ministerio de Transportes, 2018, Pág. 90)

2.5. Cargas variables

2.5.1. Cargas durante la construcción

Las cargas durante la construcción de acuerdo al Ministerio de Transportes son consideradas como “todas las cargas debidas a los pesos de materiales y equipos que sean requeridos durante la construcción, también se refiere a las cargas de peso propio y a otras que puedan ser permanentes en el proceso constructivo” (Ministerio de Transportes, 2018). Es decir que se debe tener en cuenta toda carga que esté involucrada en la construcción y también el proyectista debe considerar si las cargas aplicadas pueden ser

retiradas o no. Es importante mencionar que las cargas pueden estar a favor o no, de cualquier manera, el proyectista siempre debe estar preparado de acuerdo a sus proyecciones.

En nuestro caso dichas cargas serán omitidas debido a que el puente ya se encuentra construido.

2.5.2. Cargas vivas

Las cargas vivas son definidas por la AASHTO como los pesos de los vehículos más los efectos derivados por su naturaleza mecánica y móvil. En nuestro caso al ser un puente ferroviario, no sería necesario considerar la carga peatonal, distinto al caso de puentes urbanos. Se deben considerar las cargas reales que circulan por el puente, que pueden ser de una magnitud, así como una distribución variada, en nuestro caso analizaremos las cargas en base al ferrocarril y a la carga de las mineras involucradas, las cargas máximas legales, en cuanto a estas son las que se están autorizadas en el país y las del diseño, donde se consideran las cargas para el diseño estructural. Es decir, aquella que es calculada por el proyectista. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012)

Cargas Dinámicas son un factor de diseño que garantizara la seguridad del puente que se podrían denotar como factor de seguridad. Este valor será considerado como “incremento de cargas vivas por efectos dinámicos”. (Manual de puentes del ministerio de trasportes y comunicaciones, 2018 pág. 97)

Tabla 6: Factor de incremento de 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%

Nota: Tomado de “Manual de puentes”

Fuente: Ministerio de trasportes y comunicaciones, (2018)

Fuerzas centrífugas que en nuestro caso no aplican son también consideradas en el diseño de puentes estas serán referidas a la fuerza radial y efectos de vuelco aplicada en los ejes del vehículo, están en función de la velocidad del vehículo, aceleración de gravedad y radios de curvaturas.

Fuerzas de frenado y fuerzas de colisión siendo este último en nuestro caso no aplicable ya que el puente dispone de un solo carril de circulación. En tanto a la fuerza de frenado se considerará el mayor según los 2 casos que plante el Manual de puentes del ministerio de trasportes.

- “25 % de los pesos por eje del camión de diseño o tandem de diseño
- 5 % del camión de diseño más la carga del carril o 5 por ciento del tandem de diseño más la carga del carril.” (Manual de puentes del ministerio de trasportes y comunicaciones, 2018 pág. 98)

La carga de viento total no se deberá tomar menor que 449 kg/m en el plano de un cordón a barlovento ni 224 kg/m en el plano de un cordón a sotavento de un componente reticulado o en arco, ni se deberá tomar menor que 449 kg/m en componentes de vigas o vigas cajón. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018, p. 107)

Tabla 7: Presiones Básicas de viento PB

Tabla 3.8.1.2.1-1 Presiones básicas P_B correspondientes a $V_B = 160$ km/h

COMPONENTE DE LA SUPERESTRUCTURA	CARGA A BARLOVENTO (kg/m ²)	CARGA A SOTAVENTO (kg/m ²)
Reticulados, columnas y arcos	245	122
Vigas	245	No Aplicable
Grandes superficies planas	194	No Aplicable

Nota: La tabla representa las presiones básicas de viento

Fuente: Puentes con ASSHTO-LRFD, (2014)

2.6. Diseño por factores de carga y resistencia

Los puentes tienen que estar diseñados para cumplir de forma exitosa las condiciones impuestas por los estados límite asignados en el proyecto, teniendo en cuenta todas las combinaciones de carga que pueden ser causados durante la construcción y uso del puente. Como también, deben diseñarse teniendo en cuenta su integración con el medio ambiente y cumpliendo con los requisitos de sostenibilidad y servicio necesarios de acuerdo a sus funciones, importancia y condiciones ambientales.

2.6.1. Estados Límites

Los puentes deben diseñarse teniendo en cuenta los estados límite que se asignaran, con el fin de respetar los objetivos de constructibilidad, seguridad y facilidad de servicio, así como tener consideración en términos de inspección, economía y estética.

Cada uno de los elementos estructurales en la ecuación (*Ministerio de Transportes, 2018, 2.3.2.21-1*), deben de satisfacer para todos los efectos de fuerza y combinaciones asignadas sin considerar el tipo de análisis usado.

Figura 14: Ecuación de estados Límites

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

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

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

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

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1.0 \quad 2.3.2.2.1-3 \text{ (1.3.2.1-3 AASHTO)}$$

Donde:

- 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 Secciones 5, 6, 7, 8, 10, 11, y 12.
- 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 factorizada: ϕR_n

Nota: Tomado de “Manual de diseño de Puentes” redactado por Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Fuente: Ministerio de Transportes, (2018)

En cuanto a esto se tiene que la ductilidad, redundancia y la importancia operacional serán significantes para identificar el margen de seguridad de los puentes. Se relacionan directamente a la resistencia física y también a las consecuencias de un puente inoperativo o fuera de servicio. (Ministerio de Transportes, 2003)

2.6.2. Factores de carga

Así también se tiene un cuadro de combinación de cargas en base a la resistencia, al servicio y al tipo de carga que se pueda estar evaluando, esta información fue tomada del Manual de Diseño de Puentes 2018, por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Según Ministerio de Transportes y Comunicaciones tenemos las siguientes combinaciones de cargas:

- Resistencia I: Combinación básica de carga relacionada con el uso vehicular normal, sin considerar el viento.
- Resistencia II: Combinación de carga relacionada al uso del puente mediante vehículos de diseños especiales especificados por el propietario y/o vehículos que permiten la evaluación, sin considerar el viento.
- Resistencia III: Combinación de carga relacionada al puente expuesto al viento con una velocidad mayor a 90 Km/h.
- Resistencia IV: Combinación de carga relacionada a relaciones muy altas de la carga muerta a la carga viva.
- Resistencia V: Combinación de carga relacionada al uso vehicular normal del puente considerando el viento a una velocidad de 90 Km/h.
- Evento Extremo I: Combinación de carga incluyendo sismo.
- Evento Extremo II: Combinación de carga relacionada a la carga de viento, choque de vehículos y barcos, y ciertos eventos hidráulicos con carga viva reducida, distinta de la carga de choque vehicular
- Servicio I: Combinación de carga relacionada al uso operativo normal del puente con viento a 90 km/h y con todas las cargas a su valor

nominal (sin factorizar). También está relacionada con el control de las deflexiones.

- Servicio II: Combinación de carga considerado para controlar la fluencia de estructuras de acero y el deslizamiento de las secciones críticas, debidas a la carga viva vehicular.
- Servicio III: Combinación de carga relacionada solamente a la fuerza de tensión en estructuras de concreto pretensado, con el objetivo de controlar las grietas. (2018, p. 131)

Tabla 8: Combinación de cargas

Combinación de Cargas	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Usar solamente uno de los indicados en estas columnas en cada combinación					
										EQ	IC	CT	CV		
Estado Límite															
RESISTENCIA I	γ_p	1.75	1.00			1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}						
RESISTENCIA II	γ_p	1.35	1.00			1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}						
RESISTENCIA III	γ_p		1.00	1.40		1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}						
RESISTENCIA IV Solamente EH, EV, ES, DW, DC	γ_p 1.5		1.00			1.00	0.50/1.20								
RESISTENCIA V	γ_p	1.35	1.00	0.40	0.40	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}						
EVENTO EXTREMO I	γ_p	γ_{EQ}	1.00			1.00				1.00					
EVENTO EXTREMO II	γ_p	0.50	1.00			1.00					1.00	1.00	1.00		
SERVICIO I	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}						
SERVICIO II	1.00	1.30	1.00			1.00	1.00/1.20								
SERVICIO III	1.00	0.80	1.00			1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}						
FATIGA - Solamente LL,IM y CE		0.75													

Nota: Tomado de “Manual de diseño de Puentes” redactado por Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Fuente: Ministerio de Transportes, (2018)

De la tabla anterior se tiene qué solamente se debe usar uno de los valores indicados en las columnas en cada combinación. Los factores de carga para varias cargas se derivan de la combinación en base al estado límite de cada una. Teniendo en cuenta los factores de carga para producir el efecto factorizado extremo total.

En el Manual de Diseño de puentes indican que cuando la carga es permanente esta va a incrementar la estabilidad de la carga o de algún componente o también de todo el puente, es en este caso que se evaluará la posibilidad de la combinación de cargas.

Tabla 9: Factores de cargas

TIPO DE CARGA	FACTOR DE CARGA	
	Máximo	Mínimo
DC : Componentes y Auxiliares	1.25	0.90
DD : Fuerza de arrastre hacia abajo	1.80	0.45
DW : Superficies de Rodadura y Accesorios	1.50	0.65
EH : Presión horizontal de tierra * Activa * En reposo.	1.50	0.90
	1.35	0.90
EV : Presión vertical de tierra * Estabilidad global * Estructuras de Retención * Estructuras Rígidas Empotradas * Pórticos Rígidos * Estructuras Flexibles empotradas excepto alcantarillas metálicas * Alcantarillas Metálicas	1.35	N/A
	1.35	1.00
	1.30	0.90
	1.35	0.90
	1.95	0.90
	1.50	0.90
ES : Carga superficial en el terreno	1.50	0.75

Nota: Tomado de “Manual de diseño de Puentes” redactado por Ministerio de Transportes y Comunicaciones,

Fuente: Ministerio de Transportes, (2018)

Se indican así los factores de carga con valores máximos y mínimos según sea necesario.

2.7. Regulaciones y reglamentación relacionada a ferrocarriles

En función a esto se tiene que en el 2006 se emite el reglamento para ferrocarriles, en El Peruano, de donde principalmente se tiene que en el Artículo 6:

“Las vías férreas del país se clasifican: por el ámbito territorial en que se encuentran, por la titularidad de la empresa; y por la máxima velocidad de operación permisible” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

De donde es importante resaltar que según la máxima velocidad de la operación permisible la clasificación va de acorde a la siguiente tabla:

Tabla 10: *Máxima velocidad de operaciones permitidas*

Clase de Vía	Máxima Velocidad de Operación Permitida	
	Trenes de Mercancías (Km/Hora)	Trenes de Pasajeros (Km/Hora)
1	16	24
2	40	48
3	64	96
4	96	128
5	128	144

Nota: Tomado de “Reglamento Nacional de Ferrocarriles” - RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 002-2006-PRODUCE/DNEPP” redactado por el Congreso de la República

Fuente: Congreso de la República, (2006)

Según el decreto supremo N° 012-78-TC que pone en vigencia el nuevo reglamento general de ferrocarriles. Nos indica en el Art. 90 la clasificación de vías de ferrocarril según su tonelaje máximo por eje y por metro de vehículo siendo este el parámetro de diseño a utilizar en el estudio, tenemos lo siguiente:

Tabla 11: *Clasificación de vías según su tonelaje.*

Categoría	Trocha	Tonelaje Máximo por eje (P)	Tonelaje Máximo por metro de vehículo (N)
A	914	13	3.7
	1435	15	5.4
B	914	15	5.4
	1435	19	7.5
C	914	17	6.0
	1435	25	9.0

P = El peso máximo por eje;
N = El peso máximo por metro del vehículo, que se determina dividiendo el peso total del vehículo (carga máxima+tara) por la longitud entre paragolpes o superficie de contacto de los enganches automáticos.

Nota: Tomado de “Reglamento general de ferrocarriles”

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (1976)

Art. 92: Las Organizaciones Ferroviarias procurarán como mínimo, adecuar las vías para el tráfico internacional a la categoría B.

2.8. Mantenimiento de puentes

En este punto nos basaremos en la información presentada en el manual de mantenimiento rutinario, presentado por el Ministerio de Transporte, donde se afirma que cualquier tipo de mantenimiento vial tiene como principales objetivos preservar la inversión, se habla también de transitabilidad y garantía.

También menciona que las vías deben ofrecer comodidad y seguridad, así como el uso eficiente de los recursos destinados al mantenimiento. Es entonces cuando al entrar a tallar los tipos de mantenimiento, teniendo el mantenimiento rutinario y periódico.

En la siguiente Figura, se puede ver lo que determina el Ministerio de Transporte en cuanto al mantenimiento de caminos sin pavimentar.

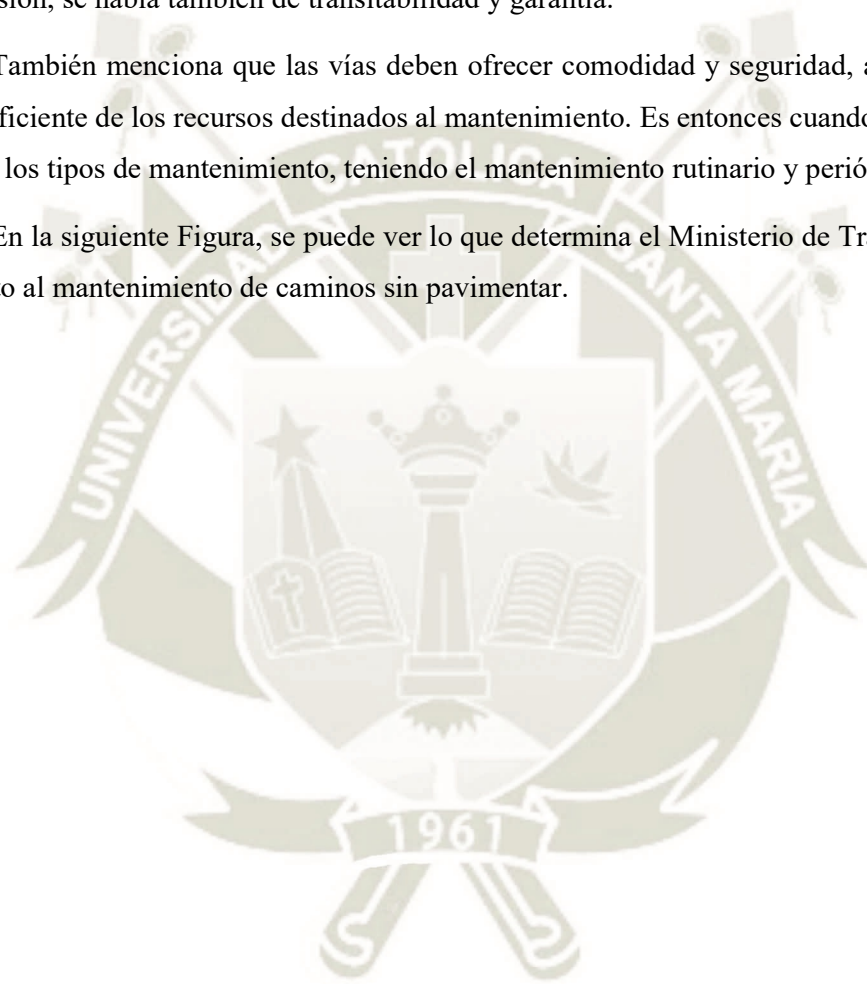


Tabla 12: Actividades de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA LA RED VIAL DEPARTAMENTAL NO PAVIMENTADA			
Código	Elementos, Entorno y Operación del Camino	Actividades	
MR1	LA PLATAFORMA	Limpieza de la plataforma	
MR2		Bacheo en afirmados	
MR3	LAS OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE	Limpieza de cunetas	
MR4		Reconformación manual de cunetas no revestidas	
MR5		Reparación menor de cunetas revestidas	
MR6		Limpieza de zanjas de coronación	
MR7		Reparación menor de zanjas de coronación	
MR8		Limpieza de alcantarillas	
MR9		Reparación menor de alcantarillas	
MR10		Limpieza de canales y aliviaderos	
MR11		Reparación menor de canales y aliviaderos	
MR12		Limpieza de disipadores de energía	
MR13		Reparación menor de disipadores de energía	
MR14		Mantenimiento de subdrenajes	
MR15		EL DERECHO DE VÍA	Limpieza del derecho de vía
MR16			Roce de la franja del derecho de vía
MR17	Manejo de la vegetación mayor		
MR18	Desquinche manual de taludes		
MR19	Remoción de pequeños derrumbes		
MR20	LAS OBRAS DE ARTE	Apoyo para la inspección de obras de arte	
MR21		Limpieza de puentes y pontones	
MR22		Limpieza de cauces	
MR23		Limpieza de badenes	
MR24		Limpieza de muros	
MR25	LA SEÑALIZACIÓN Y LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD VIAL	Mantenimiento de las señales verticales	
MR26		Mantenimiento de hitos kilométricos o postes de referencia	
MR27		Mantenimiento de guardavías	
MR28	EL MEDIO AMBIENTE	Pintado de cabezales de alcantarillas, barandas de puentes, sardineles de pontones, elementos visibles de muros y otros elementos	
MR29		Siembra de vegetación nativa	
MR30		Descontaminación visual	
MR31	OPERACIÓN VIAL	Mitigación de impactos ambientales del mantenimiento rutinario	
MR32		Atención de emergencias viales menores	
MR33		Cuidado y vigilancia de la vía	

Nota: Tomado de “Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial No Pavimentada” redactado por el Ministerio de Transportes

Fuente: Ministerio de Transportes, (2006)

Estos son entonces los elementos de "obra de arte" (puentes), que bajo los códigos MR 21, 22, 23 y 24 son considerados para el mantenimiento y limpieza de puentes.

Se incluye también un formato acerca del mantenimiento (**Figura 15**).

Figura 15: *Apoyo Para La Inspección De Obras De Arte*

NORMA DE EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL NO PAVIMENTADA	
ELEMENTO DE LA VÍA: OBRAS DE ARTE	
CÓDIGO: MR20	ACTIVIDAD: APOYO PARA LA INSPECCIÓN DE OBRAS DE ARTE
I. DESCRIPCIÓN: Consiste brindar apoyo al Supervisor en la labor de inspección de obras de arte, mediante trabajos de roce, limpieza y eliminación de basuras y todo material extraño que dificulte la inspección.	
II. OBJETO: Posibilitar la planificación del mantenimiento de las obras de arte. Detectar posibles causas de inestabilidad de las estructuras.	
III. MATERIALES: No aplica.	
IV. EJECUCIÓN IV.1. CRITERIO DE EJECUCIÓN: Se realizará con base en el plan de inspección de obras de arte diseñado por el Supervisor.	
IV.2. MANO DE OBRA	IV.5. PROCEDIMIENTO
Trabajadores	1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. 2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas. 3. Ejecutar los trabajos requeridos para inspeccionar la superestructura, la infraestructura y todos los elementos de puentes, pontones, badenes y muros. 4. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
IV.3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	
Lampas Picos Barretas Machetes Sogas Arnés Escalera Carretillas Cámara fotográfica	
IV.4. MATERIALES	
Ninguno	VI. UNIDAD DE MEDIDA unidad (u)
V. CONDICIONES DE RECEPCIÓN El Supervisor verificará que los trabajos de limpieza estén ejecutados.	VII. INDICADOR DE APROBACIÓN Obra de arte limpias para inspección
	VIII. FORMA DE PAGO De acuerdo a lo establecido en el contrato

Nota: Tomado de “Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial No Pavimentada”

Fuente: Ministerio de Transportes, (2006)

2.8.1. Mantenimiento rutinario

El Ministerio de Transportes, define al mantenimiento rutinario:

Es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía. Tiene como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. (Ministerio de Transportes, 2006)

De esta definición podemos ver que los mantenimientos rutinarios (Mantenimiento Preventivo) son fundamentales para garantizar el funcionamiento de las vías, en nuestro caso, de los puentes.

En específico para el caso de puentes, el Ministerio de Transportes define a los puentes como las partes más importantes de los caminos.

Se señalan como puntos específicos respecto a los puentes y mantenimiento rutinario, por un lado, la limpieza de la estructura en cuestión, en nuestro caso el Puente Sumbay, el cual debe tener un mantenimiento rutinario que elimine materias extrañas o la basura, piedras, vegetación que se puede encontrar en el tablero del puente, limpieza de las vigas y pintura requerida en caso de seguridad vial.

2.8.2. Mantenimiento periódico

Para el caso del mantenimiento periódico, podemos observar que el Ministerio de Transportes lo define como:

El conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de este mantenimiento son la reconfiguración de la plataforma existente y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino. En los sistemas tercerizados de mantenimiento vial, también se incluyen actividades socio-ambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía. (Ministerio de Transportes, 2006)

En cuanto a esto, tenemos también que es importante, los mantenimientos en el puente Sumbay, tema que se tratará más adelante en el análisis de la situación actual del puente.

2.8.3. Mantenimiento de vías férreas

En este punto se va a tratar en específico el mantenimiento de las vías férreas, apoyados en el documento de FTSA o Ferrocarril Transandino S.A., donde en su Plan de Negocios del 2016 detalla sus principales funciones, dentro de las cuales indica ser

“responsable del mantenimiento y rehabilitación de la vía férrea y estaciones” entonces, consideramos importante mencionarlo en esta parte.

En cuanto al mantenimiento de la vía, primero se tiene el ciclo de mantenimiento de la vía férrea, como se puede observar en la (Figura 16).

Figura 16: Ciclo de mantenimiento de la vía férrea

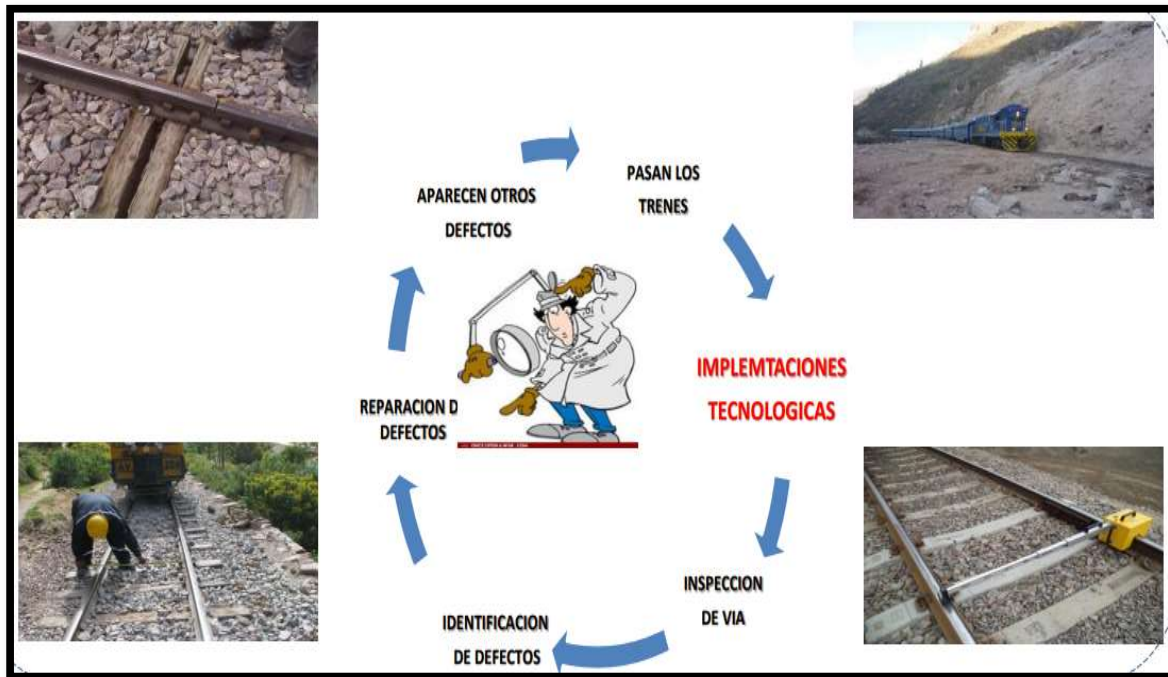


Nota: Tomado de “Plan de negocios 2016” redactado por el Ferrocarril Transandino S.A,

Fuente: Ferrocarril Transandino S.A, (2016)

Donde podemos observar que el ciclo consiste en el paso de los trenes, luego se procede a la respectiva inspección de la vía para identificar y determinar los defectos, posteriormente se procede a repararlos. Es en este ciclo que se incorpora un factor importante, la implementación tecnológica, que puede ayudar a prevenir o corregir defectos según sea necesario, como podemos observar en la siguiente.

Figura 17: Ciclo mejorado del mantenimiento de la vía férrea



Nota: Tomado de “Plan de negocios 2016” redactado por el Ferrocarril Transandino S.A,

Fuente: Ferrocarril Transandino S.A, (2016)

Donde se observa que las implementaciones tecnológicas son incorporadas luego de que pasan los trenes, para poder ser analizadas y tomar medidas correctivas en caso sea necesario y así minimizar las fallas o defectos.

Para el caso del mantenimiento de puentes también se debe tener en consideración el documento del Ministerio de Transportes, Manual de Carreteras y conservación vial, que en el volumen o capítulo 11 toca el tema de mantenimiento de puentes y páginas más adelante la interacción con puentes ferroviarios, de donde se tiene que debe haber una conservación de cauces, la limpieza de puentes y pontones, entre otros. Indica que principalmente en el caso de puentes:

El objetivo es que los puentes y los pontones de concreto, metálicos y de madera, estén libres de basuras, vegetación y materiales que no formen parte de esta infraestructura vial. Además, se pretende que las obras estén libres de insectos, roedores, murciélagos y colonias de aves que puedan afectar la estructura y la seguridad y comodidad de los usuarios. Asimismo, se busca

que estén limpios de letreros o de avisos distintos a la señalización formal de la vía. (Ministerio de Transportes, 2006)

2.9. Guía Para Inspección De Puentes

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica:

Una infraestructura vial adecuada es esencial para el desarrollo socioeconómico del país. En un contexto geográfico como Perú, con parte de su población ubicada en áreas rurales, las carreteras cobran importancia para la integración e interconexión del país. Por esta y otras razones, es muy importante que la red vial nacional se mantenga en buenas condiciones de viabilidad, para que el transporte se realice de manera eficiente y segura.

En muchos casos, los puentes son la parte más vulnerable de una carretera y, según una metáfora, una cadena no es más fuerte que su eslabón más débil; Los puentes suelen ser los elementos que influyen en la continuidad del servicio de transporte para que se brinde de manera permanente y segura, promoviendo en general el buen funcionamiento de la red vial nacional del país.

El estado de los puentes de la red vial peruana varía considerablemente. Muchas estructuras con más de cincuenta años de uso generalmente sufren daños debido a la falta de un mantenimiento adecuado, más que a la antigüedad. Algunas de las estructuras se encuentran en estado crítico con respecto a su estabilidad estructural y capacidad de carga, y en estas condiciones la seguridad vial implica altos niveles de incertidumbre asociados con riesgos crecientes.

Además, los puentes se ven afectados, entre otros aspectos, por sobrecargas, la influencia del medio ambiente, fenómenos naturales como terremotos e inundaciones, que provocan su deterioro.

El fenómeno climático periódico conocido como "El Niño" es el factor natural que más afecta el estado de la red vial peruana. Provoca fuertes lluvias e inundaciones, que a menudo causan grandes pérdidas económicas y sociales, que se reflejan en pérdidas en infraestructura, producción y, en general, actividad económica en el Perú.

Este fenómeno se repite intensamente periódicamente. La más reciente y con graves consecuencias ocurrió en 1998; Muchas estructuras de puentes se vieron afectadas en esta ocasión. (2006, p. 2)

2.9.1. Inspección

Según el Ministerio de transportes y comunicaciones las Acciones en el campo propiamente dichas son:

- Se debe verificar la ubicación y el nombre del puente programado para la inspección.
- Se deben tomar las medidas de seguridad necesarias.
- La inspección debe comenzar con la toma de una foto de identidad del puente.
- Se debe tomar una fotografía del acceso al puente.
- El estado de cada elemento del puente debe ser inspeccionado y calificado (estribos, pilares, alas, tablero, losas, vigas, diafragma, elementos de arco, celosías, elementos de puente colgante, dispositivos de apoyo, junta de expansión, superficie de rodadura, aceras, barandillas, señalización, accesos, taludes, defensas, canal, etc.).
- Las pendientes y estructuras de protección en los extremos del puente deben ser inspeccionadas y calificadas.
- Se deben tomar fotografías en los diferentes tipos de pilares y pilares.
- Los pilares, soportes, el canal y la parte de la superestructura deben ser revisados y calificados.
- Se debe tomar una foto de la elevación del puente, en la que se pueda apreciar la subestructura y superestructura.
- Se debe calificar la condición del puente en general. (2006, p. 12)

2.9.2. Acciones Para Detectar Daños Más Comunes.

Se debe inspeccionar:

a. Componentes de Madera

Según el ministerio de transportes y comunicaciones tenemos lo siguiente:

El daño común a los componentes de la madera es causado por hongos, humedad, plagas y ataques químicos. El deterioro de la madera puede ser causado por fuego, impacto o colisión, abrasión o desgaste mecánico, exceso de trabajo, intemperismo y flexión (deformación o combadura). Estos pueden inspeccionarse mediante exámenes visuales y físicos.

El examen visual puede detectar moho y hongos, daños por plagas, deformación excesiva, grietas, vibraciones y conexiones sueltas. El inspector examinará visualmente el alcance del daño y lo documentará adecuadamente en los informes de inspección. En cuanto a los exámenes físicos, se utilizarán técnicas tanto destructivas como no destructivas. (2006, pp. 12-13)

b. Componentes de Concreto

“El daño común a los componentes del concreto incluye agrietamiento, escamas, de laminación, astillado, protuberancia, desgaste o abrasión, daño por colisión, pulido y sobrecarga” (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006).

Las grietas en el hormigón son generalmente delgadas para ser vistas a simple vista. Se clasifican en fisuras finas, medianas o grandes. Los primeros suelen ser insignificantes para la capacidad de la estructura, pero deben marcarse como advertencia. Las grietas medianas y grandes son importantes para la capacidad estructural y deben registrarse y monitorearse en los informes de inspección. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p.13)

Las grietas pueden ser estructurales y no estructurales según el ministerio de transportes y comunicaciones:

- Las grietas estructurales requieren atención inmediata, ya que afectan la capacidad del puente.
- Las grietas no estructurales son causadas por la expansión térmica y la

contracción de la fragua; En losas, se deben tomar precauciones especiales, ya que la filtración de agua de lluvia puede provocar la corrosión de la armadura. (2006, p- 13)

Estos pueden inspeccionarse mediante exámenes visuales y físicos:

- La inspección visual observa el deterioro primario, como grietas y manchas de óxido. Un inspector debe reconocer que no todas las grietas tienen la misma importancia. Las manchas de óxido son uno de los signos de corrosión del refuerzo de acero en elementos de hormigón. La longitud, la dirección, la ubicación y la extensión de las grietas y las manchas de óxido deben medirse e informarse en las notas de inspección. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 14)
- Los exámenes físicos más comunes son el sondeo con martillo (martilleo) y la cadena de arrastre. El primero se utiliza para detectar áreas de hormigón hueco y, en general, para detectar delaminación. Para áreas grandes, el arrastre de cadena puede usarse para evaluar la integridad del concreto con una confianza razonable, aunque en las losas estos no son métodos completamente seguros. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 14)

c. Componentes de Acero

“Los daños comunes a los componentes de acero incluyen corrosión, grietas, daños por colisión y tensión excesiva” (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006).

Las grietas generalmente comienzan en la conexión, en el extremo posterior de la soldadura o en un punto corroído en un miembro y luego se propagan a través de su sección transversal. Los inspectores deben considerar cuidadosamente cada una de las posibles ubicaciones de grietas. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 14)

La forma más conocida de deterioro del acero es la corrosión como nos indica el ministerio de transportes y comunicaciones tenemos.

En los componentes de acero, uno de los tipos más comunes de daño es el agrietamiento por fatiga; estos se desarrollan en estructuras de puentes debido a cargas repetitivas.

El inspector identificará los detalles de la construcción que probablemente se encuentren en fatiga y realizará una inspección completa de estos. Para estructuras pintadas, la rotura de la pintura acompañada de manchas de óxido indica la posible existencia de una grieta por fatiga.

Si se sospecha que hay una grieta, se limpiará el área y se organizará una inspección visual de cerca. Además, se pueden proporcionar otras pruebas, como tintes penetrantes, para identificar la grieta y determinar su extensión. Si existen o se descubren grietas por fatiga, se deben realizar inspecciones adicionales.

La tensión excesiva de los componentes puede ser el resultado de muchos factores, como pérdidas de sección compuesta, pérdidas de arriostramiento y falla o asentamiento del miembro de soporte. Los síntomas de daño debido a la sobrecarga son alargamientos inelásticos o una disminución en la sección transversal del acero en los miembros de tensión y pandeo en los miembros de compresión.

Los daños causados por la colisión de un vehículo, incluida la pérdida de sección, las grietas y la deformación de las formas, se documentarán cuidadosamente y las reparaciones deben comenzar de inmediato. Hasta que se completen las reparaciones, se recomienda restringir el tráfico de vehículos según los resultados del análisis de tasación. (2006, p. 14)

d. Componentes Sumergidos

Corresponde a componentes de la subestructura.

“Se requiere equipo especial para inspeccionar los componentes sumergidos; Asimismo, para la visibilidad, se debe utilizar un equipo de iluminación adecuado. Los componentes de las estructuras de acero son susceptibles a la corrosión, especialmente en áreas afectadas por la humedad” (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006).

e. Juntas

Los daños en las juntas son causados por, temperaturas extremas y acumulación de tierra y escombros. Los daños por escombros y tránsito de vehículos pueden causar que la junta sea rasgada, que los anclajes sean arrancados, o sean removidos totalmente. La función primaria de la junta es acomodar la expansión y contracción de la superestructura del puente. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 16)

f. Apoyos

Se pueden clasificar en dos grupos: metálicos y elastómeros.

Los soportes metálicos pueden dejar de funcionar debido a la corrosión, la acumulación de escombros u otras interferencias. Los soportes congelados pueden hacer que las extremidades se doblen, onduelen y desalineen. Otros tipos de daños son pérdidas de seguros, rotura de soldaduras, corrosión en la superficie deslizante. El daño a las placas de respaldo elastoméricas es: abultamiento excesivo, rotura o desgarro, falla por corte y deslizamiento. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 16)

2.9.3. Pruebas En Los Componentes De Un Puente

Para programar una reparación o mantenimiento de un puente, es necesario obtener más información sobre el estado del material existente que el obtenido con inspección visual. Por esto, es importante revisar los conceptos técnicos sobre pruebas de los Componentes de un Puente, para facilitar el trabajo de inspección en campo y la preparación de su Informe de Inspección. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 71)

2.9.4. Reconocimiento De La Corrosión Del Acero Concreto Armado

Existen varias pruebas para examinar el deterioro de un artículo debido a la Corrosión del acero dentro del concreto. La detección de delaminación se realiza golpeando en el tablero Concreto para exponer las grietas internas causadas por la corrosión del acero de refuerzo, quedando las marcas en la

superficie. Las zonas donde se produce este tipo de deterioro están marcadas en el campo. La superficie y el mapa se utilizan como informe de inspección. (360enConcreto, 2016)

Figura 18: *Delaminación del concreto por corrosión del acero*



Nota: Imagen nos muestra la corrosión en el acero

Fuente: 360enConcreto, (2016)

2.9.5. Inspección Radiográfica

Se puede utilizar para localizar grietas, refuerzos de acero y huecos internos en hormigón. Puede penetrar hasta 200 mm de hormigón.

Figura 19: *Equipo de Rayos x*



Nota: Imagen tomada de "Equipos de rayos X" buqueland

Fuente: Buqueland, (2014)

Es un método no destructivo pero que requiere acceso a la en la parte posterior del elemento. Es muy caro y debe ser utilizado con precaución debido a los posibles peligros para la salud Rayos X.

2.9.6. Pruebas En Elementos De Acero

Las estructuras metálicas son un elemento constructivo que se puede encontrar tanto en entornos industriales como en construcciones de ingeniería civil. La clave de su uso generalizado son las buenas características de resistencia y durabilidad. A su vez, el metal más utilizado es el acero, especialmente la mezcla hierro-carbono. Sin embargo, este tipo de estructuras también están expuestas a diversas condiciones que pueden llevarlas a desencadenar patologías que afecten a su integridad. (Ingenierosasesores, 2019)

2.9.7. Líquidos Penetrantes

“Los ensayos con líquidos penetrantes son un tipo de ensayo no destructivo con el que es posible detectar defectos superficiales en materiales no porosos, tanto en materiales metálicos como en materiales no metálicos” (Scisa, 2021).

Este tipo de ensayo consiste básicamente en aplicar un líquido con alto poder humectante a la superficie del material a ensayar. Debido al efecto de la capilaridad, penetrará en las discontinuidades. Finalmente, el exceso que quede en la superficie se eliminará mediante un sistema de limpieza adecuado y la posterior aplicación por parte de un revelador podrá extraer el líquido previamente pegado en las discontinuidades y mostrar su ubicación. (Scisa, 2021)

Figura 20: Aplicación de líquidos penetrantes

Nota: Imagen Tomada de “*Líquidos penetrantes*”

Fuente: SCI control & inspección, (2014)

2.9.8. Pruebas Con Partículas Magnéticas

Con esta prueba, las fisuras se localizan en la superficie de los elementos de acero, introduciendo un campo magnético. Las partículas magnéticas son fluorescentes las cuales están suspendidas en un líquido espeso. Su campo magnético atrae las partículas a las discontinuidades de la superficie de los elementos de acero. El método es rápido y económico, aunque solo se aplica a defectos superficiales. (Scisa, 2021)

2.9.9. Pruebas Ultrasónicas

Este método utiliza ondas de sonido para localizar grietas o defectos dentro de los elementos de acero. Es ampliamente utilizado en uniones de terminales soldadas. Es más eficaz para identificar grietas perpendiculares en lugar de paralelas a la dirección de la onda de sonido. Es una prueba no destructiva y se también se puede utilizar para medir espesores de elementos.

Figura 21: Aplicación de pruebas ultrasónicas



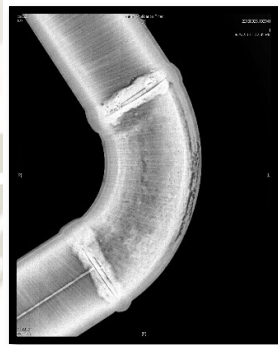
Nota: Imagen Tomada de “*Pruebas Ultrasónicas*” Sintoamerica

Fuente: Sintoamerica, (2014)

2.9.10. Inspección Radiográfica

Las grietas se localizan con la ayuda de películas y una fuente de Rayos X o gamma, colocados en el lado opuesto del elemento, que obtiene un registro permanente. Puede penetrar hasta 350 mm sobre acero.

Figura 22: Aplicación de pruebas Radiográficas



Nota: Imagen Tomada de “*Pruebas Radiográficas*”. Scisa

Fuente: Scisa, (2014)

El método es caro, difícil de usar y con riesgo para la salud del operador.

2.9.11. Inspección Visual

La inspección visual nos permite determinar grietas, corrosión y deformaciones. Esto debe completarse mediante una auscultación mediante métodos topográficos, magnéticos, eléctricos y químicos para determinar los desplazamientos, las posiciones de las armaduras y aproximarse a la determinación del grado de corrosión de las armaduras. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 17)

Los diferentes elementos a inspeccionar se agruparán en tres divisiones principales:

a. Cimentaciones

El ministerio de transportes y comunicaciones no indica que para cimentaciones tenemos:

Normalmente, la inaccesibilidad de la cimentación hace que las posibles averías deban detectarse de forma indirecta, mediante señales en la superestructura o en forma de movimientos excesivos, fisuras, etc. En las posibles fallas de cimentaciones, cabe destacar la utilidad de dos actividades: nivelación de cubierta e inspecciones subacuáticas.

Normalmente existe una amplia variedad de defectos y deterioros observables en estribos, pilares y sistemas de soporte, que pueden indicar otros problemas relacionados con la cimentación, estabilidad, infiltración y disfunción de los soportes, etc. (2006, p. 17)

b. Superestructura

“La inspección de los componentes de la superestructura y los daños que presentan varían en particular según el tipo de puente” (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006).

c. Dispositivos básicos de protección

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica lo siguiente

Los dispositivos de protección básicos también deben inspeccionarse continuamente, incluidos los siguientes: barreras de hormigón, barandillas, dispositivos de transición y de contención básica, losas de transición, estribos, cortinas, alas, juntas de expansión, drenaje, pavimentación, arriostramiento, soporte y señalización. En general, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones básicas al inspeccionar un puente:

Al anticipar los problemas y tomar las medidas de protección adecuadas, las dificultades graves pueden minimizarse más adelante. Por ello, conviene estudiar las siguientes condiciones:

- Si hay suficiente espacio debajo de la cubierta para permitir que pase el agua. Los depósitos de arena y / o grava pueden reducir este espacio. Si hay estabilidad y buen comportamiento de los bordes y protección de los bordes.
- Posible bloqueo del canal con malezas, cercas o plantas que pueden contribuir a la socavación o al peligro de incendio. Un registro del perfil del canal proporciona información valiosa sobre la tendencia del río a erosionarse, cambiar de curso, declinar, etc.. El registro debe mantenerse actualizado, especialmente cuando hay variaciones significativas. Estas indicaciones permiten proyectar protecciones en los pilares o estribos, en particular en sus cimientos. (2006, p. 17)

d. Estribos y pilares

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica lo siguiente:

Al inspeccionar pilares o pilares de hormigón, se deben encontrar defectos de cualquier tipo. Los más comunes son los siguientes:

- Deterioro del hormigón en la línea de agua.
- Deterioro del hormigón en la zona de los soportes.

Grietas en los estribos, especialmente donde el cuerpo y las alas se encuentran. Estas grietas deben observarse a lo largo del tiempo para ver si

aumentan. Si estas grietas son pronunciadas, sugieren que hay un movimiento estructural que puede ser causado por problemas de cimentación. (2006, p. 18)

e. Aparatos de apoyo

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica lo siguiente:

Los dispositivos de apoyo, ya sean fijos o móviles, deben examinarse para asegurarse de que funcionan correctamente. El mal comportamiento de los soportes puede ser la causa de movimientos de pilares o estribos.

Si existe este tipo de problema, se debe realizar la siguiente inspección:

- Observe si los pernos de anclaje están dañados o si es necesario ajustar las tuercas.
- Compruebe si los elementos de expansión permiten el movimiento según su diseño.
- Compruebe si hay suciedad o escombros alrededor de los dispositivos de soporte.
- Observe si existe una deformación excesiva o rotura de las placas de neopreno.
- Observe los rodillos y su condición como soporte móvil.

Los dispositivos de apoyo pueden resultar dañados por el tráfico pesado y la suciedad acumulada. Si se nota algún mal funcionamiento, se debe informar de inmediato. (2006, p. 19)

f. Vigas y largueros

“Estos elementos pueden ser de madera, acero u hormigón. Cada material presenta problemas específicos para su mantenimiento, los cuales deben ser estudiados” (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006).

g. Vigas de madera.

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica lo siguiente:

Los defectos más comunes en las vigas de madera son los siguientes:

- Grietas, deterioro, rotura, ataque de insectos y hongos.
- Falta de tratamiento superficial que permita que se desarrollen grietas longitudinales que se extiendan por toda la longitud de la viga.
- Aplastamiento en la zona de apoyo que normalmente indica debilitar o reducir la capacidad del material. (2006, p. 19)

h. Vigas de acero.

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica como las fallas mas comunes en componentes de acero:

- Óxido debajo del área de las juntas de expansión.
- Oxidación de las vigas debido al paso de la humedad por las grietas del tablero
- Deterioro de la pintura.
- Conexiones sueltas.
- Corrosión y grietas alrededor de remaches y pernos en la unión de elementos de vigas.
- Grietas en la soldadura y el metal base. (2006, p. 20)

i. Vigas de concreto.

Para estos elementos el Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica lo siguiente:

Los defectos más comunes en estas vigas son:

- Desintegración de la placa en una viga de sección en T.
- Unidades de apoyo inoperativas.
- Exposición del acero originando corrosión.
- Grietas en los extremos de las vigas.

Algunos de los defectos mencionados con respecto a las vigas de hormigón son muy significativos en las vigas de hormigón pretensado. Si hay una grieta abierta en un miembro pretensado, se debe advertir y notificar de inmediato. (2006 p. 20)

j. Reticulados

El Ministerio de transportes y comunicaciones nos indica lo siguiente:

Los reticulados se clasifican en tres categorías, según su posición respecto al tablero: Superior, intermedio o de tablero inferior.

La inspección debe comenzar mirando la línea de la barandilla para ver si hay alguna desalineación en los elementos tanto en el plano vertical como en el horizontal. Se debe inspeccionar cada miembro del enrejado, incluidos los siguientes:

- Observe la alineación de la celosía y su gradiente.
- Compruebe que los soportes de los extremos y las placas de extensión se muevan libremente.
- Compruebe que los elementos de compresión no estén torcidos.
- Observar si los arriostramientos han sido dañados por el tráfico o si se comportan mal.
- Examine la pintura y el grado de corrosión, principalmente alrededor de los pernos y las cabezas de los remaches.
- Compruebe si las clavijas de conexión están en su lugar.
- Compruebe si hay tornillos faltantes u oxidados o remaches sueltos.
- Examine los cables bajo tensión, para detectar grietas, en particular a nivel de las conexiones.
- Observe si hay pérdida de sección por corrosión del acero. (2006, p. 20)

k. Acceso al puente

“Son importantes por su conexión con el puente y deben estar nivelados. Si la transición no es suave, los efectos del impacto pueden aumentar la energía de las cargas que ingresan al puente, causando daños estructurales” (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2006, p. 22).

3. CAPITULO 3: ANALISIS Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

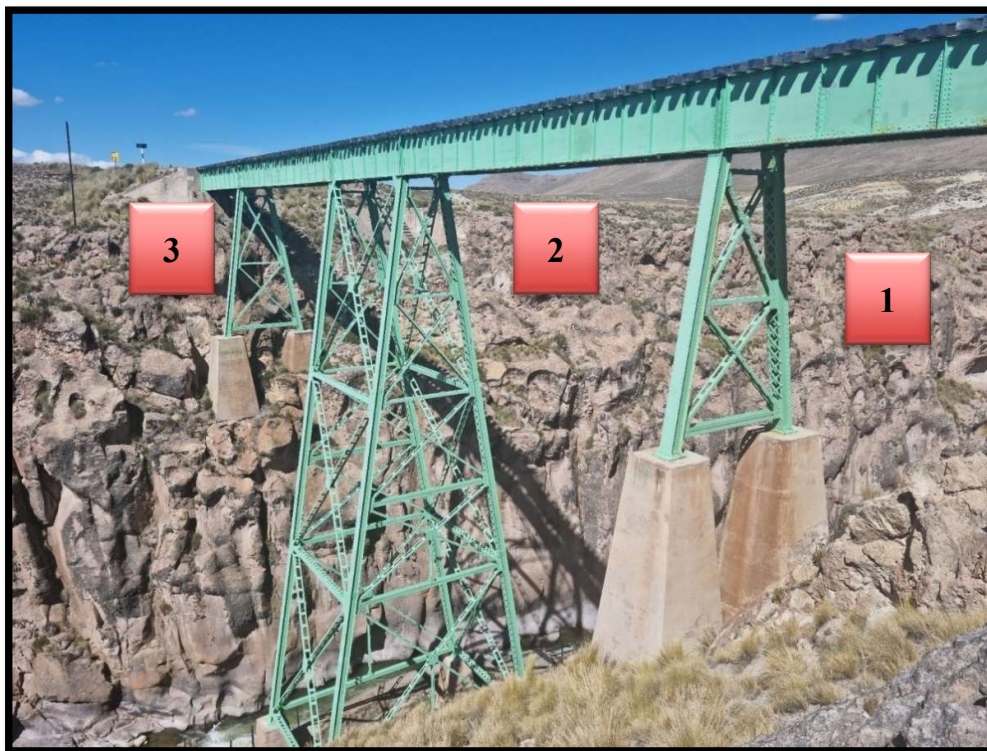
3.1. Consideraciones generales

Para iniciar con el cálculo respectivo y ya que el puente Sumbay se encuentra en operación iniciamos con una inspección previa del puente la cual nos brindó los datos del estado actual, como también los datos requeridos para realizar el modelamiento.

3.2. Evaluación y levantamiento de información de la estructura

La estructura está conformada por tres pilares que soportan una celosía principal en cuya parte principal descansa las rieles carrileras del tren acompañados de traviesas de madera.

Figura 23: Vista general del Puente Sumbay



Nota: Fotografía de “Puente Sumbay”.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Toda la estructura está conformada de acero y el conexionado presenta en su totalidad remaches.

3.2.1. Materiales y elementos estructurales

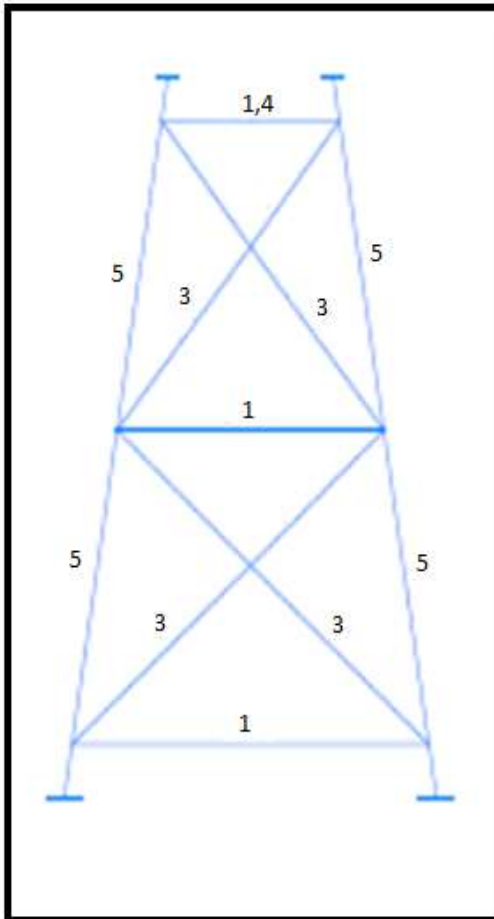
Los elementos estructurales principales están conformados de acero, para el presente estudio se consideró usar acero ASTM A-36 con un esfuerzo permisible de fluencia de 36000 PSI y un esfuerzo de rotura de 58000 PSI, el cual es un acero común y de amplio uso empleado en estructuras similares al caso evaluado.

Tanto los tres pilares como la celosía principal están unidos por remaches con diámetro de 7/8".

3.2.1.1. Pilar 1:

Conformada por dos columnas armadas de dos perfiles C15"x40 lb/pie, viguetas de 2L5"x3"x3/8" y arriostres de 2L4"x3"x3/8" todos los elementos unidos por remaches y conectores de platinas de 3/8"x2 1/2".

Figura 24: Vista general Pilar 1



Nota: Fotografía de “Ponte Sumbay Pilar I”.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Tabla 13: Perfiles detallados Pilar 1

PILAR 1						
ITEM	MAT	LONG (m)	Peso/m	Peso total	Area Superficial/m	Area total (m2)
1	2L5X3X3/8	21,69	29,16	632,48	0,41	8,81
2	Plat 2 1/2x 3/8	84,60	4,57	386,64	0,15	12,36
3	L4x3x3/8	50,97	12,65	644,75	0,36	18,12
4	L4x4x3/8	4,34	14,58	63,28	0,41	1,76
5	2C15x40	43,70	119,04	5202,52	1,09	47,78
6	PL 3/8" recubri	8,77	74,69	655,06	8,77	8,77
Total (kg)				7584,73	Total (m2)	97,61

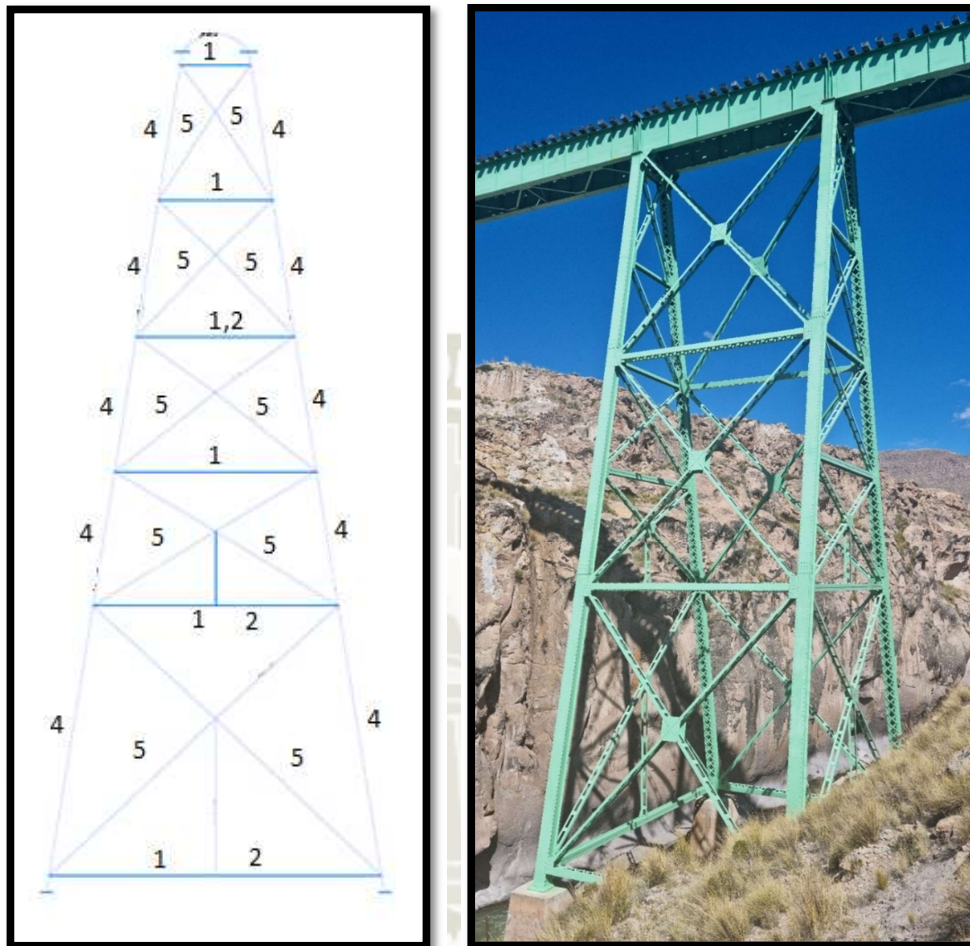
Nota: Tabla metrados de "Perfiles Pilar 1"

Fuente: Elaboración Propia (2021)

3.2.1.2. Pilar 2:

Conformada por cuatro columnas armadas de dos perfiles C15"x40lb/pie, vigas de 2C10"x20lb/pie, viguetas de 2L5"x3"x3/8" y arriostres de 2L4"x3"x3/8" todos los elementos unidos por remaches y conectores de platinas de 3/8"x2 1/2".

Figura 25: Vista general Pilar 2 (Central)



Nota: Fotografía de “Puente Sumbay Pilar 2”.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Tabla 14: Perfiles detallados Pilar 2

Pilar 2							
ITEM	MAT	LONG (m)	Peso/m	Peso Total (kg)	Area Superficial/m	Area total(m2)	
1	2L5X3X3/8-3/8	148,816	29,16	4339,47	0,41	60,48	
2	C10X20	106,750	29,76	3176,88	0,77	81,88	
3	Plat 2 1/2 x3/8	796,000	4,57	3637,72	0,15	116,30	
4	2C15X40	234,920	119,04	27964,88	1,09	256,81	
5	L 4X3X3/8	713,560	12,65	9026,53	0,36	253,74	
6	PL 3/8 Lateral	46,864	74,69	3500,27	46,86	46,86	
				Total (kg)	51645,76	Total (m2)	769,21

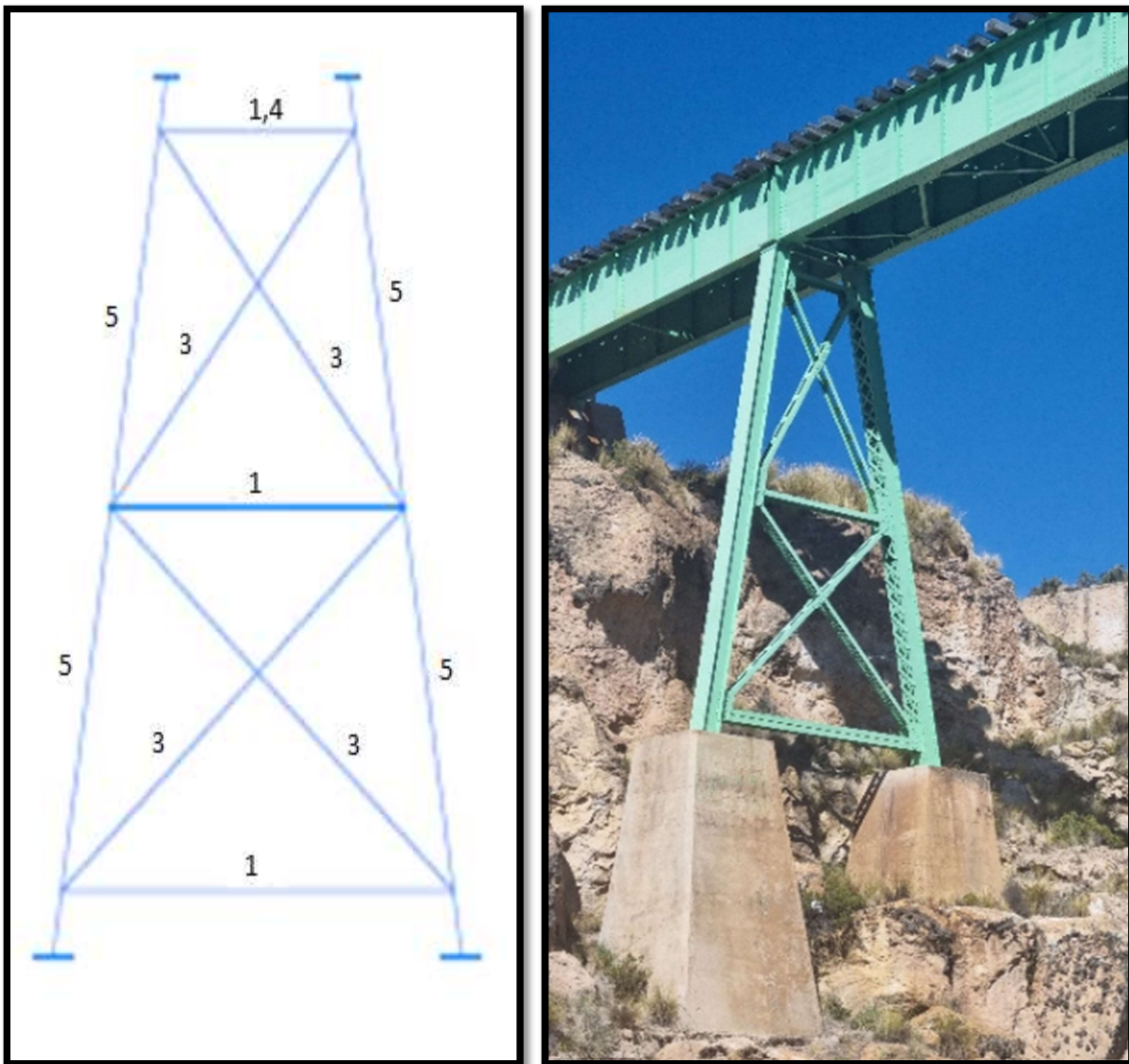
Nota: Tabla metrados de “Perfiles Pilar 2”.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

3.2.1.3. Pilar 3:

Conformada por dos columnas armadas de dos perfiles C15”x40lb/pie, viguetas de 2L5”x3”x3/8” y arriostres de 2L4”x3”x3/8” todos los elementos unidos por remaches y conectores de platinas de 3/8”x2 1/2”.

Figura 26: Vista general Pilar 3



Nota: Fotografía de “Pilar 3 Puente Sumbay”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tabla 15: Perfiles detallados Pilar 3

PILAR 3						
ITEM	MAT	LONG (m)	Peso/m	Peso total(kg)	Area Superficial/m	Area total (m2)
1	2 L5x3x3/8	24,48	29,16	713,86	0,41	9,95
2	Plat 2 1/2x 3/8	103,04	4,57	470,90	0,15	15,05
3	L4x3x3/8	50,60	12,65	640,09	0,36	17,99
4	L4x4x3/8	4,34	12,65	54,90	0,41	1,76
5	2C15X40	55,29	119,04	6581,48	1,09	60,44
6	PL 3/8 Lateral	11,06	74,69	825,89	11,06	11,06
Total (kg)				9287,13	Total (m2)	116,26

Nota: Tabla metrados de “Perfiles Pilar 3”.

Fuente: *Elaboración Propia, (2021)*

3.2.1.4. Celosía:

Conformada por perfiles 2L6X6X1/2 como parte principal, 2L4x4x3/8” y L3x3x3/8” para arriostres. Todos los elementos unidos por remaches y cartelas de plancha de 3/8”. En las partes laterales en todo el largo está cubierta por una plancha de acero de 3/8”.

Figura 27: Vista general Celosía



Nota: Fotografía de “Celosía”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tabla 16: Perfiles detallados Celosía

CELOSIA						
ITEM	MAT	LONG (m)	Peso/m	Peso Total	Area Superficial/m	Area Total (m2)
1	2L6X6X1/2	304,62	58,34	17771,53	0,61	185,70
2	2L4X4X3/8	247,80	29,16	7225,85	0,41	100,71
3	L4X4X3/8	218,38	14,58	3184,03	0,41	88,75
4	L3X3X3/8	119,98	10,71	1284,99	0,30	36,57
5	Plancha lateral 3/8	259,48	74,69	19380,71	518,96	518,96
Total (kg)				48847,10	Total (m2)	930,69

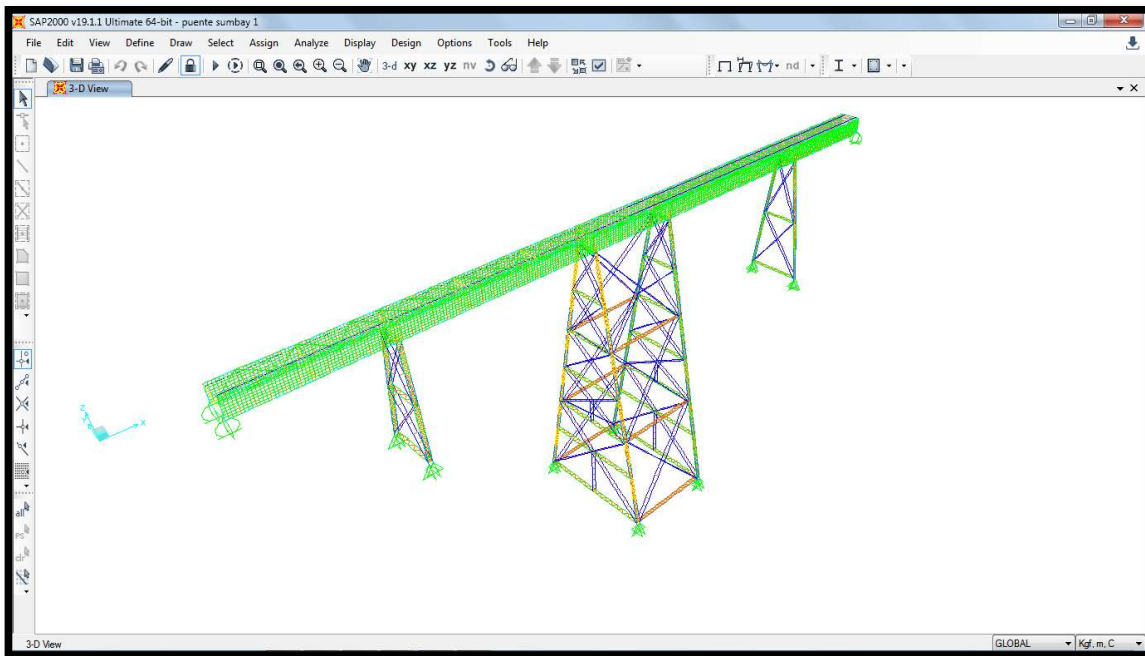
Nota: Tabla metrados de “Perfiles Celosía”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.3. Modelamiento de la estructura

Para el modelamiento se utilizó como software de apoyo SAP 2000.

Figura 28: Vista General de puente Sap 2000



Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Vista 3D general”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.4. Definición y asignación de cargas.

Para el análisis se ha basado en las cargas descritas en la norma AASHTO-LRFD 2014 y el manual de puentes del MTC (ministerio nacional de transportes y comunicaciones).

Se tienen las siguientes cargas:

3.4.1. DC cargas muertas

Peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales.

- **DC1 Peso propio de la estructura**

Se consideran todos los pesos de los materiales estructurales empleados que se muestran a continuación.

Tabla 17: Resumen de Pesos y Áreas

Estructura	Peso(kg)	Area(m2)
Pilar 1	9287	116
Pilar 2	51646	769
Pilar 3	7585	98
Celosia	48847	931
Total	117365	1914

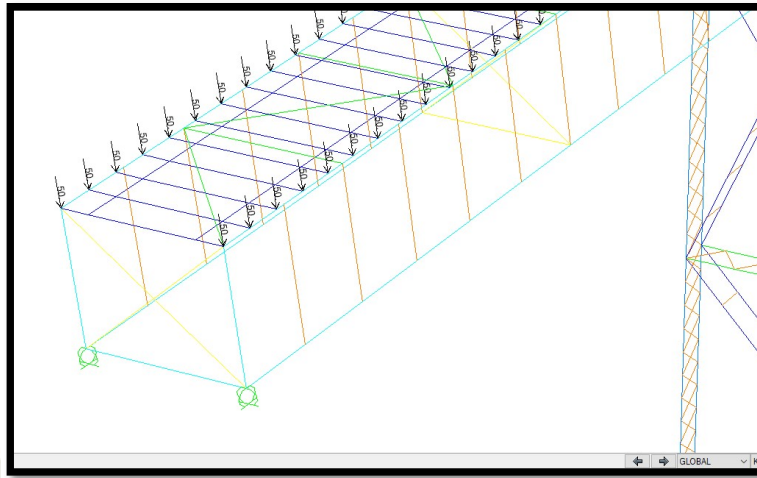
Nota: Tabla resumen de metrados “*Puente Sumbay*”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **DC2 Carga de durmientes**

Los durmientes de madera donde descansa los rieles tienen las siguientes dimensiones: 0.270m x0.180m x2.40m, y tienen un peso de 100Kg. Estos están distribuidos en forma transversal en todo el riel con una separación de 0.45m.

Figura 29: Cargas puntuales de durmientes



Nota: Figura tomada de Sap 2000 Cargas aplicadas en la estructura por peso de durmientes

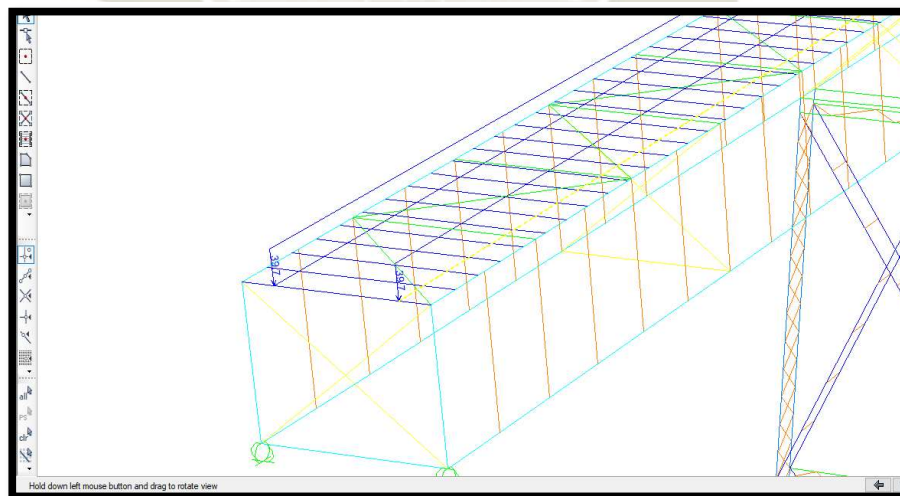
“Cargas puntuales de durmientes”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **DC3 Carga de rieles**

Se considera un perfil 80 ASCE el cual tiene un peso de 80 lb/yd ó 39.7Kg/m.

Figura 30: Cargas Distribuida de rieles



Nota: Figura tomada de Sap 2000 Cargas aplicadas en la estructura por peso de Rieles

“Cargas Distribuidas de rieles”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **DW Peso propio de rodamiento**

Se considera el peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios Públicos. No aplica por no tener vía para tránsito peatonal.

3.4.2. Cargas Vivas

- **LL Carga Vehicular**

Vehículo de diseño

- **VEHICULO 01: LOCOMOTORA**

Se tiene los siguientes parámetros:

- Distancia entre bogie: 11.950m
- Distancia entre ejes de ruedas del bogie: 1.290m
- Longitud de locomotora: 20.314m
- Ancho de vía: 1.435m
- Peso de locomotora: 120 Toneladas
- Peso por rueda: $120/12=10$ Toneladas por rueda

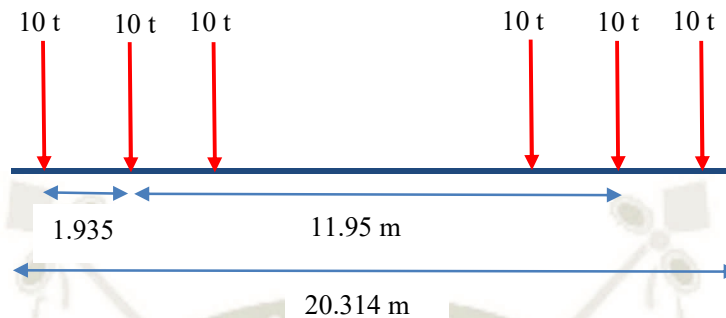
Figura 31: *Locomotora GT 42*



Nota: Figura de “locomotora GT 42”.

Fuente: Progressrail, (2021)

Figura 32: *Distribución de cargas locomotora*



Nota: Figura de cargas por rueda aplicadas a la estructura por locomotora GT 42
“Distribución de cargas”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Figura 33: *Cargas Puntuales por rueda de locomotora*

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Fixed Length	2.245		0.	Lane Width		0	One Point	
Fixed Length	2.245		0.	Zero Width		10.	One Point	
Fixed Length	1.935		0.	Zero Width		10.	One Point	
Fixed Length	1.935		0.	Zero Width		10.	One Point	
Fixed Length	8.08		0.	Zero Width		10.	One Point	
Fixed Length	1.935		0.	Zero Width		10.	One Point	
Fixed Length	1.935		0.	Lane Width		10.	One Point	
Fixed Length	2.245		0.	Lane Width		0	One Point	

Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Cargas aplicadas por ruedas de locomotora”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **VEHICULO 02: Vagón**

Se tiene los siguientes parámetros:

- Distancia entre bogie: 11.430m
- Distancia entre ejes de ruedas del bogie: 1.290m
- Longitud de locomotora: 16.370m
- Ancho de vía: 1.435m
- Numero de ruedas: 8
- Peso total con carga: 80 Toneladas
- Carga por rueda: 10Toneladas por rueda

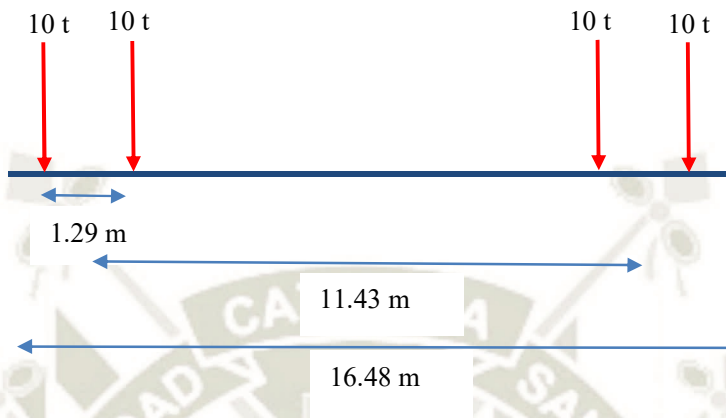
Figura 34: Vagón de carga



Nota: Figura tomada de Estación KM-99 “Vagón de carga”.

Fuente: PeruRail, (2018)

Figura 35: Distribución de cargas vagón



Nota: Figura de cargas por rueda aplicadas a la estructura por Vagón “Distribución de cargas”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Figura 36: Cargas Puntuales por rueda de vagón

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Fixed Length	2.47		0.	Zero Width		10	One Point	
Fixed Length	1.29		0.	Zero Width		10	One Point	
Fixed Length	8.96		0.	Zero Width		10	One Point	
Fixed Length	1.29		0.	Zero Width		10	One Point	
Fixed Length	2.47		0.	Zero Width		0	One Point	

Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Cargas aplicadas por ruedas de Vagon”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **PL SOBRECARGA PEATONAL**

No aplica por no tener vía para tránsito peatonal

- **IM INCREMENTO POR CARGA DINÁMICA**

Se considera el 33% del estado límite. (Tabla 6)

- **CE FUERZA CENTRIFUGA:**

No aplica por no tener curvatura en la vía.

- **BR FUERZA DE FRENADO:**

Se considera el 25 % del peso por eje del vehículo de diseño.

- **CARGA SOBRE VEREDAS BARANDAS Y SARDINELES**

No aplica porque no se presentan en la estructura.

- **CT - FUERZA DE COLISIÓN:**

No aplica por ser un solo carril.

- **WA CARGAS HIDRÁULICAS:**

No aplica por no estar en contacto directo con el caudal del río

- **CARGA SOBRE VEREDAS BARANDAS Y SARDINELES:**

No aplica, la estructura existente no presenta barandas.

- **CARGA DE VIENTO:**

Se tiene los siguientes datos:

Fórmula para determinar la velocidad de diseño.

$$V_{DZ} = 2.5 * V_0 * \left(\frac{V_s}{V_B}\right) \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)$$

Donde:

VDZ = velocidad del viento de diseño a la altura de diseño Z (km/h)

Vo = 13.2 velocidad friccional (km/h). “(3.8.1.1-1- AASHTO, 2014)”

Vs = velocidad del viento a 9.15m sobre el nivel del terreno (Norma E.020)

VB = velocidad básica del viento igual a 160 km/h a una altura de 9.15m “(3.8.1.2.1 y 3.8.1.2.2- AASHTO, 2014)”

Zo = 0,07 longitud de fricción que trae el viento aguas arriba (m). “(3.8.1.1-1- AASHTO, 2014)”

Z = altura de la estructura > 9.15m

$$V_{DZ} = 2.5 * V_0 * \left(\frac{V_s}{V_B}\right) \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)$$

$$V_{DZ} = 2.5 * 13.2 * \left(\frac{110}{160}\right) \ln\left(\frac{29.18}{0.07}\right)$$

$$V_{DZ} = 137\text{km/h}$$

Por lo que la velocidad de diseño es 137Km/h

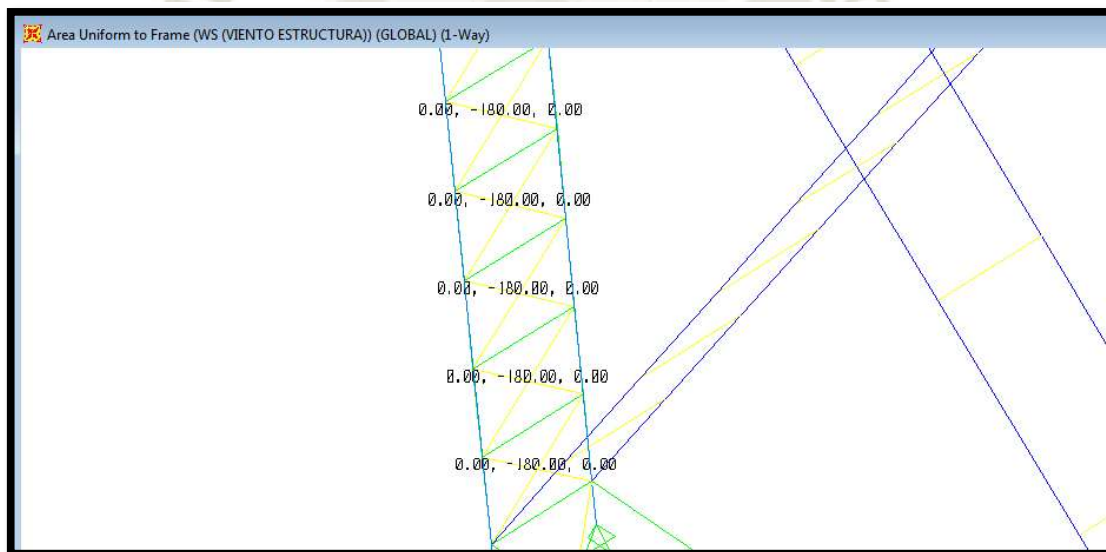
- **WS PRESIÓN DE VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA**

$$P_D = P_B * \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2$$

- PD = presión del viento de diseño (kgf/m²)
- PB = presión básica del viento (kgf/m²) (Tabla 5)
- $P_D = 245 * \left(\frac{137}{160}\right)^2$

$$P_D = 180\text{Kgf/m}^2$$

Figura 37: Presión de viento sobre la estructura



Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Cargas aplicadas por Presión de viento sobre toda la estructura”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **WL PRESIÓN DE VIENTO SOBRE LOS VEHICULOS**

Se considera también la carga anterior calculada:

$P_D = 180 \text{Kgf/m}^2$ En dirección transversal.

$$P_D = 180 \text{Kgf/m}^2$$

Considerando el área de la locomotora y vagones a lo largo del puente se obtiene un área de una cara longitudinal:

$$A_2 = 4.24 \times 73.3 = 310.79 \text{ m}^2$$

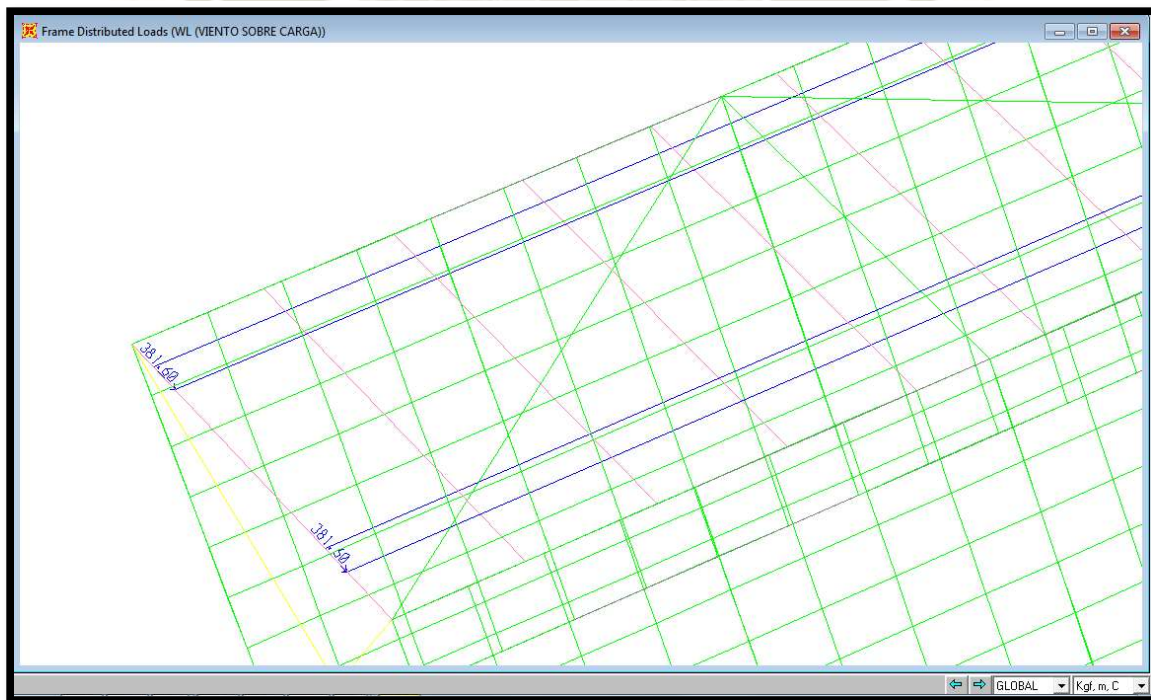
Por lo que la presión aplicada en forma perpendicular al área longitudinal es:

$$P_D = \left(\frac{180 \text{Kgf}}{\text{m}^2} \right) \times (310.79 \text{m}^2) = 55942.2 \text{Kgf}$$

La carga es transmitida en forma lineal al riel:

$$P_D = 55942.2 \text{Kgf} \frac{1}{2 * 73.3 \text{m}} = 381.6 \text{Kgf/m}$$

Figura 38: Presión de viento sobre Vehículos



Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Cargas Distribuidas Presión de viento sobre Vehículos”.

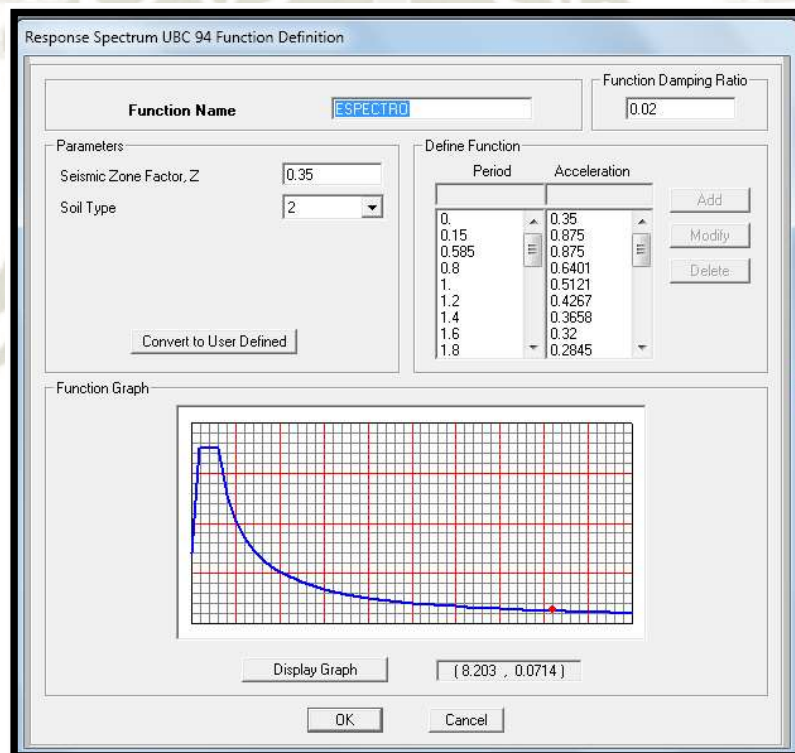
Fuente: Elaboración Propia, (2021)

- **EQ EFECTOS SÍSMICOS**

Se considera el siguiente espectro sísmico según norma técnica peruana E030:

- Zona 3 > Z:0.35
- Tipo de suelo: S2 Suelos intermedios
- Tipo de edificación: U=1 Edificación común
- Coeficiente básico de reducción: R0=7

Figura 39: Efectos sísmicos



Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Efectos sísmicos”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.5. Combinaciones de carga

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones tenemos las siguientes combinaciones de cargas:

- Resistencia I: Combinación básica de carga relacionada con el uso vehicular normal, sin considerar el viento.
- Resistencia II: Combinación de carga relacionada al uso del puente mediante vehículos de diseños especiales especificados por el propietario y/o vehículos que permiten la evaluación, sin considerar el viento.
- Resistencia III: Combinación de carga relacionada al puente expuesto al viento con una velocidad mayor a 90 Km/h.
- Resistencia IV: Combinación de carga relacionada a relaciones muy altas de la carga muerta a la carga viva.
- Resistencia V: Combinación de carga relacionada al uso vehicular normal del puente considerando el viento a una velocidad de 90 Km/h.
- Evento Extremo I: Combinación de carga incluyendo sismo.
- Evento Extremo II: Combinación de carga relacionada a la carga de viento, choque de vehículos y barcos, y ciertos eventos hidráulicos con carga viva reducida, distinta de la carga de choque vehicular
- Servicio I: Combinación de carga relacionada al uso operativo normal del puente con viento a 90 km/h y con todas las cargas a su valor nominal (sin factorizar). También está relacionada con el control de las deflexiones.
- Servicio II: Combinación de carga considerado para controlar la fluencia de estructuras de acero y el deslizamiento de las secciones críticas, debidas a la carga viva vehicular.
- Servicio III: Combinación de carga relacionada solamente a la fuerza de tensión en estructuras de concreto pretensado, con el objetivo de controlar las grietas.

- Servicio IV - Combinación de cargas relacionada exclusivamente a la tensión en las columnas de concreto pretensado con el propósito de controlar las grietas. (2018, p. 131)

Tabla 18: Combinación de cargas

Combinación de Cargas Estado Limite	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Usar sólo uno por vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (excepto notas)	γ_p	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Resistencia II	γ_p	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Resistencia III	γ_p	—	1.00	1.40	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Resistencia IV	γ_p	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Resistencia V	γ_p	1.35	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Evento Extremo I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—	—
Evento Extremo II	γ_p	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Servicio II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Servicio III	1.00	0.80	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Servicio IV	1.00	—	1.00	0.70	—	1.00	1.00/1.20	—	1.0	—	—	—	—	—
Fatiga I— LL, IM & CE solamente	—	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fatiga II— LL, IM & CE solamente	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Nota: Tomado de “Manual de diseño de Puentes” redactado por Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Fuente: Ministerio de Transportes, (2018)

Tabla 19: Factores de carga

Tipo de carga	Factor de Carga	
	Máximo	Mínimo
<i>DC</i> : Elemento y accesorios	1,25	0,90
<i>DD</i> : Fricción negativa (downdrag)	1,80	0,45
<i>DW</i> : Superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos	1,50	0,65
<i>EH</i> : Empuje horizontal del suelo		
• Activo	1,50	0,90
• En reposo	1,35	0,90
<i>EL</i> : Tensiones residuales de montaje	1,00	1,00
<i>EV</i> : Empuje vertical del suelo		
• Estabilidad global	1,00	N/A
• Muros de sostenimiento y estribos	1,35	1,00
• Estructura rígida enterrada	1,30	0,90
• Marcos rígidos	1,35	0,90
• Estructuras flexibles enterradas u otras, excepto alcantarillas metálicas rectangulares	1,95	0,90
• Alcantarillas metálicas rectangulares flexibles	1,50	0,90
<i>ES</i> : Sobrecarga de suelo	1,50	0,75

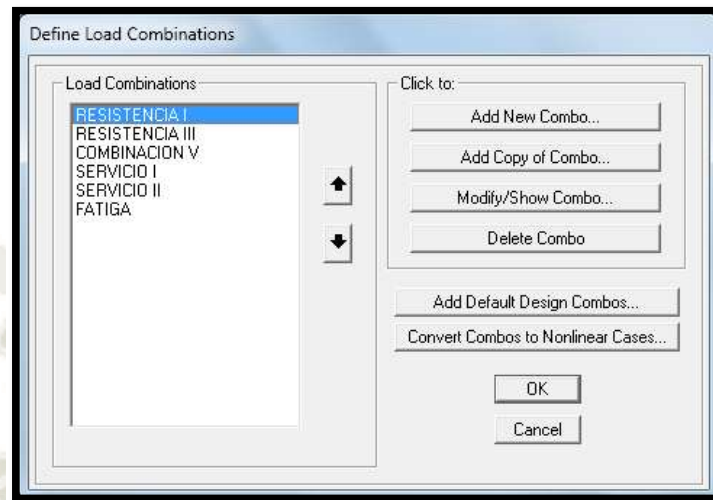
Nota: Tomado de “Manual de diseño de Puentes” redactado por Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Fuente: Ministerio de Transportes, (2018)

3.5.1. Resumen de combinaciones aplicadas al modelo

- Resistencia I=1.25DC+1.75LL
- Resistencia III=1.25DC+1.4WS
- Resistencia V=1.25DC+1.35LL+0.4WS+1WL
- Servicio I=1DC+1LL+0.3WS+1WL
- Servicio II=1DC+1.3LL
- Fatiga=1.5LL

Figura 40: Combinación de cargas agregadas a software



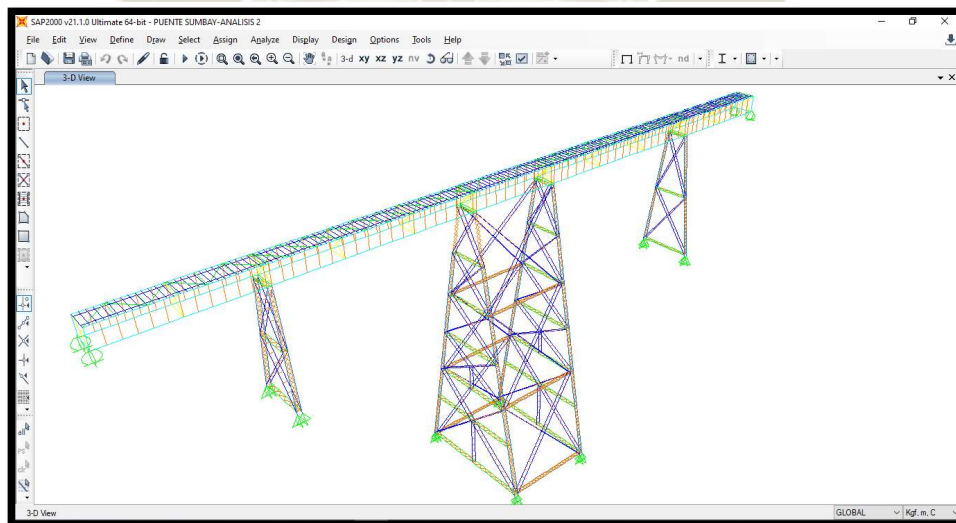
Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Combinaciones de carga”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.6. ANALISIS

Asignadas las cargas al modelo y creadas las combinaciones se procede al análisis por medio del software SAP200 V21.

Figura 41: Vista general del puente en Sap 2000



Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Vista 3D general”. Elaboración Propia (2021)

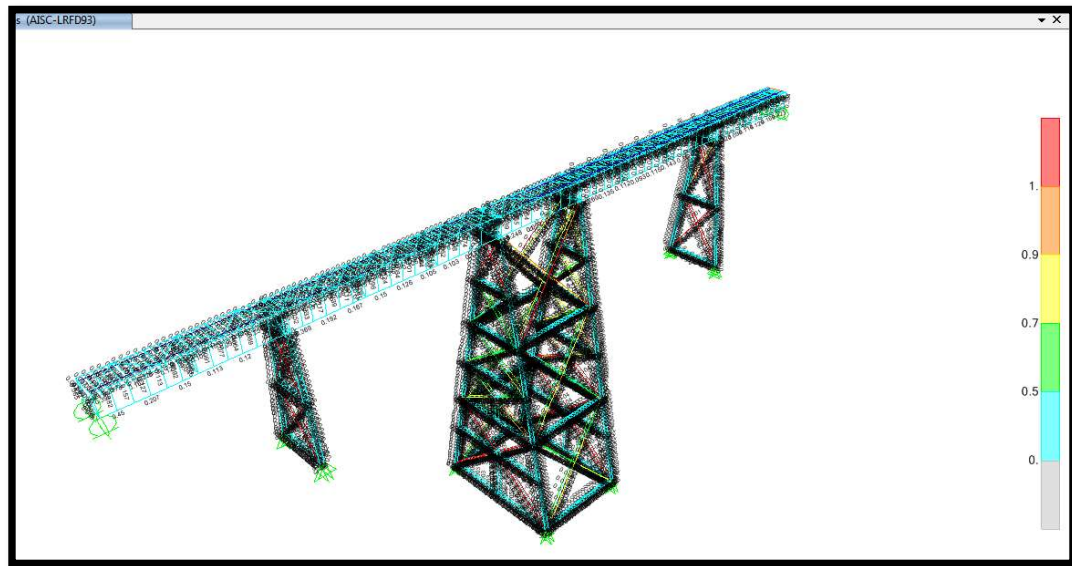
Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.6.1. Verificación De Ratios

- Del análisis se comprueba que todos los componentes de la estructura sean

analizados.

Figura 42: Componentes analizados



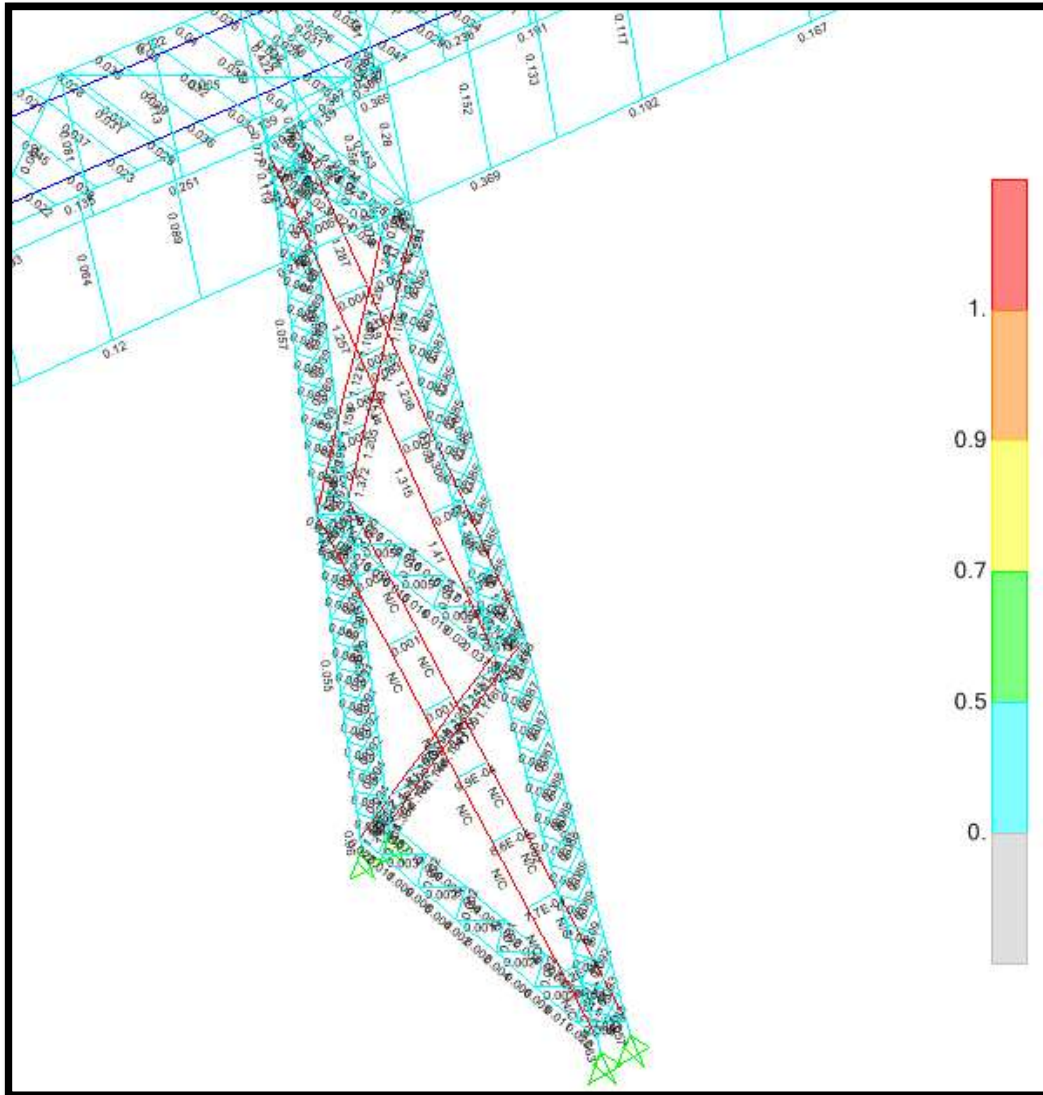
Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Componentes Analizados”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.6.2. Elementos Sobre Estresados

3.6.2.1. Pilar 1

Figura 43: Elementos estresados Pilar 1

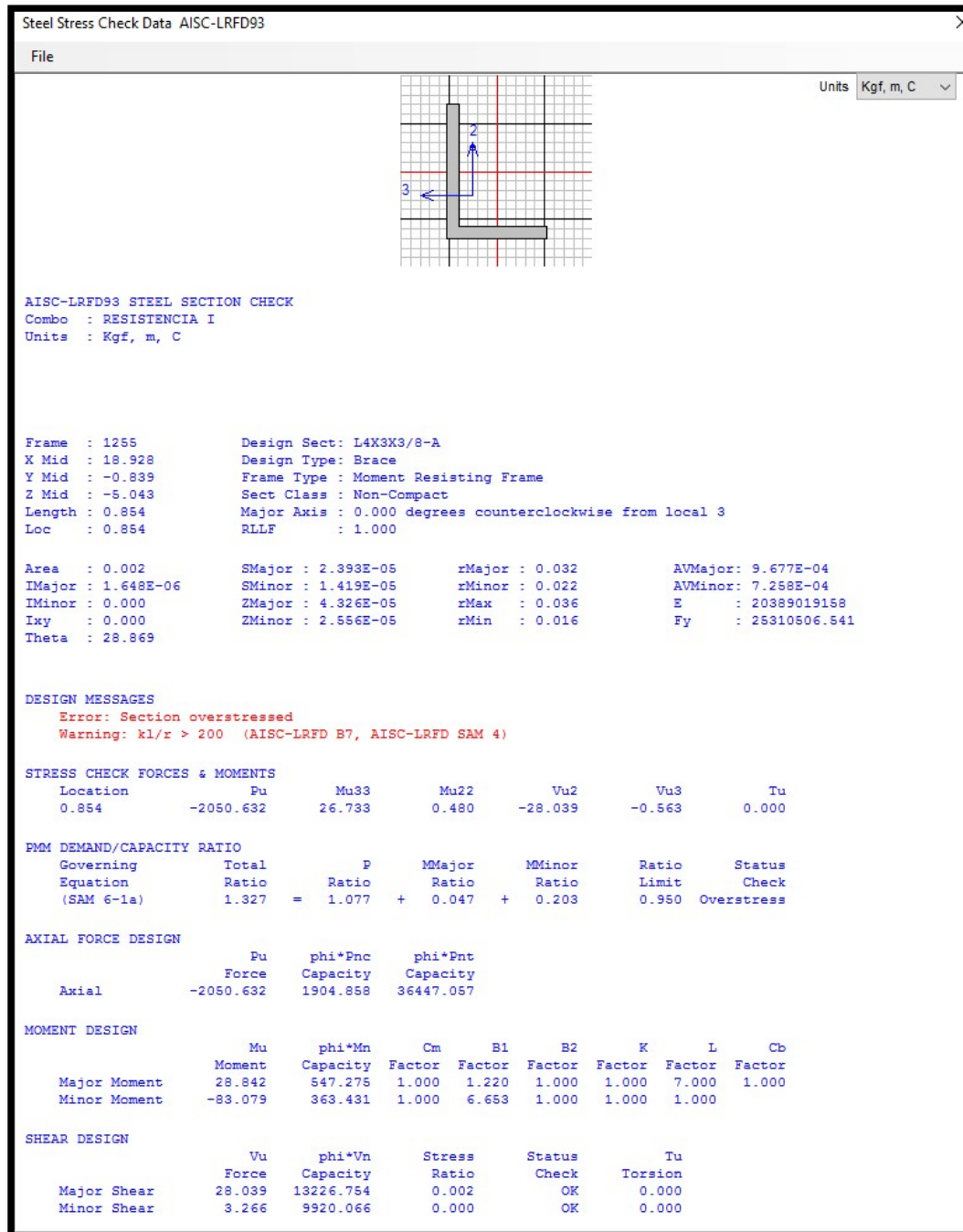


Nota: Figura tomada de Sap 2000 “*Elementos estresados Pilar 1*”

Fuente: *Elaboración Propia, (2021)*

Del pilar 1 se encuentran estresados los arriostres y presentan deflexiones excesivas

Figura 44: Perfil estresado Pilar 1

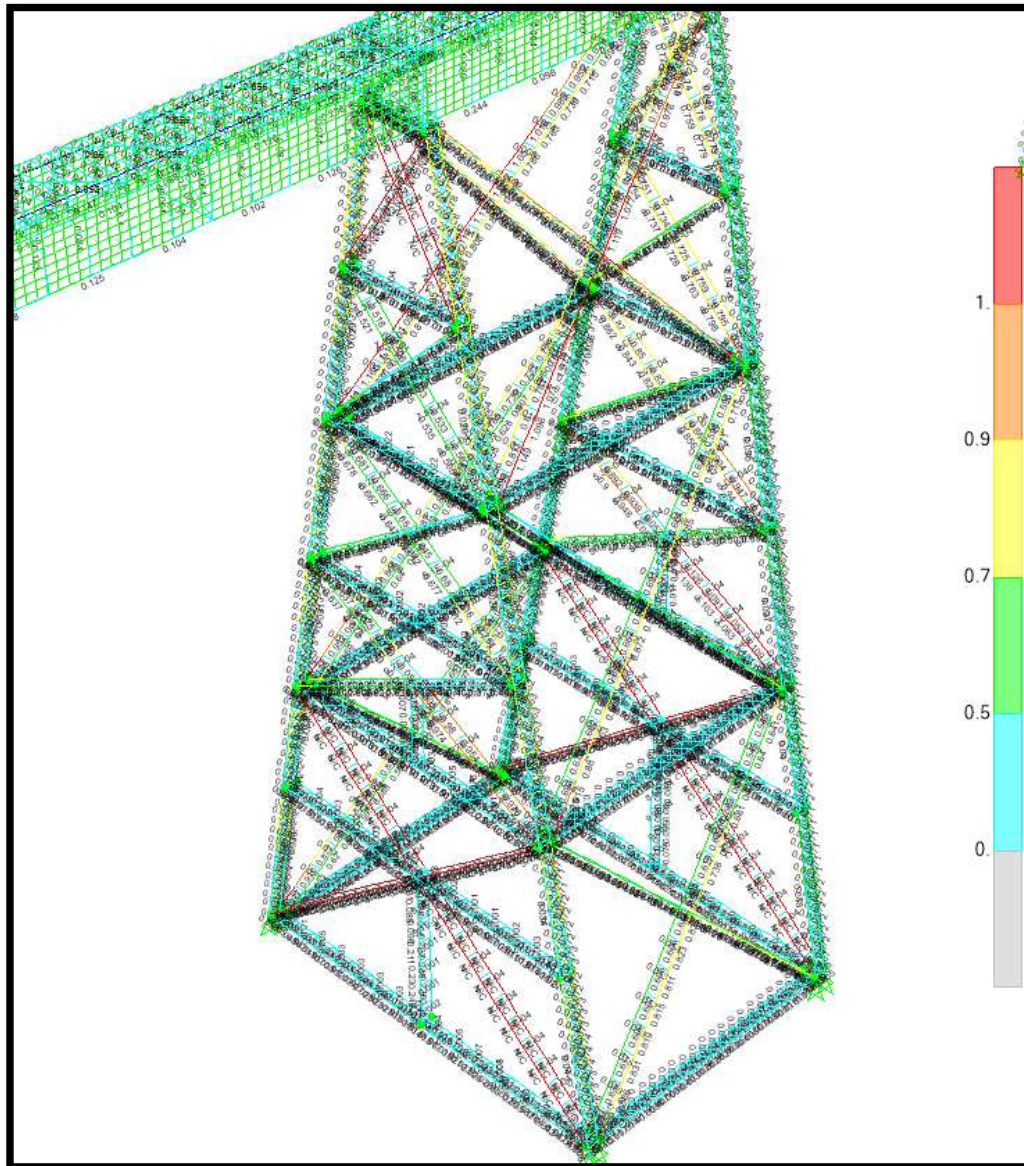


Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Perfil estresado Pilar 1”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.6.2.2. Pilar 2

Figura 45: Elementos estresados Pilar 2

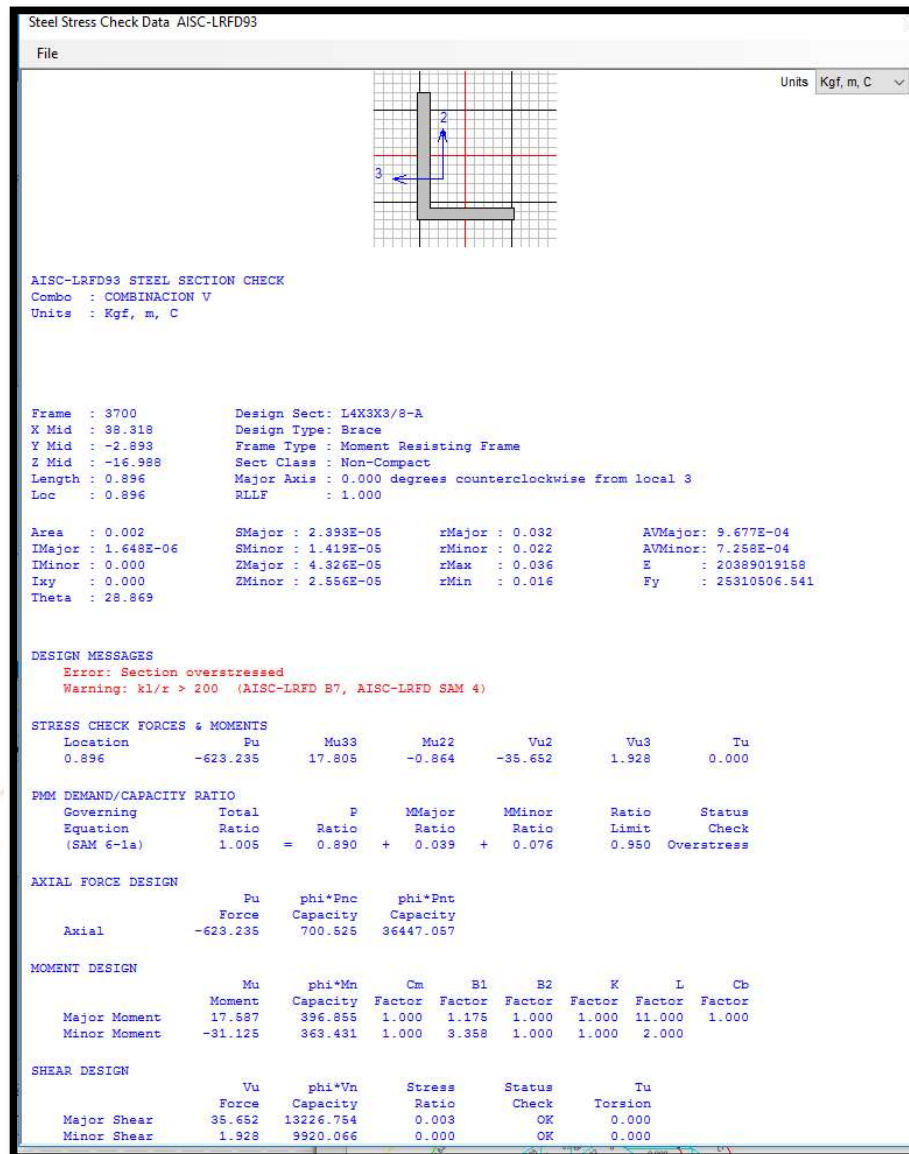


Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Elementos estresados Pilar 2”

Fuente: *Elaboración Propia, (2021)*

Las columnas no se encuentran sobre estresadas, pero si los arriostres diagonales

Figura 46: Perfiles estresados Pilar 2

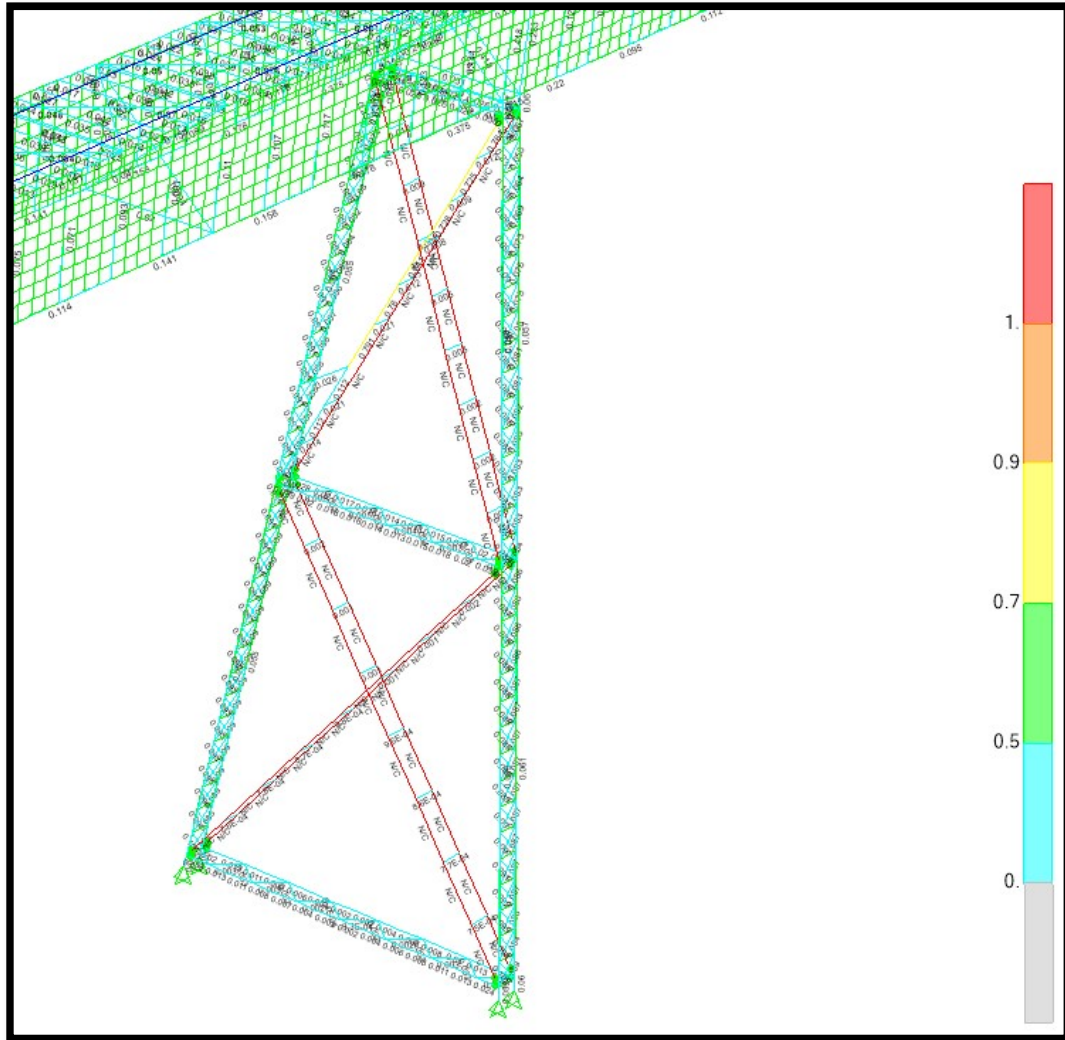


Nota: Figura tomada de Sap 2000 "Perfil estresado Pilar 2"

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

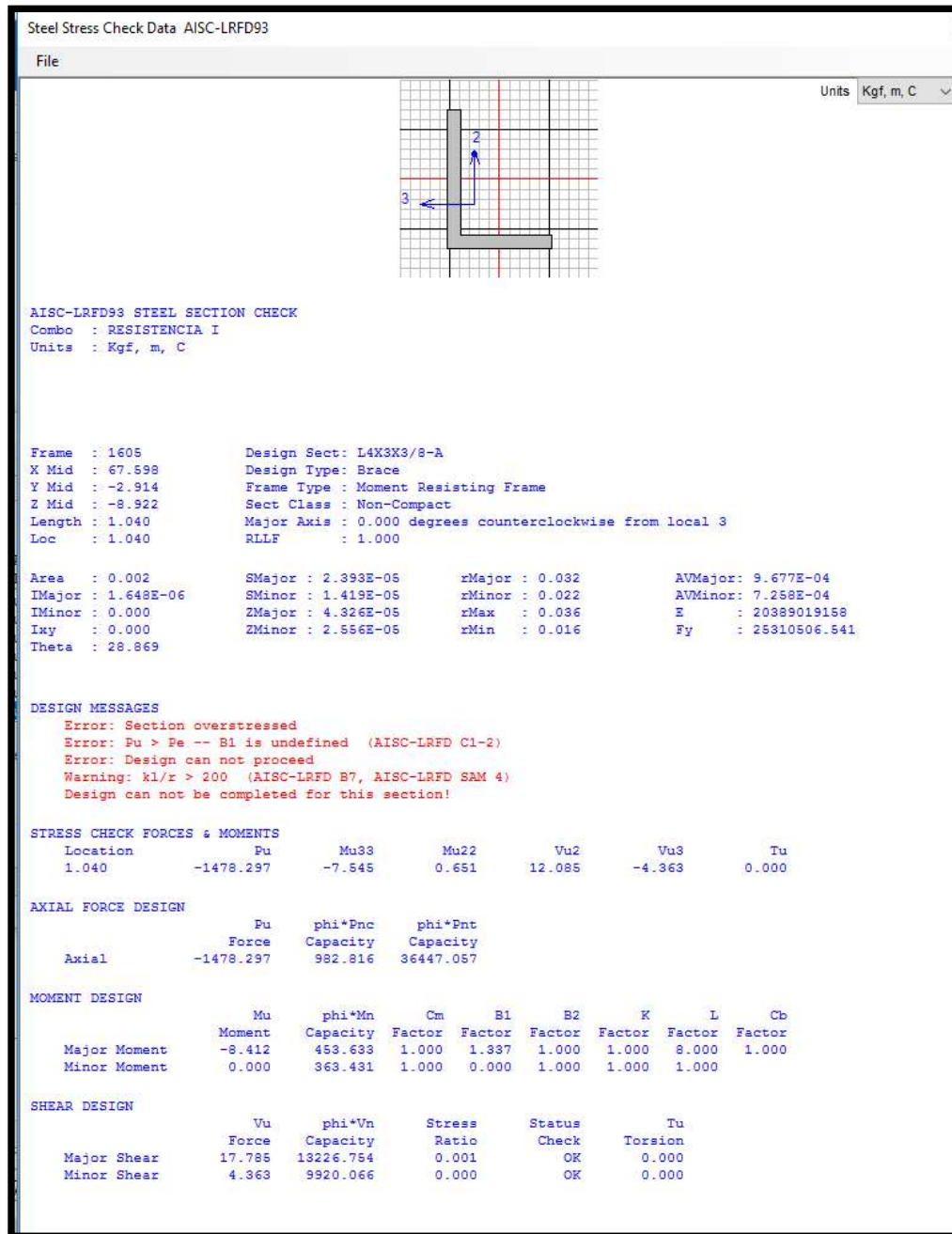
3.6.2.3. Pilar 3

Figura 47: Elementos estresados Pilar 3



El pilar 3 presenta elementos sobre estresados en los arriostres diagonales.

Figura 48: Perfiles estresados Pilar 3

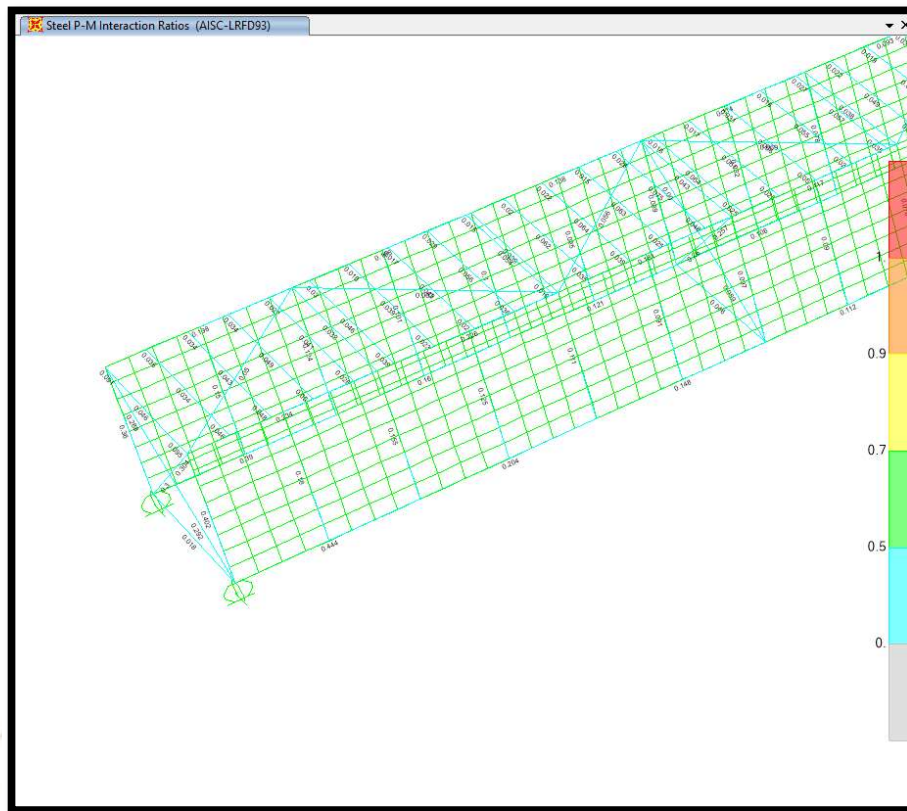


Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Perfil estresado Pilar 3”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.6.2.4. Celosía

Figura 49: Celosía



Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Elementos Celosía”.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

La celosía no presenta elementos sobre estresados.

3.6.2.5. Reacciones En La Base

Del análisis se obtiene la siguiente tabla de reacciones en la base de las columnas y puntos de apoyo.

Figura 50: Máxima cortante

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	RESISTENCIA I	Combination	Max	0	0	56057.95	0	0	0
1	RESISTENCIA I	Combination	Min	0	0	10677.37	0	0	0
2	RESISTENCIA I	Combination	Max	0	0	51419.18	0	0	0
2	RESISTENCIA I	Combination	Min	0	0	11245.95	0	0	0
7	RESISTENCIA I	Combination	Max	0	0	51168.21	0	0	0
7	RESISTENCIA I	Combination	Min	0	0	10668.12	0	0	0
8	RESISTENCIA I	Combination	Max	0	0	56040.27	0	0	0
8	RESISTENCIA I	Combination	Min	0	0	11240.05	0	0	0
9	RESISTENCIA I	Combination	Max	853.57	3960.49	29207.18	0	0	0
9	RESISTENCIA I	Combination	Min	143.39	1482.83	11086.6	0	0	0
13	RESISTENCIA I	Combination	Max	328.46	3714.66	26704.21	0	0	0
13	RESISTENCIA I	Combination	Min	-59.34	1433.75	10602.39	0	0	0
15	RESISTENCIA I	Combination	Max	848.08	-1476.86	29196.17	0	0	0
15	RESISTENCIA I	Combination	Min	140.59	-3942.69	11080.75	0	0	0
19	RESISTENCIA I	Combination	Max	368.35	-1431.44	26702.59	0	0	0
19	RESISTENCIA I	Combination	Min	-58.77	-3712	10599.99	0	0	0
133	RESISTENCIA I	Combination	Max	-148.45	4405.06	25610.39	0	0	0
133	RESISTENCIA I	Combination	Min	-633.84	2390.9	14400.04	0	0	0
134	RESISTENCIA I	Combination	Max	-122.07	-2263.13	25396.66	0	0	0
134	RESISTENCIA I	Combination	Min	-615.69	-4226.9	14204.05	0	0	0
5760	RESISTENCIA I	Combination	Max	18.27	3788.31	28203.45	0	0	0
5760	RESISTENCIA I	Combination	Min	-440.34	1430.64	10806.36	0	0	0
5761	RESISTENCIA I	Combination	Max	13.87	-1436.84	28217.54	0	0	0
5761	RESISTENCIA I	Combination	Min	-398.65	-3804.24	10810.34	0	0	0
6017	RESISTENCIA I	Combination	Max	-216.97	3867.26	27889.07	0	0	0
6017	RESISTENCIA I	Combination	Min	-843.44	1478.26	10964.58	0	0	0
6018	RESISTENCIA I	Combination	Max	-216.62	-1477.11	27885.7	0	0	0
6018	RESISTENCIA I	Combination	Min	-842.94	-3866.04	10960.75	0	0	0
6282	RESISTENCIA I	Combination	Max	-495.78	4142.9	24386.61	0	0	0
6282	RESISTENCIA I	Combination	Min	-913.68	2234.01	13515.5	0	0	0
6283	RESISTENCIA I	Combination	Max	-457.2	-2358.95	24370.01	0	0	0
6283	RESISTENCIA I	Combination	Min	-843.48	-4315.46	13466.57	0	0	0
7174	RESISTENCIA I	Combination	Max	979.2	4247.75	27295.9	0	0	0
7174	RESISTENCIA I	Combination	Min	471.62	2410.78	16260.3	0	0	0
7175	RESISTENCIA I	Combination	Max	1000.43	-2392.08	27343.93	0	0	0
7175	RESISTENCIA I	Combination	Min	498.49	-4215.66	16301.94	0	0	0
7186	RESISTENCIA I	Combination	Max	762.71	4203.5	27956.49	0	0	0
7186	RESISTENCIA I	Combination	Min	147.53	2387.1	16784.67	0	0	0
7187	RESISTENCIA I	Combination	Max	787.83	-2411.18	28096.74	0	0	0
7187	RESISTENCIA I	Combination	Min	188.96	-4233.35	16895.98	0	0	0

Nota: Figura tomada de Sap 2000 “Máxima cortante”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Se obtiene como máxima cortante 4405.06 Kgf (9716.91lb) en el punto 133

3.7. Cálculo De Pernos De Anclaje

Se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo de pernos:

$$A_s = \frac{Fe}{0.4 * Sy}$$

Donde:

As: área de esfuerzo del perno

Fe: fuerza efectiva

Fy: esfuerzo de fluencia para perno.

El diámetro del perno de anclaje típico existente usado en la estructura es de 1 3/4", a cada conexión base se usó 02 pernos de anclaje.

Del análisis se obtiene las siguientes reacciones:

Ft: 0.00lb (no hay fuerzas a tracción, la carga es a compresión la cual es transmitida a la zapata de concreto).

Fs: 9716.91lb (fuerza obtenida de las reacciones)

Donde la fuerza efectiva es:

$$Fe = \sqrt{(Ft)^2 + 4 * Fs^2}$$

$$A_s = \frac{Fe}{0.4 * Sy}$$

$$A_s = \frac{9716.91}{0.4 * 36000}$$

$$A_s = 0.66 \text{ pulg}^2$$

Para un área de esfuerzo de 0.66 pulg² le corresponde un perno de 1 1/8"

Donde 1 1/8" < 1 3/4", por lo que el perno de anclaje resiste las cargas simuladas

3.8. Cálculo de elementos estructurales

Según los datos entregados por el modelamiento del puente mediante Sap2000, corroboraremos los perfiles que fallan en la estructura, y se indicara con que perfiles se recomienda reforzar. Además, se realizará un cálculo de deflexiones en la celosía.

3.8.1. Definición de cargas en el puente

3.8.1.1. Cargas Muertas

Para este cálculo se consideró todas las cargas sobre los 3 pilares como son la Celosía, durmientes y rieles.

Tabla 20: Cargas muertas sobre pilares

Carga Muerta				
Cargas	Cant	Peso	Total (kg)	kg/m2
Peso Riel	73,335 m	39,7 kg/m	2911,995	18,299
Durmientes	164 und	100 kg/ und	16400,000	103,056
Celosía			48847,100	306,950

Nota: Tabla de “Cargas muertas”

Fuente: Elaboración propia, (2021)

3.8.1.2. Cargas vivas

Se consideró el peso de locomotora y vagón. Se realizó combinaciones entre ambas considerando la longitud del puente de 73.335m, hallando el máximo peso con 02 Locomotoras y 02 Vagones, estos cuatro vehículos juntos tienen una longitud total de 73.336 m. La Celosía tiene 2.17m de ancho y 73.335m de largo, entregándonos un área de 159.137 m², la cual nos sirve para tener los pesos por metro cuadrado, que se detalla a continuación.

Tabla 21: Cargas Vivas sobre el puente

Carga Viva (Vehicular)				
Cargas	Cant	Peso	Total (kg)	kg/m ²
Locomotora	2 und	120000 kg	240000	1508,135
Vagón	2 und	80000 kg	160000	1005,423

Nota: Tabla de “Cargas vivas”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tabla 22: Cargas Vivas sobre el puente

Carga	kg/m ²
Carga Muerta (DC)	428,30
Carga Vehicular (LL)	4178,79
Presión de Viento (WS)	180,00
Presión de Viento (WL)	180,46

Nota: Tabla de “Resumen de Cargas”

Fuente: Elaboración propia, (2021)

3.8.1.3. Combinaciones de Cargas

Se tiene las siguientes combinaciones de carga según AASHTO 2014, para los cálculos tomamos la mayor, que es la Resistencia I de 7848.26 kg/m²

Tabla 23: Cargas Vivas sobre el puente

Combinaciones	kg/m ²
Resistencia I=1.25DC+1.75LL	7848,26
Resistencia III=1.25DC+1.4WS	4966,17
Resistencia V=1.25DC+1.35LL+0.4WS+1WL	6429,21
Servicio I=1DC+1LL+0.3WS+1WL	4841,56

Servicio II=1DC+1.3LL	5860,73
Fatiga=1.5LL	6268,19

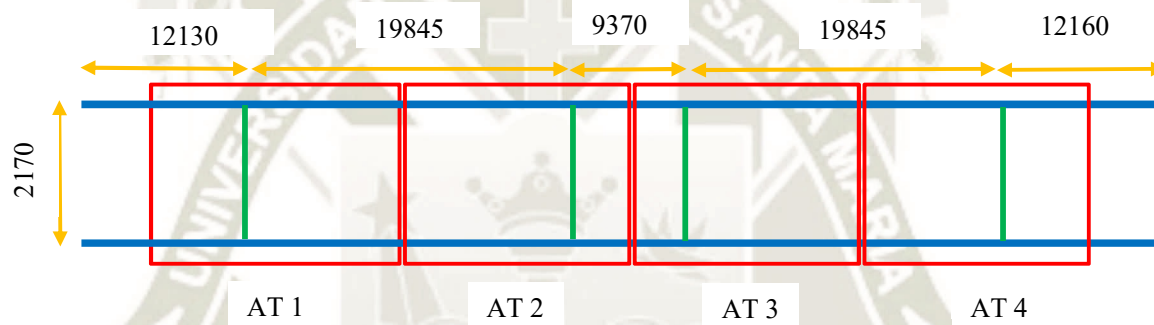
Nota: Tabla de “Combinaciones de Cargas”

Fuente: Elaboración propia, (2021)

3.8.1.4. Áreas Tributarias

Se tiene las siguientes áreas tributarias para cada pilar, considerando que los 2 extremos del puente se encuentran apoyados sobre pilares de concreto.

Figura 51: Áreas tributarias



Nota: Figura de “Áreas Tributarias Vista superior del puente”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

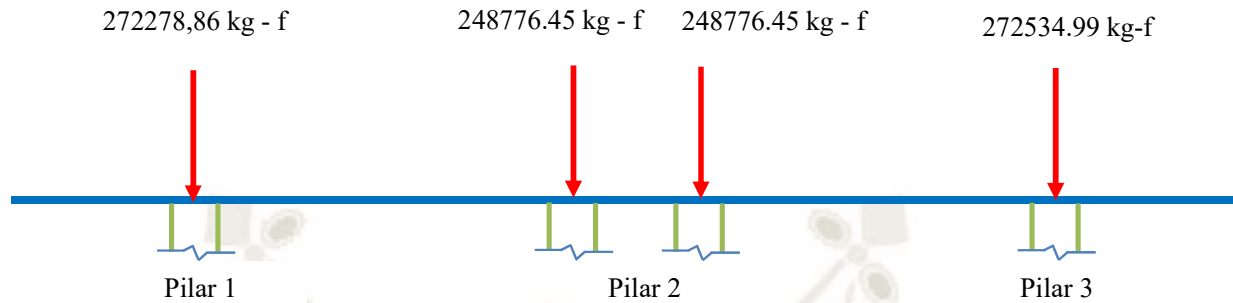
Tabla 24: Cargas Vivas sobre el puente

Área Tributaria	m2	kg-f
AT 1	34,69	272278,86
AT 2	31,70	248776,45
AT 3	31,70	248776,45
AT 4	34,73	272534,99

Nota: Tabla de “Resumen Áreas Tributarias”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Figura 52: Cargas puntuales



Nota: Figura de “Cargas puntuales por pilar”

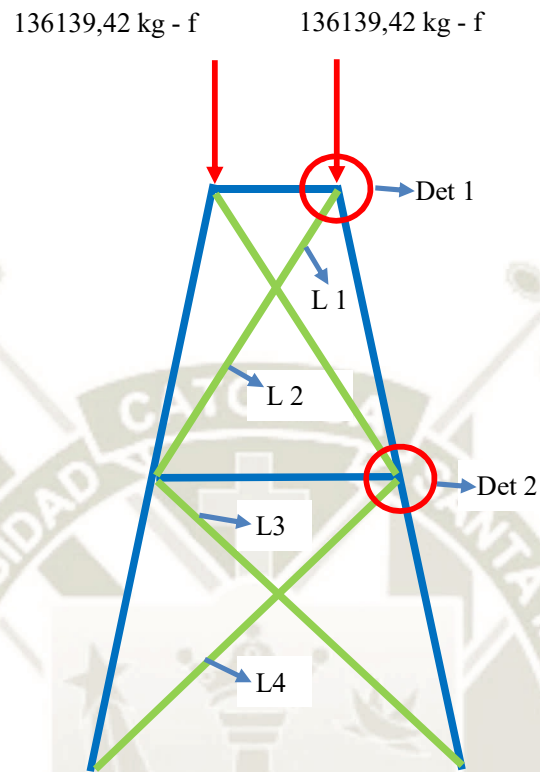
Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.8.2. Evaluación de perfiles y Refuerzos

3.8.2.1. Pilar 1

Se tienen las siguientes fuerzas de 136139.42 kg-f en cada Columna del Pilar 1 como se muestra en la imagen a continuación.

Figura 53: Cargas Pilar 1

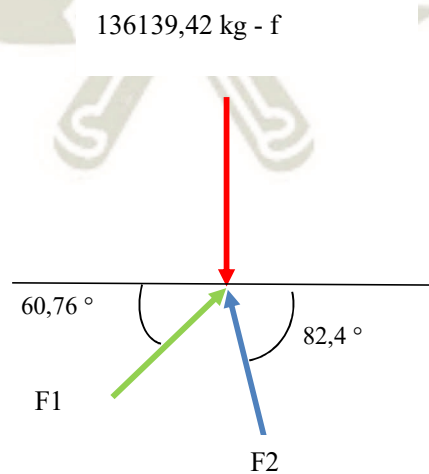


Nota: Figura de “Cargas en Pilar 1”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tenemos las siguientes reacciones del Detalle 1

Figura 54: Reacciones Pilar 1



Nota: Figura de detalle 1 “Reacciones en Pilar 1”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Aplicamos sumatoria de fuerzas en “x” y “y”

$$\sum F_y = 0$$

$$136139,42 = F_2 \text{Sen } 82,40 + F_1 \text{Sen}60,76$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_2 \text{ Cos } 82,4 = F_1 \text{Cos}60,76$$

Como resultado tenemos:

$$F_{1t} = 30029,74 \text{ kg -f } \text{ ó } 66,20 \text{ kips}$$

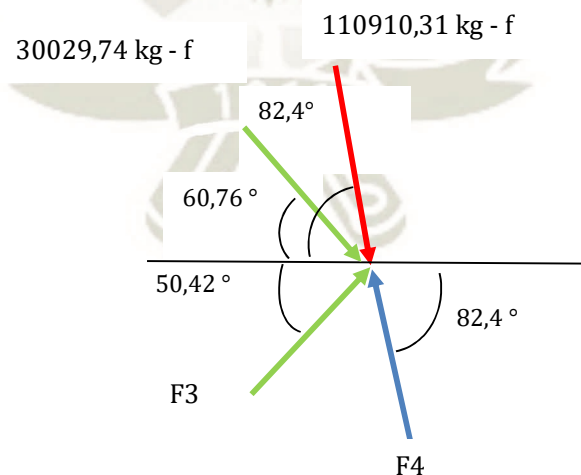
$$F_2 = 110910,31 \text{ kg -f } \text{ ó } 244.52 \text{ kips,}$$

Para F_{1t} que son los arriostres del pilar 1, como observamos en la (**Figura 55**) son 2 perfiles L 4x3x3/8” con una longitud efectiva de 7.56 pies y 12.04pies, por lo cual se divide la fuerza F_{1t} a la mitad, teniendo como resultado:

$$F_1 = 15014.87 \text{ kg - f } \text{ ó } 33,1 \text{ kips}$$

Tenemos las siguientes reacciones del Detalle 2

Figura 55: Reacciones Pilar 1



Nota: Figura de detalle 2 “Reacciones en Pilar 1”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Aplicamos sumatoria de fuerzas en “x” y “y”

$$\sum F_y = 0$$

$$110910,31 \text{ Sen}82,4 + 30029,74 \text{ Sen}60,76 = F_3 \text{ Sen} 50,42 + F_4 \text{ Sen}82,4$$

$$\sum F_x = 0$$

$$110910,31 \text{ Cos} 82,4 + 30029,74 \text{ Cos}60,76 + F_3 \text{ Cos}50,42 = F_4 \text{ Cos}82,4$$

Como resultado tenemos:

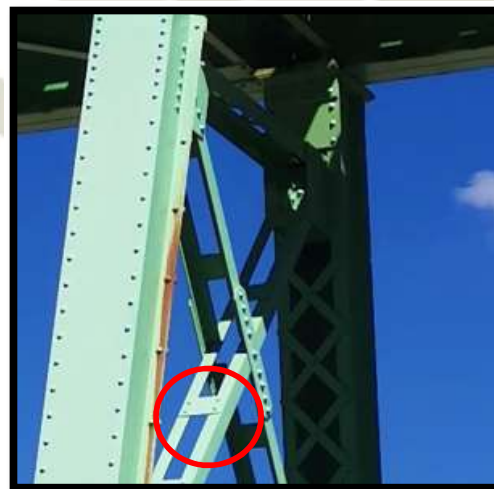
$$F_{3t} = -15097,86 \text{ kg} -f \text{ ó } 33,28 \text{ kips}$$

$$F_4 = 149085,12 \text{ kg} -f \text{ ó } 328,68 \text{ kips},$$

Para F_{3t} que son los arriostres del pilar 1, como observamos en la (**Figura 55**) son 2 perfiles L 4x3x3/8” con una longitud efectiva de 9.5 pies y 12.82 pies, por lo cual se divide la fuera F_{3t} a la mitad, teniendo como resultado:

$$F_3 = 7548,93 \text{ kg} - f \text{ ó } 16,64 \text{ kips}$$

Figura 56: Arriostres Pilar



Nota: Figura de distribución de Arriostres en pilares 1 y 3 “Pilar 1 6y 3”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Comprobación de perfil

$L_1 = 7,56 \text{ pies}$

Perfil $L4 \times 3 \times 3/8''$

Utilizamos $K = 1$ de la siguiente tabla

Tabla 25: Factor k

Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo	<ul style="list-style-type: none"> Rotación y traslación impedidas Rotación libre y traslación impedida Rotación impedida y traslación libre Rotación y traslación libres 					

Nota: La tabla representa “el factor de longitudes efectivas”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

Longitud L1-L2

Tenemos 2 longitudes, para la longitud de L1 = 7.56 pies y una fuerza axial de 33.1 kips el perfil no cumpliría con la carga axial permitida.

Para la segunda longitud L2 = 12.06 pies y una fuerza axial de 33.1 kips, no es adecuado el uso de este perfil ya que no cumpliría con la carga axial permitida.

Tabla 26: Cargas a compresión L4x3

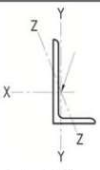


Table 4-11 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 36 \text{ ksi}$
Centrically Loaded Single Angles

Shape	L4×3×								L3½×3½×				
	½		¾		5/16		¼		½		7/16		
lb/ft	11.1		8.50		7.20		5.80		11.1		9.80		
Design	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	
Effect to least radius of gyration, r_z	0	70.1	105	53.7	80.7	44.9	67.5	33.2	49.9	70.1	105	62.3	93.6
	1	68.7	103	52.7	79.2	44.1	66.3	32.7	49.1	68.9	104	61.3	92.1
	2	65.0	97.6	49.8	74.8	41.7	62.7	31.0	46.7	65.6	98.6	58.4	87.7
	3	59.1	88.8	45.3	68.2	38.0	57.1	28.5	42.9	60.4	90.8	53.8	80.8
	4	51.8	77.8	39.8	59.8	33.4	50.2	25.3	38.1	53.9	80.9	48.0	72.1
	5	43.7	65.6	33.6	50.5	28.2	42.4	21.8	32.7	46.4	69.8	41.4	62.2
	6	35.5	53.3	27.3	41.1	23.0	34.6	18.1	27.1	38.8	58.3	34.6	52.0
	7	27.7	41.7	21.4	32.2	18.1	27.2	14.5	21.8	31.3	47.0	28.0	42.0
	8	21.2	31.9	16.4	24.7	13.9	20.9	11.3	16.9	24.4	36.7	21.9	32.9
	9	16.8	25.2	13.0	19.5	11.0	16.5	8.89	13.4	19.3	29.0	17.3	26.0
	10	13.6	20.4	10.5	15.8	8.88	13.3	7.20	10.8	15.6	23.5	14.0	21.0
11									12.9	19.4	11.6	17.4	

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil L4x3”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

Longitud L3-L4

Tenemos 2 longitudes, para la longitud de L3 = 9.5 pies y una fuerza axial de 16.64 kips el perfil se encuentra en el límite de su resistencia.

Para la segunda longitud L4 = 12.82 pies y una fuerza axial de 16.64 kips, no es adecuado el uso de este perfil ya que no cumpliría con la carga axial permitida.

Tabla 27: Cargas a compresión L4x3

Table 4-11 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 36 \text{ ksi}$
Centrically Loaded Single Angles

Shape	L4x3x								L3 1/2x3 1/2x				
	1/2		3/8		5/16		1/4 ^c		1/2		7/16		
lb/ft	11.1		8.50		7.20		5.80		11.1		9.80		
Design	P_n/Ω_c		$\phi_c P_n$		P_n/Ω_c		$\phi_c P_n$		P_n/Ω_c		$\phi_c P_n$		
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	
Select to least radius of gyration, r_z	0	70.1	105	53.7	80.7	44.9	67.5	33.2	49.9	70.1	105	62.3	93.6
	1	68.7	103	52.7	79.2	44.1	66.3	32.7	49.1	68.9	104	61.3	92.1
	2	65.0	97.6	49.8	74.8	41.7	62.7	31.0	46.7	65.6	98.6	58.4	87.7
	3	59.1	88.8	45.3	68.2	38.0	57.1	28.5	42.9	60.4	90.8	53.8	80.8
	4	51.8	77.8	39.8	59.8	33.4	50.2	25.3	38.1	53.9	80.9	48.0	72.1
	5	43.7	65.6	33.6	50.5	28.2	42.4	21.8	32.7	46.4	69.8	41.4	62.2
	6	35.5	53.3	27.3	41.1	23.0	34.6	18.1	27.1	38.8	58.3	34.6	52.0
	7	27.7	41.7	21.4	32.2	18.1	27.2	14.5	21.8	31.3	47.0	28.0	42.0
	8	21.2	31.9	16.4	24.7	13.9	20.9	11.3	16.9	24.4	36.7	21.9	32.9
	9	16.8	25.2	13.0	19.5	11.0	16.5	8.89	13.4	19.3	29.0	17.3	26.0
	10	13.6	20.4	10.5	15.8	8.88	13.3	7.20	10.8	15.6	23.5	14.0	21.0
11									12.9	19.4	11.6	17.4	

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil L4x3”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

Selección de perfil –Refuerzo L1-L2

Considerando L1 =7.56 pies y L2 = 12.04 pies con una carga Axial de 33.1 kips, se recomienda reforzar al actual perfil L4 x 3 x 3/8” con otro de igual dimensión, y formar un 2L 4x3 x 3/8” como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 28: Cargas a compresión 2L4x3

Table 4-10 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips
Double Angles—SLBB

2L4 SLBB

Shape	2L4×3×										No. of connectors ^a	
	5/8		1/2		3/8		5/16		1/4 ^c			
lb/ft	27.2		22.2		17.0		14.4		11.6			
Design	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$		
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD		
X-X Axis	0	172	259	140	211	107	161	89.8	135	66.5	99.9	b
	1	170	256	139	208	106	160	89.0	134	65.9	99.0	
	2	165	248	134	202	103	155	86.4	130	64.2	96.4	
	3	156	235	128	192	98.2	148	82.3	124	61.4	92.3	
	4	145	218	119	179	91.6	138	76.8	116	57.7	86.8	
	5	132	198	108	163	83.7	126	70.4	106	53.3	80.2	
	6	117	176	96.7	145	75.0	113	63.2	95.0	48.4	72.8	
	7	102	154	84.6	127	65.9	99.1	55.7	83.7	43.2	64.9	
	8	87.2	131	72.5	109	56.8	85.4	48.1	72.3	37.9	56.9	
	9	72.8	109	60.8	91.5	48.0	72.1	40.7	61.2	32.6	49.0	
	10	59.5	89.4	49.9	75.1	39.6	59.5	33.8	50.8	27.6	41.5	
	11	49.2	73.9	41.3	62.0	32.7	49.2	27.9	42.0	22.9	34.5	
	12	41.3	62.1	34.7	52.1	27.5	41.3	23.5	35.3	19.3	29.0	
	13	35.2	52.9	29.6	44.4	23.4	35.2	20.0	30.0	16.4	24.7	
14	30.3	45.6	25.5	38.3	20.2	30.4	17.2	25.9	14.2	21.3		
Y-Y Axis	0	172	259	140	211	107	161	89.8	135	66.5	99.9	3
	6	159	239	129	193	97.0	146	74.1	111	51.1	76.8	
	8	151	227	122	183	91.8	138	73.0	110	50.7	76.1	
	10	141	212	113	171	85.5	129	68.4	103	49.0	73.7	
	12	126	189	101	152	76.4	115	62.3	93.7	46.0	69.1	
	14	113	170	90.5	136	68.2	103	55.4	83.2	41.7	62.6	
	16	99.4	149	79.5	120	59.9	90.0	48.2	72.4	36.8	55.3	
	18	86.1	129	68.6	103	51.6	77.5	41.1	61.7	31.9	47.9	
	20	73.3	110	58.2	87.5	43.7	65.6	35.8	53.8	27.1	40.7	
	22	61.3	92.1	48.5	72.8	36.3	54.6	29.7	44.7	23.6	35.5	
	24	51.5	77.4	40.8	61.3	30.6	45.9	25.1	37.7	19.9	29.9	
	26	43.9	66.0	34.7	52.2	26.1	39.2	21.4	32.2	17.0	25.6	
	28	37.9	56.9	30.0	45.1	22.5	33.8	18.5	27.8	14.7	22.1	
	30	33.0	49.6	26.1	39.3	19.6	29.5	16.1	24.2	12.9	19.3	
32	29.0	43.6	23.0	34.5	17.2	25.9						

Properties of 2 angles—3/8 in. back to back

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil 2 L4x3”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

Selección de perfil –Refuerzo L3-L4

Considerando L3 =9.5 pies y L4 = 12.82 pies con una carga Axial de 16.64 kips, se recomienda reforzar al actual perfil L4 x 3 x 3/8” con otro de igual dimensión, y formar un 2L 4x3 x 3/8”, o cambiar todo el arriostre por un perfil 2L4x4x1/4” como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29: Cargas a compresión 2L4x3

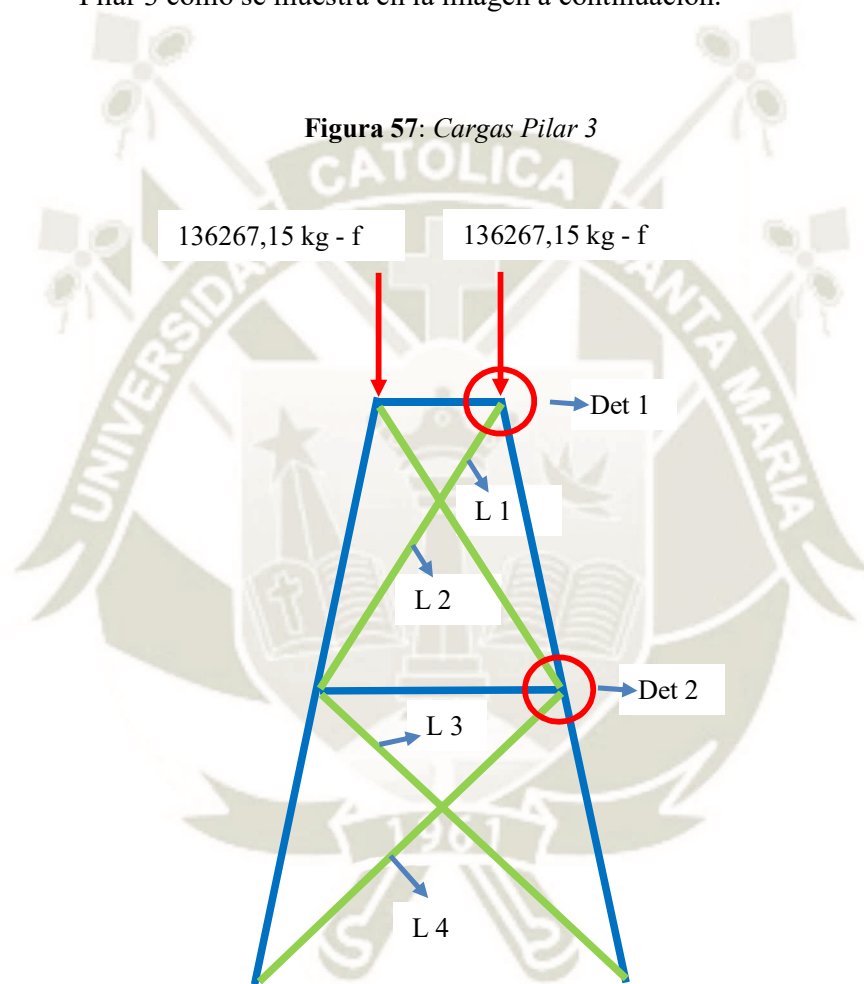
		Table 4-10 (continued)										 2L4 SLBB
		Available Strength in Axial Compression, kips										
		Double Angles—SLBB										
		2L4x3x										
Shape		5/8		1/2		3/8		5/16		1/4 ^c		No. of connectors ^b
lb/ft		27.2		22.2		17.0		14.4		11.6		
Design		P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	
X-X Axis	0	172	259	140	211	107	161	89.8	135	66.5	99.9	b
	1	170	256	139	208	106	160	89.0	134	65.9	99.0	
	2	165	248	134	202	103	155	86.4	130	64.2	96.4	
	3	156	235	128	192	98.2	148	82.3	124	61.4	92.3	
	4	145	218	119	179	91.6	138	76.8	116	57.7	86.8	
	5	132	198	108	163	83.7	126	70.4	106	53.3	80.2	
	6	117	176	96.7	145	75.0	113	63.2	95.0	48.4	72.8	
	7	102	154	84.6	127	65.9	99.1	55.7	83.7	43.2	64.9	
	8	87.2	131	72.5	109	56.8	85.4	48.1	72.3	37.9	56.9	
	9	72.8	109	60.8	91.5	48.0	72.1	40.7	61.2	32.6	49.0	
	10	59.5	89.4	49.9	75.1	39.6	59.5	33.8	50.8	27.6	41.5	
	11	49.2	73.9	41.3	62.0	32.7	49.2	27.9	42.0	22.9	34.5	
	12	41.3	62.1	34.7	52.1	27.5	41.3	23.5	35.3	19.3	29.0	
	13	35.2	52.9	29.6	44.4	23.4	35.2	20.0	30.0	16.4	24.7	
14	30.3	45.6	25.5	38.3	20.2	30.4	17.2	25.9	14.2	21.3		
Y-Y Axis	0	172	259	140	211	107	161	89.8	135	66.5	99.9	3
	6	159	239	129	193	97.0	146	74.1	111	51.1	76.8	
	8	151	227	122	183	91.8	138	73.0	110	50.7	76.1	
	10	141	212	113	171	85.5	129	68.4	103	49.0	73.7	
	12	126	189	101	152	76.4	115	62.3	93.7	46.0	69.1	
	14	113	170	90.5	136	68.2	103	55.4	83.2	41.7	62.6	
	16	99.4	149	79.5	120	59.9	90.0	48.2	72.4	36.8	55.3	
	18	86.1	129	68.6	103	51.6	77.5	41.1	61.7	31.9	47.9	
	20	73.3	110	58.2	87.5	43.7	65.6	35.8	53.8	27.1	40.7	
	22	61.3	92.1	48.5	72.8	36.3	54.6	29.7	44.7	23.6	35.5	
	24	51.5	77.4	40.8	61.3	30.6	45.9	25.1	37.7	19.9	29.9	
	26	43.9	66.0	34.7	52.2	26.1	39.2	21.4	32.2	17.0	25.6	
28	37.9	56.9	30.0	45.1	22.5	33.8	18.5	27.8	14.7	22.1		
30	33.0	49.6	26.1	39.3	19.6	29.5	16.1	24.2	12.9	19.3		
32	29.0	43.6	23.0	34.5	17.2	25.9						

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil 2 L4x3”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

3.8.2.2. Pilar 3

Se tienen las siguientes fuerzas de 136267.15 kg-f en cada Columna del Pilar 3 como se muestra en la imagen a continuación.

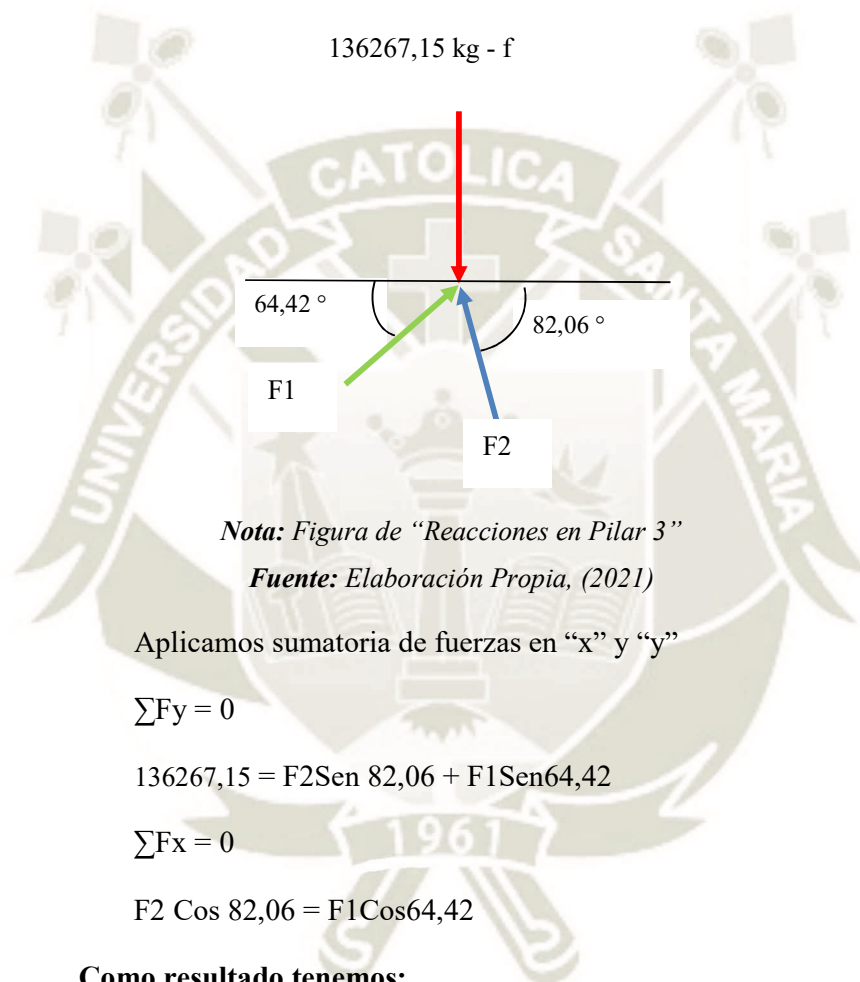


Nota: Figura de “Cargas en Pilar 3”

Fuente: *Elaboración Propia, (2021)*

Tenemos las siguientes reacciones del Det 1

Figura 58: *Reacciones Pilar 3*



Nota: Figura de “Reacciones en Pilar 3”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Aplicamos sumatoria de fuerzas en “x” y “y”

$$\sum F_y = 0$$

$$136267,15 = F2 \text{Sen } 82,06 + F1 \text{Sen}64,42$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F2 \text{Cos } 82,06 = F1 \text{Cos}64,42$$

Como resultado tenemos:

$$F1 = 34086,28 \text{ kg -f ó } 75,14 \text{ kips}$$

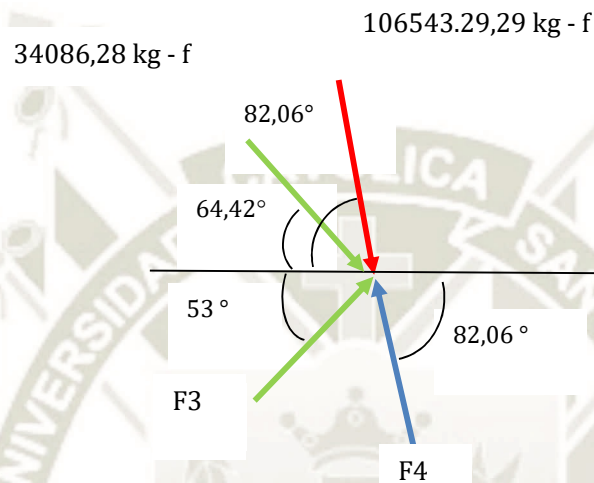
$$F2 = 106543,29 \text{ kg -f ó } 234.89,42 \text{ kips}$$

Para $F1_t$ que son los arriostres del pilar 1, como observamos en la (**Figura 55**) son 2 perfiles L 4x3x3/8” con una longitud efectiva de 8.5 pies y 15.59pies, por lo cual se divide la fuera $F1_t$ a la mitad, teniendo como resultado:

$$F1 = 17043.14 \text{ kg - f ó } 37 \text{ kips}$$

Tenemos las siguientes reacciones del Detalle 2

Figura 59: Reacciones Pilar 3



Nota: Figura de detalle 2 “Reacciones en Pilar 3

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Aplicamos sumatoria de fuerzas en “x” y “y”

$$\sum F_y = 0$$

$$106543,29 \text{ Sen}82,06 + 34086,28 \text{ Sen}64,42 = F3\text{Sen}53 + F4\text{Sen}82,06$$

$$\sum F_x = 0$$

$$106543,29 \text{ Cos } 82,06 + 34086,28 \text{ Cos}64,42 + F3\text{Cos}53 = F4\text{Cos}82,06$$

Como resultado tenemos:

$$F3_t = -14623,22 \text{ kg -f } \text{ ó } 32,23 \text{ kips}$$

$$F4 = 149377,81 \text{ kg -f } \text{ ó } 329,32 \text{ kips,}$$

Para $F3_t$ que son los arriostres del pilar 1, como observamos en la (**Figura 55**) son 2 perfiles L 4x3x3/8” con una longitud efectiva de 11.17 pies y 16.15 pies, por lo cual se divide la fuera $F3_t$ a la mitad, teniendo como resultado:

$$F3 = 7311,61 \text{ kg - f } \text{ ó } 16,12 \text{ kips}$$

Longitud L1-L2

Tenemos 2 longitudes, para la longitud de L1 = 8.5 pies y una fuerza axial de 37 kips el perfil no es el adecuado, excede la carga limite permitida.

Para la segunda longitud L2 = 15.59 pies y una fuerza axial de 37 kips, no es adecuado el uso de este perfil ya que no cumpliría con la carga axial permitida.

Tabla 30: Cargas a compresión L4x3

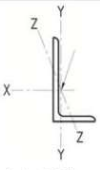


Table 4-11 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 36$ ksi
Centrically Loaded Single Angles

Shape	L4 × 3 ×				L3 1/2 × 3 1/2 ×								
	1/2	3/8	5/16	1/4"	1/2	7/16							
lb/ft	11.1	8.50	7.20	5.80	11.1	9.80							
Design	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	
Select to least radius of gyration, r_z	0	70.1	105	53.7	80.7	44.9	67.5	33.2	49.9	70.1	105	62.3	93.6
	1	68.7	103	52.7	79.2	44.1	66.3	32.7	49.1	68.9	104	61.3	92.1
	2	65.0	97.6	49.8	74.8	41.7	62.7	31.0	46.7	65.6	98.6	58.4	87.7
	3	59.1	88.8	45.3	68.2	38.0	57.1	28.5	42.9	60.4	90.8	53.8	80.8
	4	51.8	77.8	39.8	59.8	33.4	50.2	25.3	38.1	53.9	80.9	48.0	72.1
	5	43.7	65.6	33.6	50.5	28.2	42.4	21.8	32.7	46.4	69.8	41.4	62.2
	6	35.5	53.3	27.3	41.1	23.0	34.6	18.1	27.1	38.8	58.3	34.6	52.0
	7	27.7	41.7	21.4	32.2	18.1	27.2	14.5	21.8	31.3	47.0	28.0	42.0
	8	21.2	31.9	16.4	24.7	13.9	20.9	11.3	16.9	24.4	36.7	21.9	32.9
	9	16.8	25.2	13.0	19.5	11.0	16.5	8.89	13.4	19.3	29.0	17.3	26.0
	10	13.6	20.4	10.5	15.8	8.88	13.3	7.20	10.8	15.6	23.5	14.0	21.0
11									12.9	19.4	11.6	17.4	

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil L4x3”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

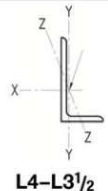
Longitud L3-L4

Tenemos 2 longitudes, para la longitud de L3 = 11.16 pies y una fuerza axial de 16.12 kips, se realiza una extrapolación para esa longitud lo cual nos entregaría una carga máxima de 11.36 kips, lo que nos demuestra que el perfil no es el adecuado.

Para la segunda longitud L4 = 16.14 pies y una fuerza axial de 16.12 kips, no es adecuado el uso de este perfil ya que no cumpliría con la carga axial permitida.

Tabla 31: Cargas a compresión L4x3

Table 4-11 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 36 \text{ ksi}$
Centrically Loaded Single Angles



L4-L3^{1/2}

Shape	L4x3x								L3 ^{1/2} x3 ^{1/2} x				
	1/2		3/8		5/16		1/4 ^c		1/2		7/16		
lb/ft	11.1		8.50		7.20		5.80		11.1		9.80		
Design	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	
Select to least radius of gyration, r_z	0	70.1	105	53.7	80.7	44.9	67.5	33.2	49.9	70.1	105	62.3	93.6
	1	68.7	103	52.7	79.2	44.1	66.3	32.7	49.1	68.9	104	61.3	92.1
	2	65.0	97.6	49.8	74.8	41.7	62.7	31.0	46.7	65.6	98.6	58.4	87.7
	3	59.1	88.8	45.3	68.2	38.0	57.1	28.5	42.9	60.4	90.8	53.8	80.8
	4	51.8	77.8	39.8	59.8	33.4	50.2	25.3	38.1	53.9	80.9	48.0	72.1
	5	43.7	65.6	33.6	50.5	28.2	42.4	21.8	32.7	46.4	69.8	41.4	62.2
	6	35.5	53.3	27.3	41.1	23.0	34.6	18.1	27.1	38.8	58.3	34.6	52.0
	7	27.7	41.7	21.4	32.2	18.1	27.2	14.5	21.8	31.3	47.0	28.0	42.0
	8	21.2	31.9	16.4	24.7	13.9	20.9	11.3	16.9	24.4	36.7	21.9	32.9
	9	16.8	25.2	13.0	19.5	11.0	16.5	8.89	13.4	19.3	29.0	17.3	26.0
	10	13.6	20.4	10.5	15.8	8.88	13.3	7.20	10.8	15.6	23.5	14.0	21.0
11									12.9	19.4	11.6	17.4	

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil L4x3”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

Selección de perfil –Refuerzo L1-L2

Considerando L1 =8.5 pies y L2 = 15.59 pies con una carga Axial de 37 kips, se recomienda cambiar el actual perfil L4 x 3 x 3/8” por un perfil 2L 4 x 4 x 1/4” como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32: Cargas a compresión 2L4x4

Table 4-8 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 36 \text{ ksi}$
Double Angles—Equal Legs

Shape	2L4x4x														No. of connectors	
	3/4		5/8		1/2		7/16		3/8		5/16		1/4 ^c			
lb/ft	37.0		31.4		25.6		22.6		19.6		16.4		13.2			
Design	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$		
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD		
X-X Axis	0	235	353	199	299	162	243	142	214	123	185	103	155	75.9	114	b
	2	230	346	195	293	158	238	139	210	121	182	101	152	74.6	112	
	4	215	324	183	275	149	224	131	197	114	171	95.4	143	70.7	106	
	6	193	290	164	247	134	202	118	178	103	155	86.4	130	64.7	97.3	
	8	166	249	142	213	116	174	103	154	89.5	134	75.3	113	57.2	85.9	
	10	136	205	117	176	96.3	145	85.5	128	74.7	112	63.1	94.8	48.8	73.3	
	12	107	161	93.1	140	76.7	115	68.3	103	59.9	90.1	50.8	76.4	40.1	60.3	
	14	80.8	121	70.7	106	58.5	87.9	52.3	78.6	46.1	69.3	39.3	59.1	31.9	47.9	
	16	61.9	93.0	54.1	81.4	44.8	67.3	40.1	60.2	35.3	53.0	30.1	45.2	24.6	37.0	
	18	48.9	73.5	42.8	64.3	35.4	53.2	31.6	47.6	27.9	41.9	23.8	35.7	19.4	29.2	
20			34.6	52.1	28.7	43.1	25.6	38.5	22.6	33.9	19.3	28.9	15.7	23.7		
Y-Y Axis	0	235	353	199	299	162	243	142	214	123	185	103	155	75.9	114	3
	2	230	345	193	290	154	232	134	201	113	170	82.9	125	55.9	84.1	
	4	224	336	188	282	150	226	130	196	110	166	82.4	124	55.7	83.7	
	6	215	323	180	270	144	216	125	188	106	159	81.4	122	55.1	82.8	
	8	202	304	169	254	135	204	117	176	99.5	150	79.2	119	54.1	81.3	
	10	187	282	156	235	125	188	108	163	92.1	138	75.1	113	52.3	78.5	
	12	166	249	138	208	111	166	95.8	144	81.5	122	67.2	101	48.3	72.6	
	14	147	221	122	184	97.6	147	84.5	127	71.9	108	59.4	89.3	43.6	65.6	
	16	128	192	106	159	84.5	127	73.0	110	62.2	93.5	51.2	77.0	38.4	57.7	
	18	109	164	90.1	135	71.7	108	61.8	92.9	52.7	79.2	43.2	64.9	32.9	49.5	
	20	91.6	138	75.0	113	59.5	89.5	51.2	76.9	43.6	65.5	35.6	53.5	27.6	41.5	
	22	75.7	114	62.1	93.3	49.3	74.1	42.4	63.7	36.2	54.4	29.7	44.6	23.1	34.8	
	24	63.7	95.7	52.2	78.5	41.5	62.4	35.7	53.7	30.5	45.9	25.1	37.7	19.6	29.5	
26	54.3	81.6	44.5	66.9	35.4	53.2	30.5	45.8	26.1	39.2	21.5	32.3	16.9	25.3		
28	46.8	70.4	38.4	57.7	30.6	46.0	26.3	39.6	22.5	33.8	18.6	27.9	14.6	22.0		
30	40.8	61.3	33.5	50.3	26.7	40.1	23.0	34.5	19.6	29.5						

Properties of 2 angles—3/8 in. back to back

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil 2 L4x4”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

Selección de perfil –Refuerzo L3-L4

Considerando L3 =11.16 pies y L4 = 16.14 pies con una carga Axial de 16.12 kips, se recomienda reforzar el actual perfil L4 x 3 x 3/8” por un perfil 2L 4 x 4 x 1/4” como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33: Cargas a compresión 2L4x4

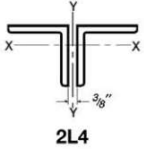


Table 4-8 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 36 \text{ ksi}$
Double Angles—Equal Legs

Shape	2L4x4x														No. of connectors ^a	
	3/4		5/8		1/2		7/16		3/8		5/16		1/4 ^c			
lb/ft	37.0		31.4		25.6		22.6		19.6		16.4		13.2			
Design	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$	P_n/Ω_c	$\phi_c P_n$		
	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD		
X-X Axis	0	235	353	199	299	162	243	142	214	123	185	103	155	75.9	114	b
	2	230	346	195	293	158	238	139	210	121	182	101	152	74.6	112	
	4	215	324	183	275	149	224	131	197	114	171	95.4	143	70.7	106	
	6	193	290	164	247	134	202	118	178	103	155	86.4	130	64.7	97.3	
	8	166	249	142	213	116	174	103	154	89.5	134	75.3	113	57.2	85.9	
	10	136	205	117	176	96.3	145	85.5	128	74.7	112	63.1	94.8	48.8	73.3	
	12	107	161	93.1	140	76.7	115	68.3	103	59.9	90.1	50.8	76.4	40.1	60.3	
	14	80.8	121	70.7	106	58.5	87.9	52.3	78.6	46.1	69.3	39.3	59.1	31.9	47.9	
	16	61.9	93.0	54.1	81.4	44.8	67.3	40.1	60.2	35.3	53.0	30.1	45.2	24.6	37.0	
	18	48.9	73.5	42.8	64.3	35.4	53.2	31.6	47.6	27.9	41.9	23.8	35.7	19.4	29.2	
	20			34.6	52.1	28.7	43.1	25.6	38.5	22.6	33.9	19.3	28.9	15.7	23.7	
Y-Y Axis	0	235	353	199	299	162	243	142	214	123	185	103	155	75.9	114	3
	2	230	345	193	290	154	232	134	201	113	170	82.9	125	55.9	84.1	
	4	224	336	188	282	150	226	130	196	110	166	82.4	124	55.7	83.7	
	6	215	323	180	270	144	216	125	188	106	159	81.4	122	55.1	82.8	
	8	202	304	169	254	135	204	117	176	99.5	150	79.2	119	54.1	81.3	
	10	187	282	156	235	125	188	108	163	92.1	138	75.1	113	52.3	78.5	
	12	166	249	138	208	111	166	95.8	144	81.5	122	67.2	101	48.3	72.6	
	14	147	221	122	184	97.6	147	84.5	127	71.9	108	59.4	89.3	43.6	65.6	
	16	128	192	106	159	84.5	127	73.0	110	62.2	93.5	51.2	77.0	38.4	57.7	
	18	109	164	90.1	135	71.7	108	61.8	92.9	52.7	79.2	43.2	64.9	32.9	49.5	
	20	91.6	138	75.0	113	59.5	89.5	51.2	76.9	43.6	65.5	35.6	53.5	27.6	41.5	
22	75.7	114	62.1	93.3	49.3	74.1	42.4	63.7	36.2	54.4	29.7	44.6	23.1	34.8		
24	63.7	95.7	52.2	78.5	41.5	62.4	35.7	53.7	30.5	45.9	25.1	37.7	19.6	29.5		
26	54.3	81.6	44.5	66.9	35.4	53.2	30.5	45.8	26.1	39.2	21.5	32.3	16.9	25.3		
28	46.8	70.4	38.4	57.7	30.6	46.0	26.3	39.6	22.5	33.8	18.6	27.9	14.6	22.0		
30	40.8	61.3	33.5	50.3	26.7	40.1	23.0	34.5	19.6	29.5						

Properties of 2 angles—3/8 in. back to back

Nota: La tabla representa “Cargas Axiales Perfil 2 L4x4”

Fuente: ASSHTO-LRFD, (2014)

A continuación, se resume los refuerzos recomendados para los tres pilares, los pesos se utilizaron en el presupuesto general.

Tabla 34: Refuerzos

Refuerzos Pilares				
N°	Mat	Long(m)	Peso(kg/m)	Total (kg)
Pilar 1	L4x3x3/8"	50,48	12,65	638,57
Pilar 2	L4x3x3/8"	200,87	12,65	2541,01
Pilar 3	2Lx4x4x1/4"	62,72	19,60	1229,31

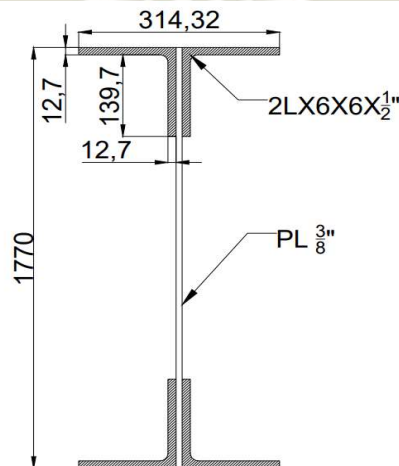
Nota: Tabla de "Refuerzos"

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

3.8.3. Cálculo de deflexión en la Celosía

Para el cálculo de la deflexión consideraremos como viga principal la celosía que sería 2 vigas compuestas por 2 ángulos 2Lx6x6x1/2 las cuales actuaran como patines y una plancha de 3/8" la cual funcionara como alma de la viga. Ver Figura (59)

Figura 60: Vista de perfil de viga que compone la Celosía



Nota: Vista de perfil de celosía que actúa como Trabe armada.

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Según la especificación LRFD los miembros sometidos a flexión son denominados vigas o traveses armados dependiendo de la relación esbeltez alma h/t_w , donde h es el peralte y t_w el espesor del alma. Para ser tratado como viga debe cumplir la siguiente relación.

$$\lambda_w \leq \lambda_{rw}$$

Donde.

$$\lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

λ_{rw} : Esbeltez límite del alma que separa a vigas de traveses armados.

λ_w : Esbeltez de la placa del alma (h/t_w)

Remplazando datos tenemos.

$$\lambda_w = \frac{67.68 \text{ Pulg}}{0.375 \text{ Pulg}}$$

$$\lambda_w = 180.5$$

$$\lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$\lambda_{rw} = 161.8$$

Comparando resultados tenemos que:

$$180.5 > 161.8 \rightarrow \lambda_w > \lambda_{rw}$$

Por lo tanto, nuestra viga según la especificación LRFD será considerada como una Trabe Armada.

En este punto procedemos a calcular la deflexión en el Trabe Armada considerando que según la AASHTO para un puente con carga vehicular la deflexión máxima permitida es de $L/800$ siendo L la longitud del claro. (ver Tabla (30)).

Tabla 35: Deflexión máxima permitida en puentes

Tipo de Carga	Deflexión Máxima
En general para carga vehicular	L/800
Cargas vehiculares o peatonales	L/1000
Cargas vehiculares en zonas cantiliver	L/300
Cargas vehiculares o peatonales en zonas cantiliver	L/375

Nota: Límites de deflexión para acero, aluminio y/o construcción de Hormigón.

Fuente: AASHTO, (2007)

Para el cálculo consideramos la longitud del claro más crítico con $L=19.845$ m

Cálculo del momento de inercia:

Nota: Como se ve en la figura (61), se utilizaron ángulos 2L 4x4x3/8 para rigidizar la plancha que trabajan como alma de la viga y al mismo tiempo ayuda a dar mayor resistencia a la deflexión de la trabe en estudio por lo que se agregara en el cálculo de la Inercia 2 placas de 6mm x 466 mm (Elemento 6, figura 62), que compensaran el área que generan los ángulos 2L en el claro analizado.

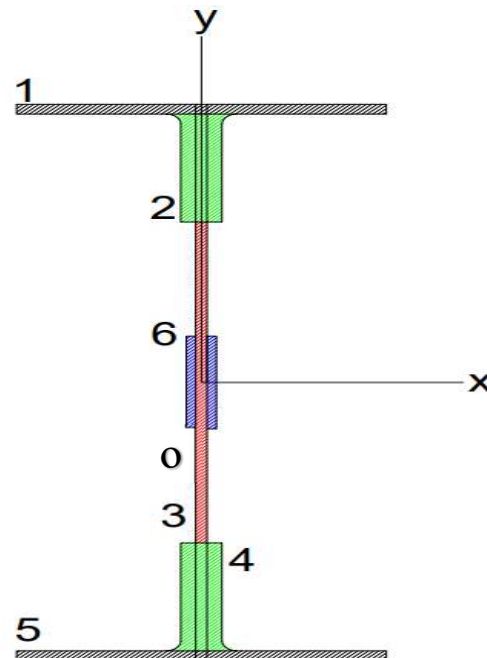
Figura 61: Refuerzos Celosía



Nota: Fotografía interna de la celosía

Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Figura 62: Refuerzos Celosía



Nota: Vista de perfil de celosía que actúa como Trabe armada

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Ya que el elemento es simétrico en sus 2 ejes X y Y tenemos el centro de gravedad en el punto medio "O".

Por teorema de ejes paralelos tenemos.

$$I = \sum (I_x + A \cdot D^2)$$

$$I_x = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_x = \left[\frac{1}{12} 314.32 \times 12.7^3 + 314.32 \times 12.7 \times 878.65^2 \right] \times 2$$

$$+ \left[\frac{1}{12} 34.925 \times 139.7^3 + 34.925 \times 139.7 \times 803.45^2 \right] \times 2$$

$$+ \left[\frac{1}{12} 9.525 \times 1465.2^3 \right] + \left[\frac{1}{12} 12 \times 466^3 \right]$$

$$I = 15076692047 \text{ mm}^4$$

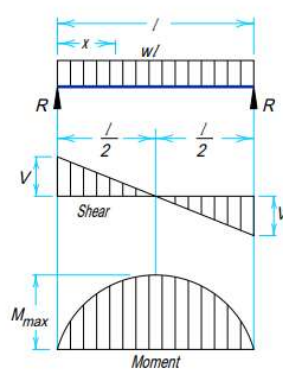
$$I = 1507669.2047 \text{ cm}^4$$

Flexión máxima para viga con carga distribuida.

Según manual LRFD para una carga distribuida tenemos la ecuación para la deflexión máxima

Figura 63: Cargas distribuidas LRFD

1. SIMPLE BEAM—UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD



Total Equiv. Uniform Load	$= wl$
$R = V$	$= \frac{wl}{2}$
V_x	$= w \left(\frac{l}{2} - x \right)$
M_{max} (at center)	$= \frac{wl^2}{8}$
M_x	$= \frac{wx}{2} (l - x)$
Δ_{max} (at center)	$= \frac{5wl^4}{384EI}$
Δ_x	$= \frac{wx}{24EI} (l^2 - 2lx^2 + x^3)$

Nota: Tomado del manual de acero construcción.

Fuente: LRFD Segunda Edición, (1998)

Usamos:

$$\Delta_{max} = \frac{5wl^4}{384 EI}$$

Donde:

W: Carga distribuida, kg/cm

L: Longitud del Claro, (1984.5 cm)

E: Modulo de elasticidad del material (29,000 ksi ó 2038901.8 kg/cm² para acero)

I: Momento de inercia de la trabe, cm⁴

Para la carga distribuida W tenemos de tener en consideración las cargas vivas de vehículos y cargas muertas.

Tabla 36: Cargas muertas

Carga muerta	
Carga	Peso, kg/m
Riel	39.7
Durmiente	111.82
Celosía	333.04
Total	484.55584

Nota: Tabla de “Cargas muertas kg/m” para el tramo de 19.845m

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tabla 37: Cargas Vivas

Carga Viva	
Carga	Peso, kg/m
Locomotora	1963.584
Vagón	1309.06
Total	3272.64

Nota: Tabla de “Cargas vivas kg/m” para el tramo de 19.845m

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Nota:

Para la carga viva se considera la situación más crítica con 2 locomotoras y 2 vagones al mismo tiempo, también se consideró un factor de seguridad de 1.2.

Carga distribuida total

$$W = W_L + W_D$$

$$W = 484.56 + 3272.64$$

$$W = 3757.2 \text{ kg/m}$$

$$W = 37.572 \text{ kg/cm}$$

Remplazamos en la fórmula:

$$\Delta_{max} = \frac{5wl^4}{384 EI}$$

$$\Delta_{max} = \frac{5 \times 37.572 \times 1984.5^4}{384 \times 2038901.8 \times 1507669.2047}$$

$$\Delta_{max} = 2.46 \text{ cm}$$

$$\Delta_{permissible} = \frac{L}{800}$$

$$\Delta_{permissible} = \frac{1984.5}{800}$$

$$\Delta_{permissible} = 2.48 \text{ cm}$$

$$\Delta_{permissible} \geq \Delta_{max}$$

$$2.48 \geq 2.46$$

La deflexión máxima es menor a la deflexión permisible según AASHTO por lo que elemento es adecuado.

4. CAPITULO 4: Mantenimiento y Costos

Para el desarrollo de este capítulo se considera iniciar con la inspección del puente que se detalla a continuación.

4.1. Informes De Inspección

4.1.1. Introducción

En este punto abordará los informes que deben presentarse después de la inspección, incluido un informe de calidad del estado del puente.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los datos básicos que componen un informe de inspección son:

- Identificación.
- Características geométricas.
- Características estructurales.
- Vía y elementos auxiliares.
- Estado de conservación.
- Observaciones y recomendaciones. (2006, p. 24)

4.1.1.1. Del Informe De Inspección

El informe de inspección contiene los datos del inventario del sistema estandarizado, adaptado a los procesos informáticos, y un factor numérico que representa la evaluación del estado del puente con un valor entre 1 y 5 según los criterios que se dan en la siguiente tabla.

Tabla 38: Cuadro de condición global del puente

Calificación	Descripción de la Condición
0	Muy bueno : No se observa problemas
1	Bueno : Hay problemas menores. Algunos elementos muestran deterioro sin importancia.
2	Regular : Los elementos primarios están en buen estado, pero algunos secundarios muestran deterioro, algo de pérdida de sección, grietas, descascaramiento o socavación pérdida de sección avanzada.
3	Malo : La pérdida de sección, deterioro o socavación afectan seriamente a los elementos estructurales primarios. Hay posibilidad de fracturas locales, pueden presentarse rajaduras en el concreto o fatigas en el acero.
4	Muy Malo : Avanzado deterioro de los elementos estructurales primarios. - Grietas de fatiga en acero o grietas de corte en el concreto - La socavación compromete el apoyo que debe dar la infraestructura. - Conviene cerrar el puente a menos que este monitoreado .
5	Pésimo : Gran deterioro o pérdida de sección presente en elementos estructurales críticos. - Desplazamientos horizontales o verticales afectan la estabilidad de la estructura - El puente se cierra al tráfico pero con acciones correctivas se puede restablecer el tránsito de unidades ligeras.

Nota: Tomado de “Guía para inspección de puentes” redactado por Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Fuente: Ministerio de Transportes, (2006)

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, nos indica lo siguiente:

- Los informes de inspección son de gran ayuda para ilustrar el estado del puente, en particular para mostrar los detalles de los daños observados durante la inspección; Incluirán descripciones, esquemas y fotografías que detallen los defectos observados; asimismo, deben especificar la ubicación del problema y su extensión.
- A la hora de elaborar el informe se debe tener en cuenta que, a partir de esta información, se pueden planificar acciones de mantenimiento y posibles asignaciones de recursos económicos. Además, es un expediente técnico que puede ser un elemento importante en futuros litigios.
- El lenguaje utilizado en el informe será claro y conciso y, se utilizará la misma terminología en la medida de lo posible para evitar cualquier ambigüedad de significado.

- La información contenida en los informes será la obtenida durante las inspecciones de campo y complementada con la referencia de los planos de construcción y verificación de campo.
- Incluso si es solo una inspección rápida, para verificar algunos detalles específicos, cuando se anticipa un cambio o problema, y no se detectan cambios obvios durante la inspección e incluso cuando las condiciones existentes parecen no ser importantes, se preparará un informe.
- Como parte del informe del puente, se incluirán dos fotografías, una mostrando una vista panorámica de la carretera y la otra mostrando la elevación principal; También pueden incluir otras fotografías que consideren importantes, que muestren defectos importantes u otras características especiales.
- Las fotografías deben expresar con el mayor detalle posible el daño observado en la estructura, también deben ilustrarse mediante croquis o planos necesarios, la ubicación exacta de las fallas encontradas en el suelo, para evaluar su extensión real.
- Se debe adjuntar una fotografía que muestre las instalaciones adicionales de la estructura, así como los signos de peligro, falla o defecto, que merecen ser mencionados, así como la descripción de las condiciones y la valoración correspondiente.
- La elaboración de planos de avería, como el reportaje fotográfico, es un complemento importante del informe general de inspección, haciendo más tangible el trabajo realizado durante la inspección y permitiendo evaluar y ejecutar el proyecto de rehabilitación.
- El inspector debe comparar la condición o el grado de deterioro. Los diagramas bien construidos son muy útiles para determinar, en investigaciones futuras, el desarrollo de defectos y para ayudar a determinar los cambios y su magnitud. Se incluirán todas las recomendaciones e instrucciones para la reparación o mantenimiento correspondiente. (2006, pp. 24-25)





4.2. Informe de inspección


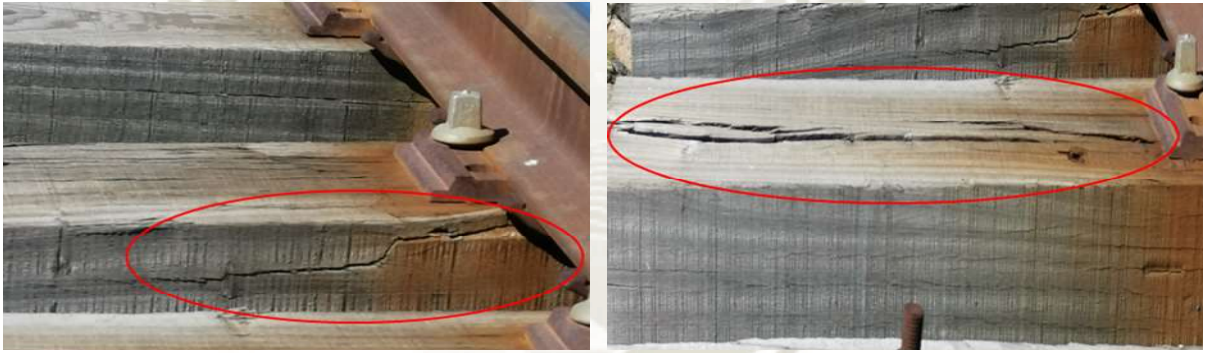

Tabla 39: Información general del puente

1) IDENTIFICACION Y UBICACIÓN			
Nombre Puente: Puente Sumbay		Provincia: Arequipa	
Tipo de Puente: Ferroviario		Distrito: Yanahuara	
Altitud (msnm): 4126 msnm		Poblado mas Cercano: Sumbay	
Latitud (grad, min): 15°58'37.59"S		Kilometraje: Km 114+000 de la línea férrea Arequipa	
Longitud (grad, min): 71°20'46.72"O			
2) DATOS GENERALES			
Puente Sobre: Afluente		Numero Vias Tránsito: 01	
Longitud Total (m): 73 m			
Ancho (m): 2,17 m			
Tipo de Servicio: Ferroviario			
Tráfico (veh/día): 10 (Solo de las Bambas)			
3) TABLERO DE RODADURA			
Material: Acero y madera			
Superficie de Desgaste: Riel de Acero			
4) PILARES			
PILAR 1	PILAR 2	PILAR 3	
Elevación/Tipo : Viga Tipo C Arriostrada	Elevación/Tipo : Viga Tipo C Arriostrada	Elevación/Tipo : Viga Tipo C Arriostrada	
Elevación/Material : Acero ASTM A-36	Elevación/Material : Acero ASTM A-36	Elevación/Material : Acero ASTM A-36	
Cimentación/Tipo: Zapatas	Cimentación/Tipo: Zapatas	Cimentación/Tipo: Zapatas	
Cimentación/Material: Concreto Armado	Cimentación/Material: Concreto Armado	Cimentación/Material: Concreto Armado	
5) DETALLES			
BARANDAS		VEREDAS Y SARDINELES	
Tipo: No cuenta con Barandas		Tipo: No cuenta Veredas y sardineles	
Material:		Material:	
6) SEGURIDAD VIAL			
ACCESO IZQUIERDO			
Señal Informativa: Si cuenta con señal informativa sobre el puente			
Señal Preventiva: Cuenta con la señalización de que es solo puente ferroviario y está prohibido el cruce de personas			
7) RUTA ALTERNA			
No cuenta			
8) SUELO DE CIMENTACION			
	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3
Material:	Roca	Roca	Roca

CONDICION DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS							
NRO.	DESCRIPCION	CALIFICACION					OBSERVACIONES
		0	1	2	3	4	
1	Componentes de Acero						
1,1	Perfiles						
1,1,1	Plat 2 1/2" x 3/8"						Union con Plat 2 1/2" x 3/8" como se muestra a continuación se encuentra doblada.
1,1,2	C15X40						Algunas áreas superficiales de los perfiles se encuentran corroídos
1,1,3	L 5X3X3/8"						Perfil L 5X3X3/8" se encuentra con algunas deformaciones como se muestra a continuación

CONDICION DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS							
NRO.	DESCRIPCION	CALIFICACION					OBSERVACIONES
		0	1	2	3	4	
1,2 Pernos o Remaches							
1,2,1	Remaches 7/8"						No se encontraron remaches sueltos ni con deterioro.
1,2,2	Pernos de anclaje						No se encontraron pernos sueltos , en algunos puntos se ve inicios de
1,6 Pintura							
1,6,1	C15X40 Pilar Central						En la parte inferior del pilar central se encuentra el perfil C15x40 el cual presenta deterioro en la pintura como se muestra en las siguientes imágenes.

CONDICION DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS								
NRO.	DESCRIPCION	CALIFICACION						OBSERVACIONES
		0	1	2	3	4	5	
1,6,2	C15X40 Pilar 1							En la parte central del pilar 1 se encuentra el perfil C15x40 el cual presenta la pintura deteriorada, y comienzo de oxidación.
								
1,7	Riel							Según la inspección visual no se encontró mayor deterioro en los rieles, más que un ligero desgaste en la superficie de contacto del riel (Hongo) como se muestra a continuación.
								

CONDICION DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS							
NRO.	DESCRIPCION	CALIFICACION					OBSERVACIONES
		0	1	2	3	4	
1,7,2	Tirafondos						No se encontraron Tirafondos sueltos ni con deterioro.
							
2 Componentes de Madera							
2,1	Durmientes						Los durmientes del puente se encuentran con grietas, no se observa aplastamiento en los durmientes
							
3 Componentes de concreto							
3,1	Cimentación y Dados						
3,1,1	Pilar 1						Pilar cimentado sobre roca, no se encontro fisuras ni deterioro en el concreto
							

CONDICION DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS								
NRO.	DESCRIPCION	CALIFICACION						OBSERVACIONES
		0	1	2	3	4	5	
3,1,2	Pilar 2 (Central)							Pilar cimentado sobre concreto, Se encontro fisuras y desprendimientos del concreto aparentemente superficial .
3,1,3	Pilar 3							Pilar cimentado sobre roca, no se encontro fisuras visuales en el concreto

4.3. Procedimiento de Mediciones y Ensayo con equipo de Ultrasonido

Luego de una inspección visual al puente procedemos a realizar un ensayo no destructivo de ultrasonido para obtener los espesores de los elementos estructurales y asegurar que se encuentren en condiciones óptimas de espesor.

4.3.1. Objetivo

Establecer los parámetros necesarios para la inspección mediante ultrasonido con haz longitudinal, para realizar la medición de espesores en los materiales de acuerdo a ASTM E797 / E797M, y conocer el estado actual de los elementos.

4.3.2. Alcances

Este procedimiento contiene los requerimientos y técnicas para la medición de espesores por ultrasonido con haz longitudinal con transductores pulso – eco y dual a materiales con una temperatura no mayor a 93 °C (200 °F).

4.3.3. Documentos De Referencia

Normas Técnicas

- ASTM E797 / 797M
- ASTM A6/A6M

4.3.4. Desarrollo

4.3.4.1. Requisitos Generales

1. Instrumento Ultrasónico

El instrumento Ultrasónico debe ser del tipo Pulso Eco para emplearse con palpadores (Transductores) comprendidos entre 1 a 7.5 MHz de frecuencia. La presentación de la pantalla debe ser del tipo Scan “A”.

La linealidad vertical del instrumento debe ser chequeada posicionando el palpador sobre la resolución del bloque IIW, o bloque similar, de tal forma que la señal de la ranura

este aproximadamente al 30 % de amplitud de la pantalla y podamos diferenciar las 3 señales del fondo.

2. Palpadores (Transductores)

El transductor debe ser de 0.25” a 1” de Diámetro con una frecuencia comprendida entre 1 MHz y 7.5 Mhz.

3. Instrumentos Utilizados.

Para la inspección se utilizó los siguientes equipos:

- Equipo ultrasonido EPOCH4 – Panametrics.
- 1 bloque de calibración DSC, n/s: 29945 – High Tech.
- Transductor Dual – Olympus de 7.5 MHz
- 2 planchas metálicas de acero ASTM A36 de 6.25 mm y 8mm

Figura 64: *Equipo Olympus Epoch 4*



Nota: Figura tomada de Olympus “Epoch4”.

Fuente: Olympus-ims, (2012)

4.3.4.2. Procedimiento de inspección

1. Calibración del instrumento

La calibración será realizada ajustando el Equipo a los parámetros necesarios como son la velocidad del material, rango establecido, ganancia apropiada, tipo de transductor y frecuencia de transductor.

Luego se utilizará probetas de calibración que deberán ser una escalera de espesores o probetas de espesores conocidos de los materiales a realizar la medición. (Ver Figura Nro. 51).

Se utilizará para la calibración del instrumento 2 valores conocidos del material a utilizar para la medición de espesores.

Se utilizará gel acoplante para generar el acople entre transductor y elemento a realizar la medición luego se ajustará los valores en el equipo según el espesor de la probeta ya sea por calibración manual o automática.

4.3.4.3. Procedimiento de recopilación de espesores

Realice una inspección previa de la zona y adyacente a la recopilación de espesores, y elimine todos los elementos que interfieran con la libre recopilación y/o medición de espesores. Realice la aplicación de acoplante en la zona previamente limpia, posicione el transductor de haz recto y/o dual en la zona previa con acoplante y realice las mediciones respectivas.

La amplitud de la señal debe de mantenerse en un 50 % durante la medición.

Nota 1: Condiciones superficiales o la estructura del grano del material pueden causar el uso de frecuencias altas y/o bajas en la medición de espesores.

Nota 2: La amplitud de las señales podrían ser menores a 50%, y son aceptados, considerando la rugosidad superficial del material.

4.3.4.4. Registros

Se debe de registrar todos los valores que se encuentren por debajo de la variación de espesores tolerables según el estándar aplicado. Además, debemos de registrar el valor mínimo y máximo de la medición de espesores del área en mención.

4.3.4.5. Responsabilidades

Es responsabilidad del Inspector que mide los espesores realizar la calibración del equipo y conocer la técnica en mención.

- Es responsabilidad del Nivel II interpretar, evaluar y reportar los resultados de las inspecciones de acuerdo a los requisitos de este procedimiento.
- Es responsabilidad del QA/QC Manager de MESERQUA SAC. El control y actualización de este procedimiento.

4.3.4.6. Reporte Final

Luego de culminada la medición en los distintos elementos de la estructura se emitió un informe de inspección de ultrasonido el cual se detalla a continuación.

1. Detalles de la inspección en pared lateral y arriostres

Figura 65: *Pared lateral de Celosía*



Nota: Imagen tomada de Celosía “Puente Sumbay”

Fuente: *Elaboración Propia, (2021)*

Figura 66: Pruebas en pared lateral de Celosía



Nota: Imagen tomada de Informe de Ultrasonido “Puente Sumbay”.

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

Como se observa en la **Figura 66** se realizaron las mediciones con el equipo de ultrasonido en las planchas laterales de 3/8” y los arriostres de perfil L6x6x1/2”, ambos pertenecen a la celosía, entregándonos los siguientes resultados

Tabla 40: Medidas tomadas en pared lateral

PUENTE FERROVIARIO SUMBAY	
PARED LATERAL DIRECCIÓN – ESTE/OESTE	
PUNTOS N°	VALOR(mm)
1	10,09
2	10,04
3	10,15
4	10,21
5	9,89
6	9,98
7	10,09
8	9,93
9	9,98
10	10,06
11	10,2
12	10,15
13	10,24
14	9,37
15	9,44
16	9,51
17	9,63
18	10,01
19	9,77
20	9,88

Nota: Tabla tomada de Informe de Ultrasonido “Puente Sumbay”

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

Tabla 41: Medidas tomadas en arriostres

PUENTE FERROVIARIO SUMBAY	
ARRIOSTRES DIRECCIÓN – ESTE/OESTE	
PUNTOS N°	VALOR(mm)
1	12,58 (Angulo Inferior)
2	12,74 (Angulo Superior)
3	12,47 (Angulo Inferior)
4	12,42 (Angulo Superior)

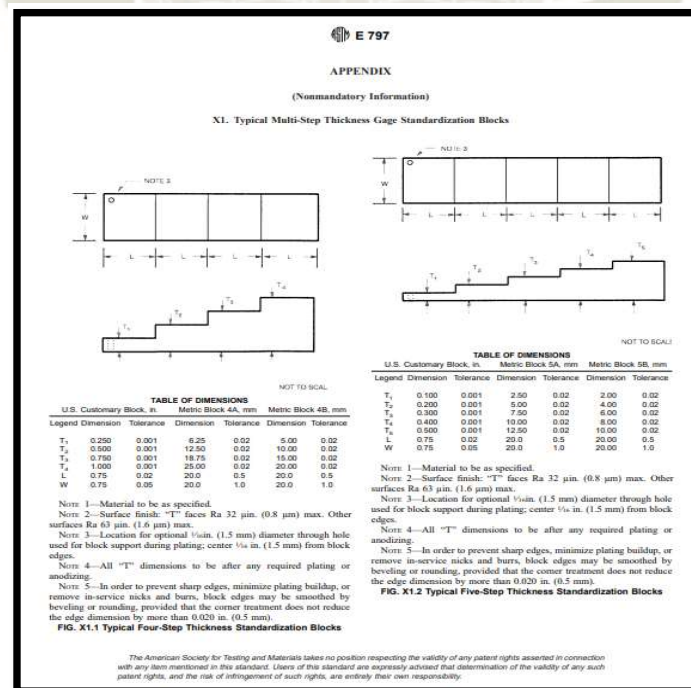
Nota: Tabla tomada de Informe de Ultrasonido “Puente Sumbay”

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

Como se observa en la Tabla 39 y Tabla 40 las medidas tomadas en campo son cercanas a las medidas originales de los perfiles que son $3/8'' \approx 9.53\text{mm}$ y $1/2'' \approx 12.7\text{mm}$ respectivamente.

Para los registros de inspección de ultrasonido (Ver **Anexo 8.1.**)

Figura 67: Tabla de dimensiones.



Nota: Bloques típicos de estandarización de espesor de cuatro y cinco pasos

Fuente: Norma ASTM E797, (2007)

4.4. Medición Vibracional Mediante Colector De Vibraciones A Punte Ferroviario - Sumbay

El objetivo de la medición vibracional realizado al puente, es conocer los valores de vibración con diferente criticidad según la velocidad del tren, más la carga trasladada y evidenciar alguna vibración considerable.

4.4.1. Equipos

Para la inspección se utilizó el siguiente equipamiento.

- Equipo Colector de Vibraciones SKF Modelo CMXA70 y n/s: 091285.
- 1 Cable Coaxial Modelo CMAC5209
- Acelerómetro Modelo CMSS2200 y n/s: 536971

Figura 68: *Equipo de Vibraciones SKF*

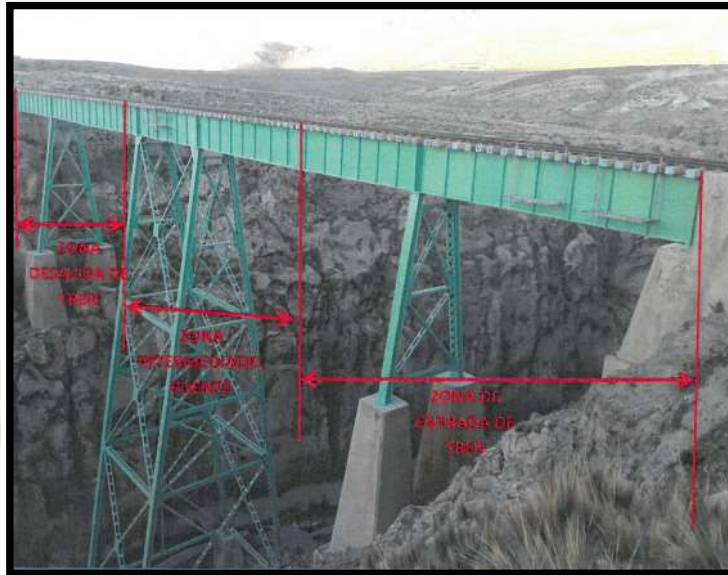


Nota: Equipo Colector de Vibraciones SKF Modelo CMXA70

Fuente: *Artisan Technology Group*

4.4.2. Detalles De Las Zonas De Inspección Realizada

Figura 69: Zonas de inspección puente sumbay



Nota: Imagen tomada de Informe de Medición vibracional “Puente Sumbay”.

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

4.4.3. Ensayo De Prueba Vibracional Con Velocidad De Tren A 5 Km/H

Tabla 42: Prueba de Vibraciones a 5 km/h

PRUEBA DE MEDICION VIBRACIONAL DEL PUENTE SUMBAY			
ITEM	Valor (mm/s)	Ubicación	Velocidad
1	0,138	Zona de entrada	5Km/h
2	0,169	Zona de entrada	
3	0,195	Zona de entrada	
4	0,166	Zona de entrada	
5	0,201	Zona de entrada	
6	0,23	Zona intermedia	
7	0,254	Zona intermedia	
8	0,284	Zona intermedia	
9	0,293	Zona intermedia	
10	0,315	Zona intermedia	
11	0,238	Zona de salida	
12	0,224	Zona de salida	
13	0,214	Zona de salida	
14	0,155	Zona de salida	
15	0,053	Zona de salida	

Nota: Tabla tomada de Informe de Medición vibracional “Puente Sumbay”.

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

4.4.4. Ensayo De Prueba Vibracional Con Velocidad De Tren A 10 Km/H

Tabla 43: Prueba de Vibraciones a 10 km/h

PRUEBA DE MEDICION VIBRACIONAL DEL PUENTE SUMBAY			
ITEM	Valor (mm/s)	Ubicación	Velocidad
1	0,173	Zona de entrada	10Km/h
2	0,186	Zona de entrada	
3	0,266	Zona de entrada	
4	0,291	Zona de entrada	
5	0,393	Zona de entrada	
6	0,527	Zona intermedia	
7	0,745	Zona intermedia	
8	1,08	Zona intermedia	
9	1,16	Zona intermedia	
10	1,53	Zona intermedia	
11	0,44	Zona de salida	
12	0,375	Zona de salida	
13	0,345	Zona de salida	
14	0,11	Zona de salida	
15	0,053	Zona de salida	

Nota: Tabla tomada de Informe de Medición vibracional “Puente Sumbay”.

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

4.4.5. Ensayo De Prueba Vibracional Con Velocidad De Tren A 15 Km/H

Tabla 44: Prueba de Vibraciones a 15 km/h

PRUEBA DE MEDICION VIBRACIONAL DEL PUENTE SUMBAY			
ITEM	Valor (mm/s)	Ubicación	Velocidad
1	0,153	Zona de entrada	15Km/h
2	0,17	Zona de entrada	
3	0,184	Zona de entrada	
4	0,217	Zona de entrada	
5	0,236	Zona de entrada	
6	0,656	Zona intermedia	

7	1,1	Zona intermedia
8	0,284	Zona intermedia
9	0,293	Zona intermedia
10	0,315	Zona intermedia
11	0,238	Zona de salida
12	0,224	Zona de salida
13	0,214	Zona de salida
14	0,155	Zona de salida
15	0,053	Zona de salida

Nota: Tabla tomada de Informe de Medición vibracional “Puente Sumbay”.

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

Figura 70: Toma de lecturas de vibraciones en puente Sumbay



Nota: Imagen tomada de Informe de Medición vibracional “Puente Sumbay”.

Fuente: Ferrocarril Transandino, (2018)

De las mediciones de vibraciones que fueron obtenidas mediante el colector de vibración en la estructura del puente ferroviario sumbay, con el tren cargado y en movimiento, detallando así las diferentes situaciones de prueba. Cabe resaltar que, en las 3 zonas, se obtuvieron datos de vibración a distintas velocidades, tales son 5Km/h (vibraciones bajas), a 15Km/h (vibraciones altas) y a 10Km/h (vibraciones relativamente promedio) y la vibración en zona del cimiento se mantiene baja.

4.5. Informe De Calidad del Estado actual del Puente / Pintura.

4.5.1. Objetivo

El objetivo del presente informe es realizar una evaluación del estado actual del puente Sumbay luego de un periodo de 4 años desde la aplicación de recubrimiento.

4.5.2. Documentos De Referencia

- Jet 85 MP (DATA SHEET). Anexo 8.2.
- Jethane 650 HS (DATA SHEET). Anexo 8.2.

4.5.3. Antecedentes

- Como antecedentes tenemos que el puente fue pintado en su totalidad en 2018.
- Cabe mencionar que no se cuenta con registros de aplicación ni procedimientos o controles de calidad referentes a la aplicación del recubrimiento.

4.5.4. Desarrollo

4.5.4.1. Inspección Visual

Durante la inspección Visual se Evaluó las siguientes condiciones:

- Apariencia General.
- Integridad del recubrimiento.



Tabla 45: Resumen de inspección Visual.

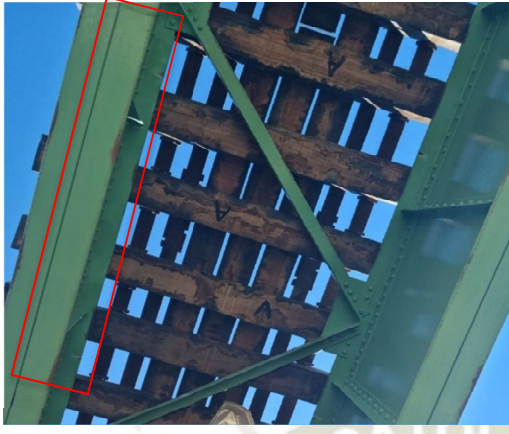

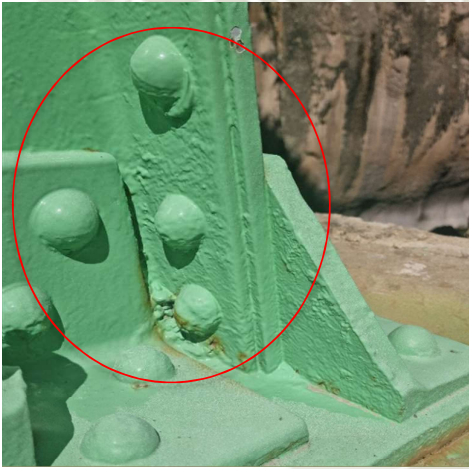
ITEM	Descripción	Inspección Visual		
		Apariencia General	Integridad del recubrimiento	Observaciones
1	PILAR 1	Chorreaduras y aplicación defectuosa.	Presenta partes con desprendimiento	Presenta zonas localizadas con distribución de oxidación .
2	PILAR 2	Presenta corrosión en cavidades.	Presenta desprendimiento y falta de adherencia en la capa final.	Presenta daños y desprendimientos considerables
3	PILAR 3	Buena, presenta resanes localizados y presenta zonas con daños mecánicos.	Presenta puntualmente daños mecánicos desprendimientos considerables.	Aplicación inadecuada en puntos de difícil acceso.
4	CELOSIA	Regular, presenta Oxidación y falta de pintura en fillos.	Presenta pintura desprendida en fillos.	Daño mecánico con exposición del metal.

Nota: Tabla de “Inspección Visual del Puente Sumbay”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tabla 46: Reporte Fotográfico

	
Falta de adherencia entre capas	Chorreaduras de inadecuada aplicación

	
<p>Oxidación en Filos</p>	<p>Desprendimientos de pintura</p>
	
<p>Aplicación incorrecta en zona de difícil acceso</p>	<p>Corrosión en cavidades</p>

Nota: Tabla de “Inspección Visual del Puente Sumbay”

Fuente: *Elaboración Propia, (2021)*

4.6. Procedimiento de pintado

4.6.1. Alcances

Este procedimiento detalla las etapas de los trabajos de preparación de superficie, aplicación de los recubrimientos, así como los planes de pintado y podrá estar sujeto a cambios.

4.6.2. Documentos De Referencia

El proveedor de pintura, QROMA nos indica las siguientes normas Técnicas:

Normas Técnicas

- SSPC-PA1: Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento.
- SSPC-PA2: Medición de espesores de película seca.
- SSPC-SP1: Limpieza con solventes.
- SSPC-SP2: Limpieza con herramientas manuales.
- SSPC-SP3: Limpieza con herramientas motrices.
- SSPC-SP10: Limpieza con chorro abrasivo grado cercano al metal blanco.
- ASTM E 337 – 02: Método Standard para la medición de humedad con un psicrómetro (medición de temperaturas de bulbo seco y húmedo).
- ASTM D 4285: Prueba de sequedad “Presencia de contaminantes en aire alimentado”
- SSPC-AB: Especificación para abrasivos.
- ASTM D4417: Método estándar para la medición en campo de perfil de rugosidad. (Método C, Cinta replica).
- ASTM D4414: Medición de espesores de película húmeda.
- ISO 8502-3: Método para la determinación de polvo en una superficie preparada. (2018, p. 2)

4.6.3. Hojas Técnicas De Productos

- Jet 85 MP Epoxi poliamida amina de altos sólidos.
- Jethane 650 HS Poliuretano alifático de alto brillo.

4.6.4. Recursos

- Personal
 - Supervisor de construcción
 - Ingeniero/Supervisor de control de calidad
 - Operario pintor/arenador
- Herramientas y equipos

- Compresor de aire
- Tanque pulmón
- Equipo de pintar airless Gracco
- Equipo convencional
- Tolvas de Arenar
- Brochas, rodillos
- Thinner Acrílico
- Manguera 1/4"
- Andamios
- Lijas #40, #80 y #100
- Maleta de herramientas
- Equipos de control y medición, calibrados con certificado vigente por una entidad acreditada por INACAL:
 - Termohigrómetro.
 - Medidor de espesores de película seca.
 - Conductímetro.
 - Medidor de perfil de rugosidad
 - Termómetro de superficie
- Implementos de seguridad y protección personal
 - Casco de seguridad
 - Lentes de seguridad claros y oscuros
 - Guantes de jebe
 - Zapatos de seguridad
 - Tapones auditivos
 - Respirador de media cara con cartuchos para vapores químicos y orgánicos.

- Arnes+Linea de vida
- Trajes TYVEK
- Hoja SDS de productos utilizados

4.6.5. Ejecución De Preparación Superficial

Según QROMA tenemos que tener en cuenta lo siguiente:

- Aspectos Previos

El abrasivo usado debe de ser compatible con los requerimientos de la norma SSPC-AB1, AB2 o AB3, debiendo ser:

- La conductividad menor a 1000 S/cm.
- Libre de humedad.
- Libre de restos de no abrasivos.
- Libre de restos de grasas o aceite.
- El aire comprimido a usarse deberá encontrarse libre de contaminantes (agua y aceite), evaluado bajo la norma ASTM D4285. (2018, p. 2)

- **1ra Etapa Pre – Preparación De Superficie**

“La superficie debe estar libre de defectos de construcción porosidades, filos cortantes entre otros eliminados mediante limpieza manual y motriz (Según norma SSPC-SP2, SSPC- SP3)” (QROMA, 2018).

Remover todo resto de grasa o combustible impregnado, con espátula y trapo antes del lavado (según norma SSPC-SP1). Lave “la superficie contaminada” con detergente industrial “similar” al Deterjet 20 diluido en agua para la remoción de suciedad, grasa y sales. De ser necesario usar hidrolavadora de hasta 5000 psi según norma NACE y SSPC. (QROMA, 2018)

- **2da Etapa – Preparación De Superficie**

La preparación de superficie se realizará cuando las condiciones ambientales sean favorables, esto se da cuando la temperatura de superficie será por lo menos 3°C sobre la superficie del punto de rocío y humedad relativa menos a

85%. La preparación se realizará con chorro abrasivo grado cercano al metal blanco según norma SSPC – SP10. (QROMA, 2018)

“El perfil de anclaje especificado debe encontrarse entre 2.0 ± 0.5 mils de rugosidad (N.R. ASTM D 4417- Método C). La cantidad de sales en la superficie será $< 70 \mu\text{S/cm}$. Los valores serán determinados mediante método de parche Bresle” (QROMA, 2018).

3ra Etapa – Post Preparación De Superficie

“Mediante el empleo de aire comprimido, escobillones de cerdas duras limpias o aspiradoras industriales de ser necesario, se debe remover todo residuo de abrasivo y polvo remanente de la preparación de superficie” (QROMA, 2018).

4.6.6. Aplicación De Pintura Y Curado

- **Aspectos Previos Del Personal Encargado**

Todo el personal encargado de la realización de los trabajos deberá presentar la experiencia suficiente y ser homologado para la verificación de la misma. El contratista debe contar con los equipos de medición de condiciones ambientales (psicrómetro y termómetro de superficie), medidor de espesor húmedo y medidor de espesores de película seca. (QROMA, 2018)

- **De Las Condiciones Ambientales**

“Las condiciones ambientales de aplicación son favorables cuando la temperatura de la superficie se encuentra por lo menos $3 \text{ }^\circ\text{C}$ sobre la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa es menor al 85%” (QROMA, 2018).

Considerar la temperatura de superficie para la aplicación de los recubrimientos:

Tabla 47: Temperatura superficial para aplicación del producto

PRODUCTO	TEMPERATURA DE SUPERFICIE	
Jet 85 MP	$4 \text{ }^\circ\text{C}$	$50 \text{ }^\circ\text{C}$
Jethane 650 HS	$-5 \text{ }^\circ\text{C}$	$49 \text{ }^\circ\text{C}$

Nota: Tabla de “Temperatura de superficies”

Fuente: Elaboración Propia (2021)

• **Preparación De La Pintura**

Verifique que se disponga de todos los componentes. Homogenice cada componente por separado previo a la mezcla. Use un agitador neumático o eléctrico a prueba de explosión. Vierta la resina en un envase limpio y luego el catalizador. Mezcle totalmente los dos componentes usando el agitador. Para facilitar la aplicación agregue disolvente Jet Ecopoxy 90 o Jet Ecopol según corresponda. El porcentaje de dilución podrá variar para facilitar la aplicación. Filtre la mezcla usando una malla 60. Aplique la pintura preparada antes de sobrepasar su tiempo de vida útil, según se detalla. (QROMA, 2018)

4.6.7. Plan De Pintado.

Tabla 48: Plan de pintado

Capa	Producto y color	Rend. m2/galon	Espesor (mil)		REPINTADO @		Diametro Boquilla	% Diluyente	Tiempo de vida
			Humedo	Seco	Mínimo	Máximo			
1ra	Jet 85 MP	19.0	11.0	8.0	8 horas	**180 días ***7días	0.019"- 0,023 "	Jet ecopoxy 90	1.5 horas a 21°C
2da	Jethane 650 HS /Verde Ral 6029	29.0	4.0	2.0	6 horas	7 días	0.015"- 0,017"	Jet ecopol	2 horas a 25°C

Nota: Tabla de “Plan de Pintado”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

**Tiempo de repintado máximo del Jet 85 MP consigo mismo.

*** Tiempo de repintado máximo del Jet 85 MP con Jethane 650 HS.

El tiempo de curado y repintado varían según las condiciones de aplicación y el tipo de maquina utilizado.

4.6.8. Ejecución de Pintado

- **1ra Etapa – Primera Capa General Con Jet 85 Mp**

Si los requisitos de limpieza y las condiciones son favorables, aplique con equipo la capa general de epoxico poliamida amina de alto solidos Jet 85 MP a 8.0 mills en seco (aplique 11 mills en húmedo).

Verificar que no existan zonas sin cubrir ni defectos de aplicación. Luego de por lo menos 8 horas de curado medir los espesores de película seca. En zonas donde el espesor no alcanzo el espesor requerido aplicar una paca adicional de jet 85 MP previo lijado y limpieza con trapo humedecido en diluyente. Verificar que no exista zonas sin cubrir ni defectos de aplicación.

- **2da Etapa – Aplicación De La Capa Franja O Stripe Coat**

Sobre toda superficie preparada, y si las condiciones ambientales son favorables, aplique con brocha el recubrimiento epóxico poliamida amina Jet 85 MP en los filos, bordes, cordones de soldadura, esquinas y zonas de difícil acceso. El reforzamiento de estas zonas deberá realizarse hasta una franja de 2” a ambos lados de la zona recomendada.

- **3ra Etapa – Segunda Capa General Con Jethane 650 Hs**

Si los requisitos de limpieza y las condiciones ambientales son favorables, aplique con equipo (según corresponda) la capa general del poliuretano alifático de alto brillo Jethane 650 HS a 2.0 mils secos (aplique a 4.0 mils en húmedo). Verificar que no existan zonas sin cubrir ni defectos de aplicación. Luego de 6 horas a 21 °C, medir los espesores de película seca según la norma SSPC-PA2, el espesor seco debe encontrarse entre los 8 mils mínimo y 12 mils máximo, 10.0 mils promedio.

Si no se alcanza el espesor especificado, aplique una capa adicional del Jethane 650 HS previo lijado de la superficie, limpieza con trapo seco o humedecido con agua dulce o solvente. Tener en consideración que el tiempo de repintado entre capas de este producto es de 7 días como máximo. Los siguientes formatos y Hoja técnica de productos se encuentran en el Anexo 8.2 y 8.3 respectivamente.

4.6.9. Formatos para Registros Pintura

- MANT-SMBY-001-PRO-001 F1 “Registro de Control de Pintado”
- MANT-SMBY-001-PRO-001 F2 “Registro de Preparación de superficie”

- MANT-SMBY-001-PRO-001 F3 “Registro de Sales en la superficie”
- MANT-SMBY-001-PRO-001 F4 “Registro de Homologación de Pintores”
- MANT-SMBY-001-PRO-001 F5 “Registro de pureza y control de aire”
- MANT-SMBY-001-PRO-001 F6 “Registro de Prueba de adherencia”

4.7. Estimación De Recursos

“Para ejecutar una estimación de recursos adecuada es necesario un correcto informe de inspección el cual nos identifique todos los puntos que necesiten un mantenimiento ya sea correctivo o preventivo La veracidad de la información permitirá una mejor estimación de las superficies y, por tanto, de los recursos necesarios, que se podrán utilizar de antemano para su posterior análisis” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones tenemos:

- Acciones normativas - Colocación de paneles. Limitación de uso (imposición de peso máximo, reducción de velocidad, restricción de un solo carril, etc.)
- Acciones preventivas - Seguimiento de fisuras, deformaciones y asentamientos, instalación de puntales, así como inspecciones más frecuentes.
- Actuaciones ejecutivas - Se refiere a la realización de obras en el puente, teniendo en cuenta los siguientes niveles de atención: mantenimiento, rehabilitación y mejora. (2006, p. 27)

4.7.1. Identificación De Puentes En Situación Crítica

Cuando el inspector-ingeniero identifica que un puente se encuentra en una situación crítica, debe solicitar una inspección especial. Esta será realizada por un grupo de especialistas, al menos uno de los cuales será ingeniero especialista en estructuras. La inspección especial será realizada por personal altamente calificado y tendrá como objetivo recolectar los datos necesarios para tomar acciones correctivas. Las actividades a realizar incluyen el relevamiento geométrico de la estructura, extensión del daño y realización de

diversos estudios para determinar la causa y mecanismo de propagación del daño. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006)

4.7.2. Estudio de costos y presupuestos.

Luego de una inspección general del puente se realizó una proyección de costos y presupuestos que abarca costos Globales de administración y logística, reparación y repintado de toda la estructura y complementos adicionales para el estudio

Tabla 49: Partidas generales

FORMATO DE PRESUPUESTO						
PROYECTO : Mantenimiento y análisis Estructural del Puente Sumbay						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	P.U. \$	PARCIAL	TOTAL
1,00	Obras Preliminares					17.000,00
1,01	CAMPAMENTO	GLB	1,00	10.000,00	10.000,00	
1,02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	GLB	1,00	4.500,00	4.500,00	
1,03	TRAZO DE NIVELES Y REPLANTEO	GLB	1,00	2.500,00	2.500,00	
2,00	REPARACION DE ESTRUCTURAS METALICAS					73.881,15
2,01	Refuerzo Pilar 1	kg	638,00	4,58	2.919,64	
2,02	Refuerzo Pilar 2	kg	2.541,00	4,58	11.628,23	
2,03	Refuerzo Pilar 3	kg	1.229,00	4,58	5.624,20	
2,04	Reparacion Pilar 1	kg	928,70	4,58	4.249,96	
2,05	Reparacion Pilar 2	kg	5.164,60	4,58	23.634,46	
2,06	Reparacion Pilar 3	kg	758,50	4,58	3.471,08	
2,07	Reparación Celosia	kg	4.884,70	4,58	22.353,57	
3,00	REPINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS					42.222,90
3,01	Repintado Pilar 1	m ²	116,00	22,06	2.558,96	
3,02	Repintado Pilar 2	m ²	769,00	22,06	16.964,16	
3,03	Repintado Pilar 3	m ²	98,00	22,06	2.161,88	
3,04	Repintado de Celosias	m ²	931,00	22,06	20.537,89	
3,05	Andamios	Ton	10,00	3.000,00	30.000,00	

4,00	Obras Complementarias					21.000,00	
4,01	Desarrollo de Ingeniería del proyecto	GLB	1,00	10.000,00	10.000,00		
4,02	Pruebas de medicion de espesores	GLB	1,00	6.500,00	6.500,00		
4,03	Pruebas de vibraciones	GLB	1,00	4.500,00	4.500,00		
						SUB TOTAL \$.	154.104,05
<p>Leyenda UND/EA : unidad GLB : global ml : metro lineal m2 : metro cuadrado m3 : metro cúbico Kg : kilogramo</p>							
						VALOR VENTA SIN IGTV \$	154.104,05
						IGV	27.738,73
						PRECIO VENTA CON IGTV \$	181.842,78

Nota: Tabla de “Costos de partidas generales”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

Tabla 50: Detalle de costos Unitarios

Partida	Reparacion de Estructuras metalicas					
	Costo Directo por Kg				Hrs	\$/kg
	RENDIMIENTO	392	Kg/dia		8	4,576
Cod.	Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unit. \$	Precio Parcial \$
Mano de obra						
				HH/Kg	\$/HH	\$/Kg
1,1	Capataz	HH	0,1	0,0143	4,69	0,0670
1,2	Armador	HH	2	0,2857	4,10	1,1721
1,3	Soldador	HH	1	0,1429	4,10	0,5861
1,4	Operarios mecanicos	HH	4	0,5714	2,64	1,5071
						3,332
Materiales						
				% Kg	\$/Und	\$/Kg
2,1	Permos de 7/8" A325 x 1.5"	Kg	1	0,0286	0,90	0,0257
2,2	Soldadura	Kg	1	0,0100	3,50	0,0350
2,3	Acero estructural	kg	1	1,0000	0,90	0,9000
						0,961
Equipos						
				HM/Kg	\$/HM	\$/Kg

163

3,1	Herramientas manuales	%MO	10%	0,0875	0,49	0,0429
3,2	Maquina de soldar	HM	1	0,0204	3,60	0,0735
3,3	Equipo de oxicorte	HM	1	0,0204	1,80	0,0367
3,4	Esmeril	HM	1	0,0204	0,60	0,0122
3,6	EPP	HH	7	0,1429	0,20	0,0286
3,7	Camion grua 5.7 ton.	HM	1	0,0026	35,00	0,0893
						0,283

Partida	Granallado y Pintado de Estructuras metalicas					
	Costo Directo por Kg				Hrs	\$/kg
	RENDIMIENTO	100,8	m2/dia		8	22,060
Cod.	Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unit. \$	Precio Parcial \$
Mano de obra					HH/m2	\$/HH
						\$/m2
1,1	Capataz	HH	0,1	0,0317	4,69	0,1488
1,2	Operarios mecanicos	HH	2	0,6349	4,10	2,6048
1,3	Peon mecanico	HH	2	0,6349	2,64	1,6746
						4,428
Materiales					und/m2	\$/Und
						\$/m2
2,1	Granalla de Acero G50	Kg	1	0,5224	0,90	0,4702
2,2	Pintura epoxica Jet 85 MP	Gal	1	0,0556	37,50	2,0833
2,3	Diluyente para pintura epoxica	Gal	1	0,0139	13,00	0,1806
2,4	Pintura poliuretano Jethane 650	Gal	1	0,0556	37,50	2,0833
2,5	Diluyente para poliuretano	Gal	1	0,0139	13,00	0,1806
2,6	Trapo industrial	Kg	1	0,0279	4,80	0,1339
						5,132
Equipos					HM/m2	\$/Und
						\$/m2
3,1	Equipo de pintura	HM	2	0,1587	25,00	3,9683
3,2	Compresora Neumatica	HM	2	0,1587	35,00	5,5556
3,3	Grupo electrogeno	HM	2	0,1587	18,75	2,9762
						12,500

Nota: Tabla de “Detalle de costos Unitarios”

Fuente: Elaboración Propia, (2021)

5. Conclusiones

- Como se observa en el informe de evaluación del estado actual del puente en distintos puntos de la superficie presenta desprendimiento y falta de adherencia entre capas, también la presencia de corrosión en distintos puntos (filos y cavidades), como también daños mecánicos. Todos estos defectos debido a una mala aplicación de recubrimiento y maniobras de montaje incorrecta. La inspección de ultrasonido realizada en las Paredes laterales de la celosía ESTE-OESTE nos da como resultado un promedio de 9.9 mm de espesor comparado con 9.53mm de la plancha de 3/8" lo que demuestra que, los espesores de los perfiles evaluados se encuentran dentro de los parámetros normales que es del 10% según la norma ASTM E797.
- De los resultados del análisis estructural se observan arriostres sobre estresados en los 3 pilares como se detalla en el Capítulo 3 por medio de software sap2000 y corroborado con el cálculo de elementos estructurales, por lo que se recomienda para el Pilar 1 y 2 reforzar el actual perfil L4x4x3/8" con otro de igual dimensión y formar un 2L 4x3x3/8", y para el Pilar 3 se recomienda cambiar el actual perfil L4x3x3/8" por un perfil 2L 4x4x1/4" y asegurar un correcto funcionamiento, lo cual también se detalla en el plano MANT-SMBY-001-PL-5 y MANT-SMBY-001-PL-6, ya que existe la probabilidad que las minas Antapaccay y Constancia también puedan utilizar el transporte ferroviario para minimizar el tráfico vehicular, ya que estas se encuentran en una etapa de ampliación.
- Del estudio realizado el cual considera situaciones críticas de funcionamiento se ha comprobado que los arriostres se encuentran en estado crítico de cargas, presentando sobreesfuerzos y deflexión fuera de lo permitido, por lo que se presentó la propuesta de refuerzo adecuado y de igual manera para el recubrimiento se propone un nuevo plan de calidad para asegurar un desempeño adecuado y no repetir las fallas detalladas en el informe de evaluación.
- Se debe realizar un mantenimiento correctivo y levantar las observaciones encontradas se sugiere realizar un mantenimiento preventivo con

inspecciones anuales para asegurar un desempeño adecuado y un tiempo de vida óptimo del puente.

- Se presenta finalmente una estimación de costos para el mantenimiento correctivo y de los refuerzos con un costo total de S/ 639,943.80.



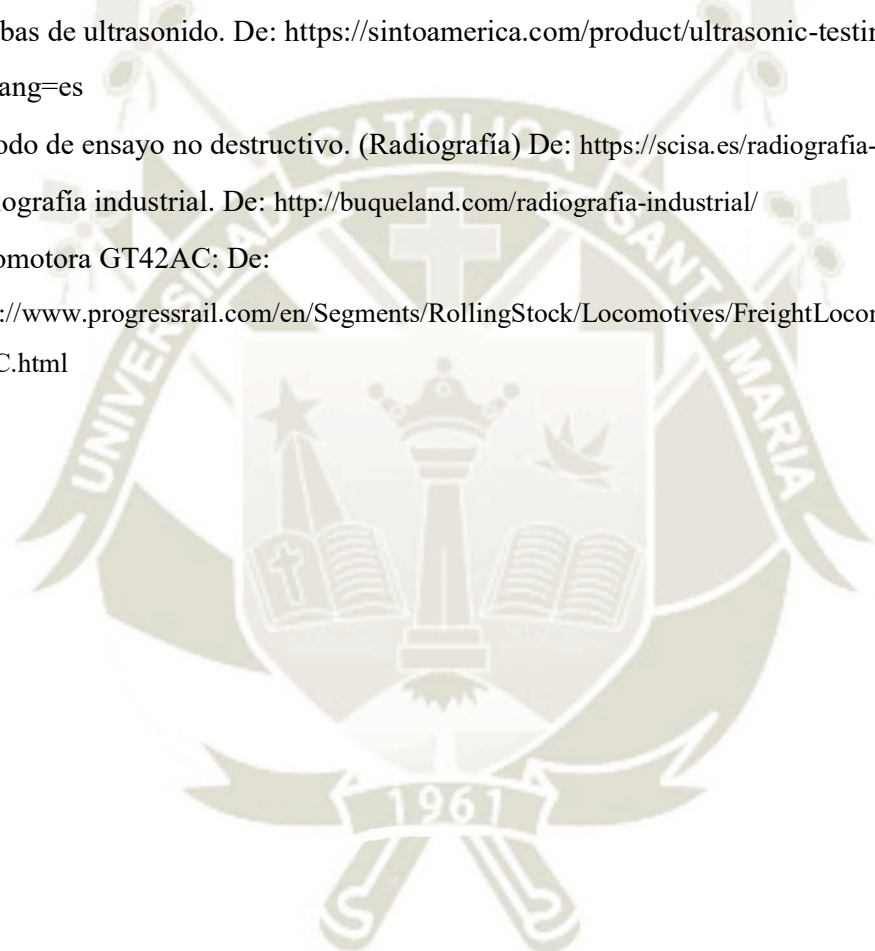
6. Recomendaciones

- De la inspección realizada encontramos perfiles dañados y doblados ligeramente, recomendamos en el siguiente pintado reemplazar estos perfiles.
- Con los refuerzos recomendados el puente ya se encontraría en condiciones óptimas de seguridad para poder ser utilizado por otras mineras.
- Con el presente estudio se presenta una solución al tráfico generado por las mineras reduciendo en un mínimo de 100 vehículos mineros circulando diariamente por las vías de Arequipa asegurando un desempeño óptimo y seguro del puente.
- Se encontraron durmientes con grietas sobresalientes, los cuales actualmente no afectan el funcionamiento, pero por su magnitud es recomendable cambiarlos y evitar futuros aplastamientos ocasionados por el tráfico ferroviario.
- Se encontraron fallas en arriostres mas no en columnas o traveses de soporte de rieles por lo que solo se recomienda el reemplazo o reforzamiento de estos elementos.
- Se encontraron defectos de aplicación como chorreaduras, aplicación incorrecta en puntos de difícil acceso, falta de limpieza previa a la aplicación de la capa final entre otros, se recomienda un mejor control de calidad en la próxima aplicación de recubrimiento.
- Solo se inspección zonas de fácil acceso quedo sin revisar las zonas en altura y puntos de difícil acceso por con contar con EPP adecuado.
- Quedo pendiente una medición de espesores de película seca debido a que no se dispone con los equipos necesarios.
- Se recomienda restaurar el recubrimiento y se garantice su correcto desempeño.
- Eliminar imperfecciones y resanar las zonas más afectadas.
- Para tener un panorama completo del estado del puente se recomienda un análisis de elementos correspondientes a la disciplina civil.

7. Referencias

- Ministerio de Transportes. (Agosto de 2021). Ministerio de Transportes. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_ferrocarriles/mapa_ferroviario.html
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (14 de marzo de 2006). Estimación de Recursos. Guía para Inspección de Puentes.
- AASHTO. (2014). LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition. Washington D.C.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2018). Manual de Puentes. Lima.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2007). Estándares Mínimos de Seguridad para Vías Ferreas. Lima.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2006). Manual Técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental. Lima.
- Andrea Atell. (2017). Transporte de concentrado de cobre en Las Bambas. De: <https://wemineforprogress.com/es/2017/03/16/qa-copper-concentrate-transport-at-las-bambas/>
- Jose Manuel Ancasi Romero. (2016). Creación de un consorcio para el transporte de concentrados de minerales en la localidad de Espinar Cusco
- OSITRAN. (2018). Ferrocarril del Sur y Sur Oriente. De: [:https://www.ositran.gob.pe/anterior/vias-ferreas/ferrocarril-del-sur-y-sur-oriente/](https://www.ositran.gob.pe/anterior/vias-ferreas/ferrocarril-del-sur-y-sur-oriente/)
- Hudbay Peru. (2021): <https://hudbayminerals.com/peru/default.aspx>
- Constancia la nueva Mina del Perú. (2019). El inicio de operaciones. <http://miningpress.com/276869/constancia-la-nueva-mina-del-peru-el-inicio-de-operaciones#:~:text=Constancia%20se%20encuentra%20a%20m%C3%A1s,productor%20de%20cobre%20el%20mundo>
- Anuario minero (2019), Ministerio de Energía y Minas. Primera Edición – Lima – mayo de 2020.
- Boletín estadístico minero. (según ESTAMIN diciembre 2020) – Edición N° 12-2020
- Guillermo Godinez Melgares. (2010). Diseño y construcción de puentes.
- Nuevo Central Argentino. (2014). Manual Integral de Vías. Argentina.

- Corrosión en el acero de refuerzo. (2017) de:
https://www.toxement.com.co/media/3413/patologi-a_corrosio-n.pdf
- Ferrocarril transandino S.A. Inspección NDT: ESCLEROMETRIA, UT Y VT. Puente Sumbay.
- Inspección por líquidos penetrantes. De: <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/inspeccion-por-liquidos-penetrantes/>
- Pruebas de ultrasonido. De: <https://sintoamerica.com/product/ultrasonic-testing-ut/?lang=es>
- Método de ensayo no destructivo. (Radiografía) De: <https://scisa.es/radiografia-soldadura/>
- Radiografía industrial. De: <http://buqueland.com/radiografia-industrial/>
- Locomotora GT42AC: De:
<https://www.progressrail.com/en/Segments/RollingStock/Locomotives/FreightLocomotives/GT42AC.html>



8. Anexos

8.1. Registros de inspección mediante ultrasonido

REGISTRO DE INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO SCAN "A"						
PROYECTO: MANTENIMIENTO DEL PUENTE FERROVIARIO SUMBAY KM 114+000 SUBDIVISION 04					Orden de compra: -	
CLIENTE:					Plano de referencia:	
LUGAR DE INSPECCION: PUENTE SUMBAY - AREQUIPA					Realizado por: EDISON HUANCA	
NUMERO DE REGISTRO:						
CODIGO/NORMA: ASTM E797 / E797M			EVIDENCIA FOTOGRAFICA INCLUIDA: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO			
EQUIPO DE INSPECCIÓN Y ACCESORIOS						
DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	FRECUENCIA	N°. SERIE		
Equipo detector de Fallas	Panametrics	Epoch IV	25 MHz	11377212		
Transductor detector de Fallas	Olympus	D798-SM / Dual	7.5 MHz	999084		
INFORMACION GENERAL						
Ganancia (dB):	54 - 74 dB	Espesores (mm)	Plancha 1	Plancha 2	Acoplante:	Gel Acoplante
Espesor Nominal (mm):	-		6.25	7.95	Material de Calibración:	ASTM A36
ELEMENTO: Puente Sumbay - 1º Lado de Soporte Principal de Mayor Altura - Columnas (Ángulos y Planchas)					MATERIAL:	ASTM A36
Nº de Puntos	Espesor Real Encontrado (mm)	Ratio (%)	Oxido / Corrosión	Pintura / Recubrimiento	Identificación / Ubicación	Observación
1	10.71	-	-	-	Canal "C" - Este	-
2	10.55	-	-	-	Canal "C" - Este	-
3	10.68	-	-	-	Canal "C" - Este	-
4	10.54	-	-	-	Canal "C" - Oeste	-
5	10.48	-	-	-	Canal "C" - Oeste	-
6	10.64	-	-	-	Canal "C" - Oeste	-
7	10.24	-	-	-	Plancha - Oeste	-
8	10.15	-	-	-	Plancha - Este	-
9	10.13	-	-	-	Plancha - Este	-
10	10.24	-	-	-	Plancha - Oeste	-
OBSERVACIONES: Se llevó a cabo en la tercera inspección, registrando los valores obtenidos en dicho registro, cabe mencionar que los materiales inspeccionados no presentan corrosión, se encuentran en buen estado.						
INSPECTOR NDT				CLIENTE:		
Nombre:				Nombre:		
Fecha: <u> </u>				Fecha:		
Juan Diego Arzabal Huaman MT - UT - VT - Nivel II ASNT - SNT - TC- 1A						


REGISTRO DE INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO SCAN "A"						
PROYECTO: MANTENIMIENTO DEL PUENTE FERROVIARIO SUMBAY KM 114+000 SUBDIVISION 04				Orden de compra: -		
CLIENTE:						
LUGAR DE INSPECCIÓN: PUENTE SUMBAY - AREQUIPA				Realizado por: EDISON HUANCA		
NUMERO DE REGISTRO:						
CODIGO/ NORMA: ASTM E797 / E797M			EVIDENCIA FOTOGRAFICA INCLUIDA: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO			
EQUIPO DE INSPECCIÓN Y ACCESORIOS						
DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	FRECUENCIA	N°. SERIE		
Equipo detector de Fallas	Panametrics	Epoch IV	25 MHz	11377212		
Transductor detector de Fallas	Olympus	D798-SM / Dual	7.5 MHz	999084		
INFORMACION GENERAL						
Ganancia (dB):	54 - 74 dB	Espesores (mm)	Plancha 1	Plancha 2	Acoplante:	Gel Acoplante
Espesor Nominal (mm):	-		6.25	7.95	Material de Calibración:	ASTM A36
ELEMENTO: Puente Sumbay - 1er Lado de Soporte Principal de Mayor Altura - Cruce (Ángulos)				MATERIAL:		ASTM A36
N° de Puntos	Espesor Real Encontrado (mm)	Ratio (%)	Oxido / Corrosión	Pintura / Recubrimiento	Identificación / Ubicación	Observación
1	8.32	-	-	-	Ángulo - Este	-
2	8.23	-	-	-	Ángulo - Este	-
3	8.32	-	-	-	Ángulo - Este	-
4	8.20	-	-	-	Ángulo - Este	-
5	8.21	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
6	8.23	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
7	8.20	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
8	8.17	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
OBSERVACIONES: Se llevó a cabo en la tercera inspección, registrando los valores obtenidos en dicho registro, cabe mencionar que los materiales inspeccionados no presentan corrosión, se encuentran en buen estado.						
INSPECTOR NDT				CLIENTE:		
Nombre:				Nombre:		
Fecha: <u> </u>				Fecha:		
Juan Diego Huaman MT - VT - Nivel II ASNT - SNT - TC- 1A						

REGISTRO DE INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO SCAN "A"						
PROYECTO: MANTENIMIENTO DEL PUENTE FERROVIARIO SUMBAY KM 114+000 SUBDIVISION 04				Orden de compra: -		
CLIENTE:						
LUGAR DE INSPECCIÓN: PUENTE SUMBAY - AREQUIPA				Realizado por: EDISON HUANCA		
NUMERO DE REGISTRO:						
CODIGO/ NORMA: ASTM E797 / E797M		EVIDENCIA FOTOGRAFICA INCLUIDA: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO				
EQUIPO DE INSPECCIÓN Y ACCESORIOS						
DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	FRECUENCIA	N°. SERIE		
Equipo detector de Fallas	Panametrics	Epoch IV	25 MHz	11377212		
Transductor detector de Fallas	Olympus	D798-SM / Dual	7.5 MHz	999084		
INFORMACION GENERAL						
Ganancia (dB):	54 - 74 dB	Espesores (mm)	Plancha 1	Plancha 2	Acoplante:	Gel Acoplante
Esesor Nominal (mm):	-		6.25	7.95	Material de Calibración:	ASTM A36
ELEMENTO: Puente Sumbay - 1er Lado de Soporte Principal de Mayor Altura - Cruceas (Ángulos)				MATERIAL:		ASTM A36
N° de Puntos	Esesor Real Encontrado (mm)	Ratio (%)	Oxido / Corrosión	Pintura / Recubrimiento	Identificación / Ubicación	Observación
1	8.32	-	-	-	Ángulo - Este	-
2	8.23	-	-	-	Ángulo - Este	-
3	8.32	-	-	-	Ángulo - Este	-
4	8.20	-	-	-	Ángulo - Este	-
5	8.21	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
6	8.23	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
7	8.20	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
8	8.17	-	-	-	Ángulo - Oeste	-
OBSERVACIONES: Se llevó a cabo en la tercera inspección, registrando los valores obtenidos en dicho registro, cabe mencionar que los materiales inspeccionados no presentan corrosión, se encuentran en buen estado.						
INSPECTOR NDT				CLIENTE:		
Nombre:				Nombre:		
Fecha:				Fecha:		
Juan Diego Alvarado Huaman MT - VT - Nivel II ASNT - SNT - TC- 1A						

REGISTRO DE INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO SCAN "A"						
PROYECTO:	MANTENIMIENTO DEL PUENTE FERROVIARIO SUMBAY KM 114+000 SUBDIVISION 04				Orden de compra:	-
CLIENTE:						
LUGAR DE INSPECCION:	PUENTE SUMBAY - AREQUIPA				Realizado por:	EDISON HUANCA
NUMERO DE REGISTRO:						
CODIGO/NORMA:	ASTM E797 / E797M		EVIDENCIA FOTOGRAFICA INCLUIDA:			SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
EQUIPO DE INSPECCIÓN Y ACCESORIOS						
DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	FRECUENCIA	N°. SERIE		
Equipo detector de Fallas	Panametrics	Epoch IV	25 MHz	11377212		
Transductor detector de Fallas	Olympus	D798-SM / Dual	7.5 MHz	999084		
INFORMACION GENERAL						
Ganancia (dB):	54 - 74 dB	Espesores (mm)	Plancha 1	Plancha 2	Acoplante:	Gel Acoplante
Espesor Nominal (mm):	-		6.25	7.95	Material de Calibración:	ASTM A36
ELEMENTO: Puente Sumbay - 1er Lado de Soporte Principal de Mayor Altura - Cartelas (Plancha)				MATERIAL:		ASTM A36
Nº de Puntos	Espesor Real Encontrado (mm)	Ratio (%)	Oxido / Corrosión	Pintura / Recubrimiento	Identificación / Ubicación	Observación
1	9.83	-	-	-	Plancha - Este	-
2	9.80	-	-	-	Plancha - Centro o Medio	-
3	8.83	-	-	-	Plancha - Centro o Medio	-
4	9.80	-	-	-	Plancha - Oeste	-
5	10.06	-	-	-	Plancha - Centro o Medio	-
6	10.02	-	-	-	Plancha - Centro o Medio	-
7	10.12	-	-	-	Plancha - Oeste	-
8	10.03	-	-	-	Plancha - Oeste	-
9	10.02	-	-	-	Plancha - Centro o Medio	-
10	10.08	-	-	-	Plancha - Este	-
11	9.59	-	-	-	Plancha - Este	-
12	10.02	-	-	-	Plancha - Oeste	-
OBSERVACIONES: Se lleve acabo en la tercera inspección, registrando los valores obtenidos en dicho registro, cabe mencionar que los materiales inspeccionados no presentan corrosión, se encuentran en buen estado.						
INSPECTOR NDT				CLIENTE:		
Nombre:				Nombre:		
Fecha:	Juan Diego Arzabal Huaman MT - UT - VT - Nivel II ASNT - SNT - TC- 1A			Fecha:		

8.2. Formatos de control en pintado

PERURAIL		"MANTENIMIENTO Y ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE SUMBAY"				
LISTA DE PINTORES HOMOLOGADOS						
MANT-SMBY-001-PRO-001 F4				N° Reg.:		Hoja: de
ÁREA:	PINTURA		UBICACIÓN:	MOLLENDO		
1. IDENTIFICACIÓN						
DESCRIPCIÓN: LISTA DE PINTORES HOMOLOGADOS					FECHA:	
PROCEDIMIENTO:						
N°	APELLIDOS	NOMBRES	DNI	ENTIDAD HOMOLOGADORA	SISTEMA HOMOLOGADO	FECHA DE HOMOLOGACIÓN
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
2. OBSERVACIONES						
CONSTRUCCIÓN		CALIDAD		CLIENTE		
Nombre:		Nombre:		Nombre:		
Firma:		Firma:		Firma:		
Fecha:		Fecha:		Fecha:		

		"MANTENIMIENTO Y ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE SUMBAY"				
		REGISTRO DE PRUEBA DE ADHERENCIA				
MANT-SMBY-001-PRO-001 F6			N° Reg.:	Hoja:		
ÁREA:			UBICACIÓN:			
1. IDENTIFICACIÓN						
DESCRIPCIÓN:				FECHA:		
PROCEDIMIENTO:						
2. SISTEMA DE PINTURA EVALUADO						
Tipo de Superficie:	Acero ()	Acero Galvanizado ()				
Grado Limpieza SSPC:	SP2 ()	SP3 ()	SP5 ()	SP6 ()	SP10 ()	
	PRODUCTO	EPS (milis)	COLOR	CÓDIGO		
Substrato				A		
Base				B		
Acabado				C		
	PEGAMENTO			Y		
3. EQUIPOS Y RESULTADOS						
NORMA APLICADA:			TIPO:			
PROCEDIMIENTO:						
EQUIPO UTILIZADO:		MARCA:	MODELO:			
PEGAMENTO UTILIZADO:			FECHA DE PRUEBA:			
RESULTADOS:						
Ubicación y Nro de Dolly	Presión (PSI)	Espesor (Mils)	Adhesión % de fallas	Cohesión % de fallas	Pegamento % de fallas	Ubicación de Fallas
Los Dollys se traccionaron después de _____ horas						
de haberlos pegado.			Condiciones Ambientales			
			Humedad= _____ T. Rocío= _____			
			T. Sup= _____			
4. OBSERVACIONES						
CONSTRUCCION		CALIDAD		CLIENTE		
Nombre:	Nombre:		Nombre:			
Firma:	Firma:		Firma:			
Fecha:	Fecha:		Fecha:			

PERURAIL		"MANTENIMIENTO Y ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE SUMBAY"		
REGISTRO DE SALES EN LA SUPERFICIE				
MANT-SMBY-001-PRO-001 F3			N° Reg.:	Hoja: de
ÁREA:	PINTURA	UBICACIÓN:		
1. SISTEMA DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE				
Tipo de Abrasivo:	Arena ()	Escoria ()	Granalla ()	
Tipo de Superficie:	Acero ()	Acero Galvanizado ()		
Grado Limpieza SSPC:	SP2 ()	SP3 ()	SP5 ()	SP6 () SP10 ()
2. EQUIPOS Y RESULTADOS				
ESTANDAR DE REFERENCIA: SSPC Guide 15				
METODO: Parche Bresle - Medición de Conductividad de sales totales				
PROCEDIMIENTO:				
EQUIPO UTILIZADO:	Conductímetro Digital	MARCA:	MODELO:	
RESULTADOS:				
Tipo de Elemento Evaluado	Fecha	Criterio de Aceptación	Resultado	Aceptación
		Expuestas al Med. Ambie.: < 54 mg/m2	Densidad: mg/m2 Conduct.: µS/cm	
3. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES				
CONSTRUCCIÓN	CALIDAD	CLIENTE		
Nombre:	Nombre:	Nombre:		
Firma:	Firma:	Firma:		
Fecha:	Fecha:	Fecha		

8.3. Ficha Técnica de productos

JET 85MP

Epoxi poliamida amina de altos sólidos



DESCRIPCIÓN, VENTAJAS Y USOS

- Recubrimiento epóxico modificado de dos componentes, curado con aminas.
- Auto imprimante de alto espesor, compatible con una amplia gama de acabados.
- No contiene pigmentos a base de plomo.
- Se dispone en la versión formulada con óxido de hierro micáceo (MIO), que le confiere mayor impermeabilidad (**).
- Bajo VOC y alto contenido de sólidos, lo cual reduce la posibilidad de poros o solvente atrapado entre capas
- Compatible para amplia gama de acabados.
- Resiste salpicadura de soluciones ácidas, alcalinas y de solventes, vapores ácidos y agua.
- Usado en protección de cascos, superestructura, tanques de lastre y bodegas de embarcaciones de todo tipo.
- Para protección de acero estructural y tuberías en todo tipo de ambiente industrial y marino.
- Como primer, capa intermedia o acabado en protección de interior de tanques que contengan soluciones alcalinas, petróleo, combustibles, agua de desecho y ciertos productos químicos.

DATOS FÍSICOS

Acabado	Semi Mate	Resistencia a la temperatura en seco	Continuo	93°C
Color	Según cartilla	Intermitente		121°C
(*) Amarillos, naranja y rojos pueden requerir fondo.				
(**) El Jet 85MP MIO sólo se fabrica en color gris.				
Componentes	Dos	Adhesión por tracción	ASTM D4541	1000 Psi
Relación de mezcla (en volumen)	1 de resina (parte A) 1 de catalizador (parte B)	Resistencia al Impacto	ASTM D2794	30 - 40 lb x pulg., directo
Curado	Evaporación de solventes y reacción química	Flexibilidad Mandril Cónico	ASTM D522	8% - 10% elongación
Sólidos en volumen	85% ± 3%	Dureza al Lápiz	ASTM D3363	5H
VOC	118 g/lit.	Dureza Péndulo Persoz	ASTM D4366B	90 ciclos
Espesor película seca	4 - 8 mils (100 - 200 micrones)	Abrasión Taber a 1000 ciclos, rueda CS-17, 1 Kg de peso	ASTM D4060	50 mg de pérdida
Número de capas	Uno o Dos	Perforancia en Niebla Salina	ASTM B117-97	> 1500 Horas
Rendimiento teórico	21.1 m ² /gal a 6 mils de espesor seco			
Disolvente	JET ECOPOXY 90			
Tiempo de vida útil	1.5 horas a 21°C			

El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y del estado de la superficie.
Para mayores detalles de servicio consultar con el Departamento Técnico de QROMA.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

- **Acero nuevo**
Preparación con chorro abrasivo, según norma SSPC-SP6.
- **Acero con pintura antigua**
Limpieza manual mecánica según norma SSPC-SP2 o SSPC-SP3.
Limpieza con agua a ultra alta presión (UHPWJ), según norma SSPC-SP WJ-1/WJ-2/WJ-3/WJ-4.
- **Concreto**
Limpieza según norma ASTM D4259 ("arenado") o ASTM D4260 (ataque ácido).

La duración de la pintura depende del grado de preparación de la superficie.
Para servicio de Inmersión se acepta como mínimo un "chorro abrasivo" cercano al metal blanco según norma SSPC-SP10 o SSPC-SP WJ-2 en caso de mantenimiento.

MÉTODO DE APLICACIÓN

- **Equipo airless**
Similar a Graco Bulldog 30:1, boquilla 0.019" a 0.023" con filtro malla 60.

Rev. Marzo 2015
Pág. 1 de 2



- **Equipo convencional a presión**
Similar a Devilbiss JGA-502, boquilla 704E con regulador de presión, filtros de aceite y humedad.
- **Brocha y rodillo**
Resistentes a disolventes epóxicos.

TIEMPOS SECADO a 21 °C (ASTM D1640)

Al tacto	1 - 2 horas
Al tacto duro	6 - 10 horas
Repintado mínimo	8 horas
Repintado máximo	
Jet 85MP	6 meses
Poliuretanos	30 días
Antifouling	Al tacto (tacky)

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura	Mínima	Máxima
De la superficie	4 °C	50 °C
Del ambiente	4 °C	50 °C
Humedad Relativa	85%	

La temperatura de la superficie debe ser 3 °C mayor que el punto de rocío.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

1. Verifique que se disponga de todos los componentes.
2. Homogenice cada componente por separado previo a la mezcla. Use un agitador neumático o eléctrico a prueba de explosión.
3. Vierta la resina en un envase limpio y luego el catalizador.
4. Mezcle totalmente los dos componentes usando el agitador.
5. Para facilitar la aplicación, agregue un máximo de 1/8 de galón del disolvente JET ECOPOXY 90 por galón de pintura preparada y agite la mezcla otra vez. Diluir al 20% para espesores de 4 mils seco.
6. Filtre la mezcla usando una malla 30.
7. Aplique la pintura en pasadas uniformes, traslapando al 50% de cada pasada.
8. Aplique la pintura preparada antes de sobrepasar su tiempo de vida útil.
9. Repintar dentro del "tiempo de repintado" recomendado.
10. Cuando se aplica a rodillo, usar uno de pelo corto. Pasar con una brocha al final para asegurar adecuada eliminación de aire.

IMPRIMANTES RECOMENDADOS

- Puede aplicarse directamente al metal, pero también puede usarse imprimantes como Jet Zinc I-860, Jet Zinc I-760, Jet Zinc IR-600, Jet Primer Epoxi, Anticorrosivo Durapox R o cualquier imprimante epóxico de la marca JET.

ACABADOS RECOMENDADOS

- Puede ser repintado con otra capa de Jet 85MP. Sin embargo para mejorar su resistencia a la luz solar se recomienda un acabado poliuretano como Jethane 650HS, Jethane 650HCR o cualquier acabado similar en la marca JET.

DATOS DE ALMACENAMIENTO

▪ Peso por galón	*Parte A*	5.75 ± 0.3 Kg.
	Parte B	6.22 ± 0.1 Kg.
▪ Punto inflamación	*Parte A*	16 °C
	Parte B	4 °C

Se garantiza buena estabilidad en almacenamiento hasta por 12 meses si se almacena bajo techo a temperaturas entre 4 °C a 38 °C.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- Lea la hoja de seguridad de cada componente antes del empleo.
- El manejo inapropiado de este producto puede ser nocivo para la salud o causar explosión.
- No use este producto sin antes tomar todas las precauciones de seguridad. Estas deben incluir: adecuada ventilación, iluminación a prueba de explosión, vestimentas adecuadas, lentes, guantes, máscaras para vapores orgánicos o con alimentación de aire sobre todo en espacios limitados como interiores de tanque u otros.
- Si usted necesita mayores detalles, consultar con el Departamento Técnico de QROMA.

JETHANE 650HS

Polluretano de alto brillo y resistencia química



DESCRIPCIÓN, VENTAJAS Y USOS

- Producto Polluretano Acrílico Alifático de alta solidez a la radiación ultravioleta, usado como acabado, de secado rápido, excelente brillo y buena retención de color.
- Película dura y flexible.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Alta resistencia a la intemperie y a diferentes tipos de ambientes corrosivos.
- Resiste salpicadura de soluciones ácidas y alcalinas, vapores ácidos, salpicadura de solventes y agua.
- Para el pintado de estructuras metálicas, exterior de tanques, maquinarias, obra muerta y cubierta de embarcaciones, etc.

DATOS FÍSICOS

Acabado	Brillante	Resistencia a la temperatura en seco	
Color	Según cartilla	<i>Continúa</i>	93°C
Componentes	Dos	<i>Intermitente</i>	120°C
Relación de la mezcla (en volumen)	4 de resina (parte A) 1 de catalizador (parte B)	Brillo	Mínimo 90 GU a 60°, excepto color aluminio mínimo 50 GU a 60°
Curado	Evaporación de solventes y reacción química	Adhesión por tracción	
Sólidos en volumen	65% ± 3%	<i>ASTM D4541</i>	1200 Psi
Espesor película seca	2 - 3 mils (50 - 75 micrones)	Resistencia al Impacto	
Número de capas	Uno	<i>ASTM D2794</i>	40 - 50 lb x pulg. directo
Rendimiento teórico	48,4 m ² / gal a 2 mils de espesor seco	Flexibilidad Mandril Cónico	
Disolvente	JET ECOPOL o UNIPOL	<i>ASTM D522</i>	>32% elongación
Tiempo de vida útil	2 horas a 25°C	Dureza al Lápiz	
		<i>ASTM D3363</i>	H - 2H
		Dureza Péndulo Persoz	
		<i>ASTM D4366B</i>	220 ciclos
		Abrasión Taber a 1000 ciclos, rueda CS-17, 1 Kg de peso	
		<i>ASTM D4060</i>	30 - 40 mg de pérdida

*El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y del estado de la superficie.
Para mayores detalles de servicio consultar con el Departamento Técnico Pinturas JET.*

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

- **Sobre Imprimante epóxico**
Limpiar para eliminar suciedad y contaminantes.

La duración de la pintura depende del grado de preparación de la superficie.

MÉTODO DE APLICACIÓN

- **Equipo airless**
Similar a Graco Bulldog 30:1, boquilla 0.013" a 0.017" con filtro malla 60.
- **Equipo convencional a presión**
Similar a Devilbiss JGA-502, boquilla 704E con regulador de presión, filtros de aceite y humedad.
- **Brocha y rodillo de pelo corto**
Resistentes a diluyentes epóxicos.



TIEMPOS SECADO a 21 °C (ASTM D1640)

Al tacto	30 minutos
Al tacto duro	4 - 6 horas
Repintado mínimo	6 horas
Repintado máximo	7 días

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura	Mínima	Máxima
De la superficie	-5 °C	49 °C
Del ambiente	-5 °C	49 °C
Humedad Relativa		85%

* A condiciones normales, la temperatura de la superficie debe ser 3 °C mayor que el punto de rocío.
 ** Se puede aplicar sobre superficies calientes, entre 50 °C a 90 °C para servicio de no Inmersión. Dependiendo de la temperatura se debe diluir hasta 25% y aplicar en pasadas delgadas para evitar la formación de pin holes y/o ampollamiento. Si se requiere repintar sobre esta superficie caliente, se debe lijar y limpiar previamente.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

1. Verifique que se disponga de todos los componentes.
2. Homogenice cada componente por separado previo a la mezcla. Use un agitador neumático o eléctrico a prueba de explosión.
3. Vierta la resina en un envase limpio y luego el catalizador.
4. Mezcle totalmente los dos componentes usando el agitador.
5. Filtre la mezcla usando una malla 30.
6. Para facilitar la aplicación, agregue un máximo de ¼ de galón del disolvente recomendado por galón de pintura preparada y agite la mezcla otra vez.
7. Aplique la pintura en pasadas uniformes, traslapando al 50% de cada pasada.
8. Aplique la pintura preparada antes de sobrepasar su tiempo de vida útil.
9. Repintar dentro del "tiempo de repintado" recomendado.

IMPRIMANTES RECOMENDADOS

- Jet 70MP, Jet 85MP, Jet POX 2000, Jet Mastic 800, Jet 622P, Jet Primer Epoxi, Anticorrosivo Durapox R o cualquier imprimante de la marca JET.

ACABADOS RECOMENDADOS

- No requiere.

DATOS DE ALMACENAMIENTO

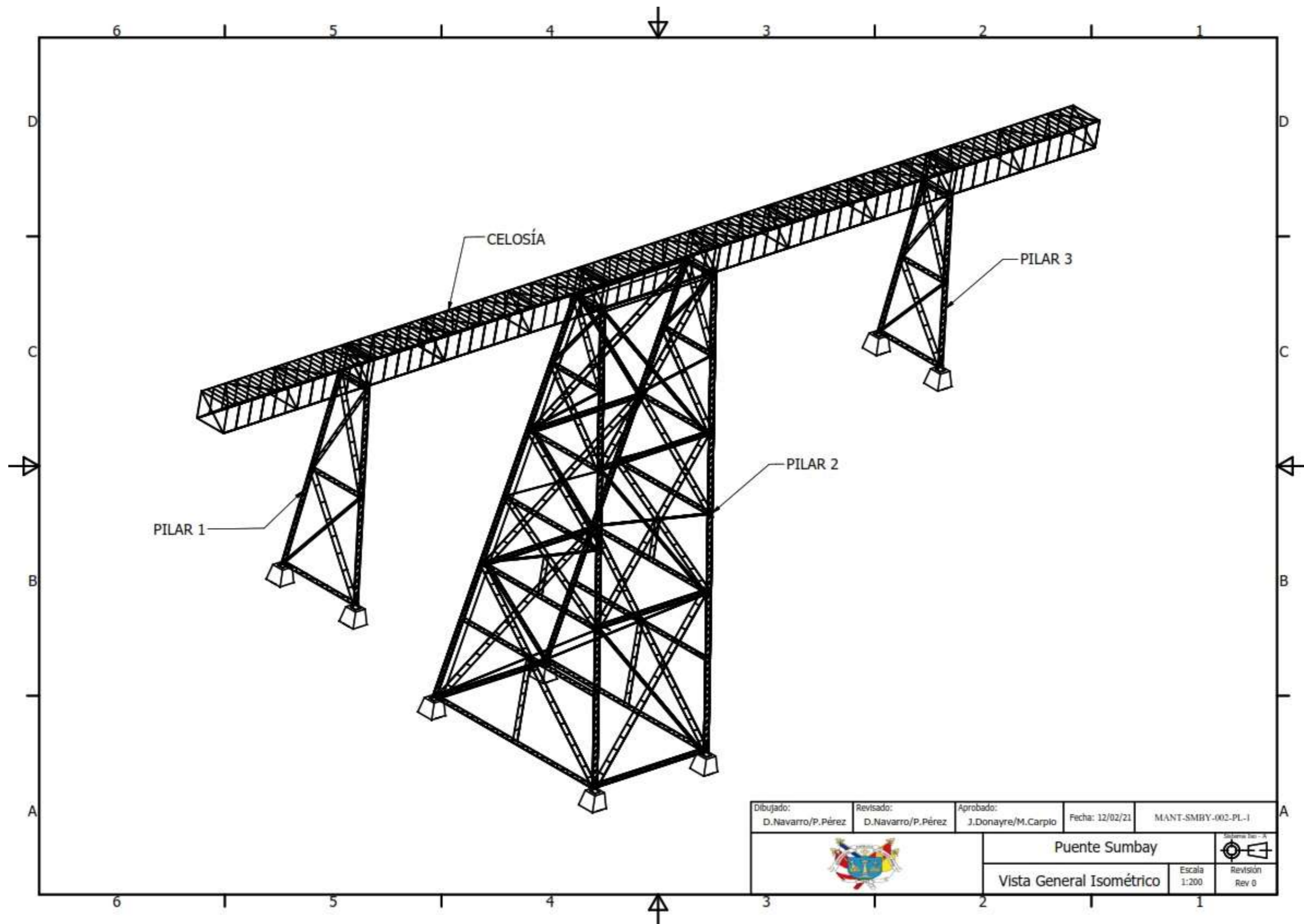
▪ Peso por galón	"Parte A"	5.0 ± 0.4 Kg.
	"Parte B"	4.4 ± 0.2 Kg.
▪ Punto de inflamación	"Parte A"	41 °C
	"Parte B"	27 °C

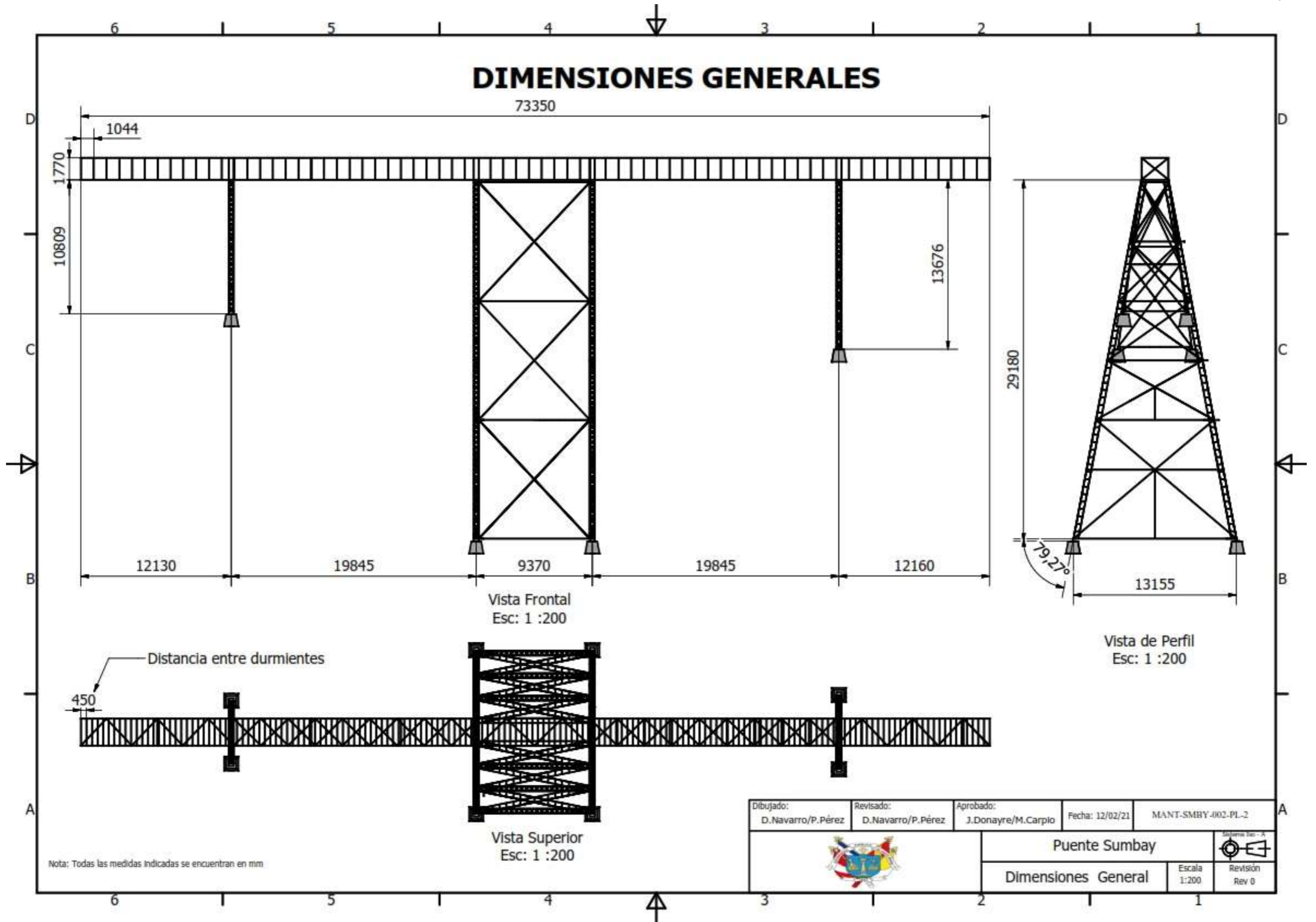
Se garantiza buena estabilidad en almacenamiento para la resina hasta por 12 meses y para el catalizador hasta 6 meses si se almacena bajo techo a temperaturas entre 4 °C a 38 °C.

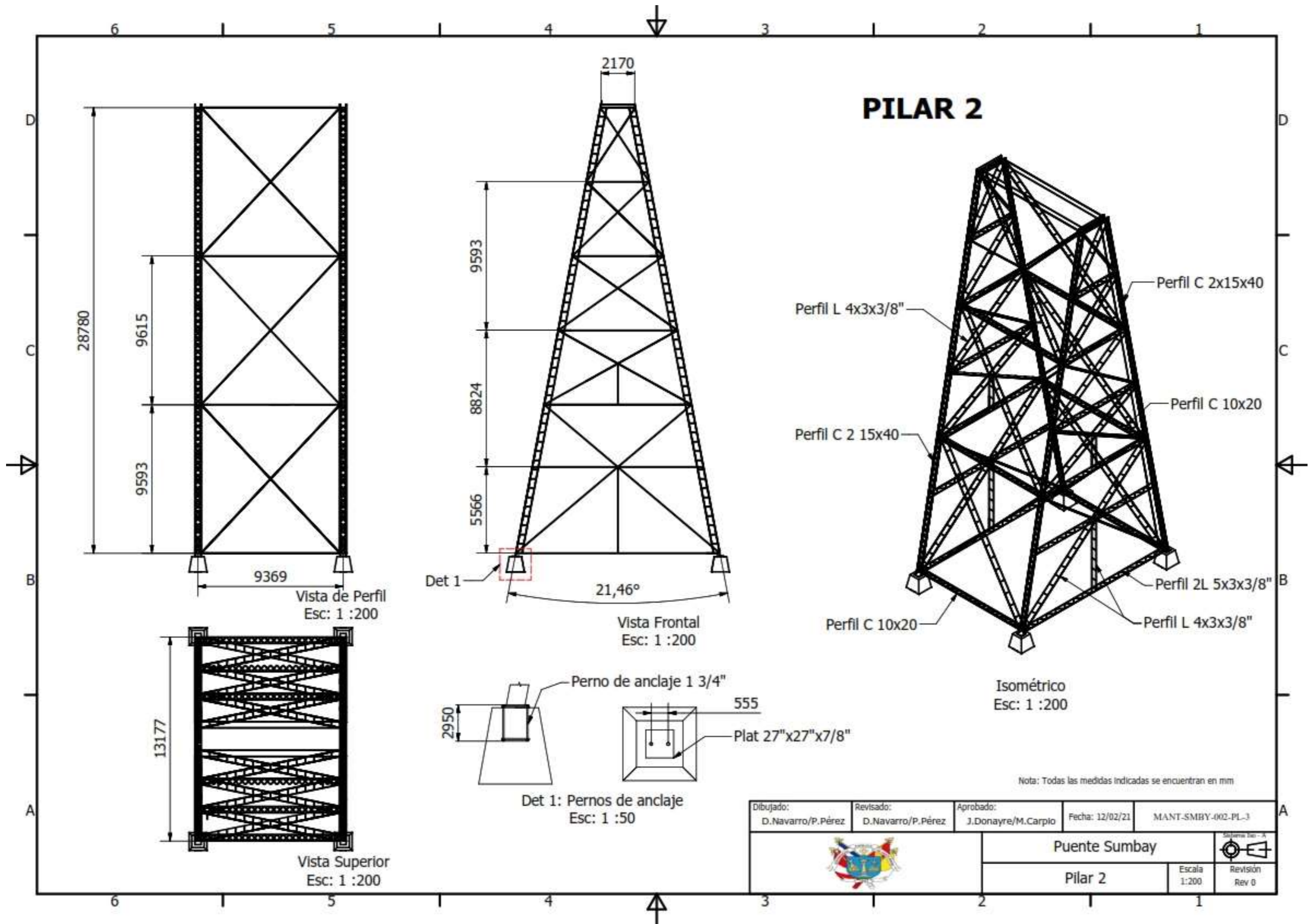
PRECAUCIONES DE SEGURIDAD


- Lea la hoja de seguridad de cada componente antes del empleo.
- El uso o manipuleo inapropiado de este producto puede ser nocivo para la salud o causar explosión.
- No use este producto sin antes tomar todas las precauciones de seguridad. Estas deben incluir: adecuada ventilación, iluminación a prueba de explosión, vestimentas adecuadas, lentes, guantes, máscaras para vapores orgánicos o con alimentación de aire sobre todo en espacios limitados como interiores de tanque u otros.
- Si usted necesita mayores detalles, consultar con el Departamento Técnico Pinturas JET.

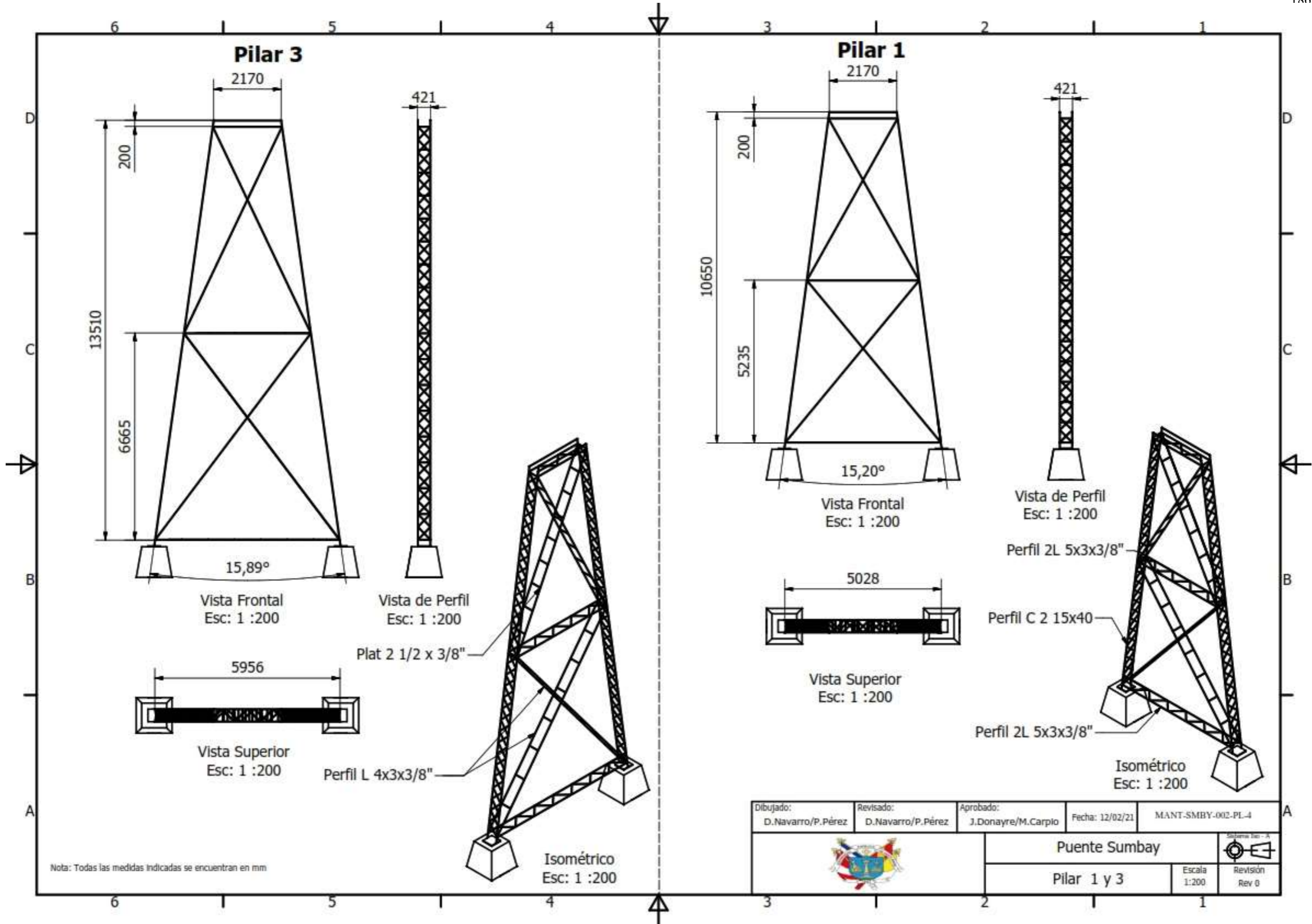
8.4. Planos Generales y de refuerzos







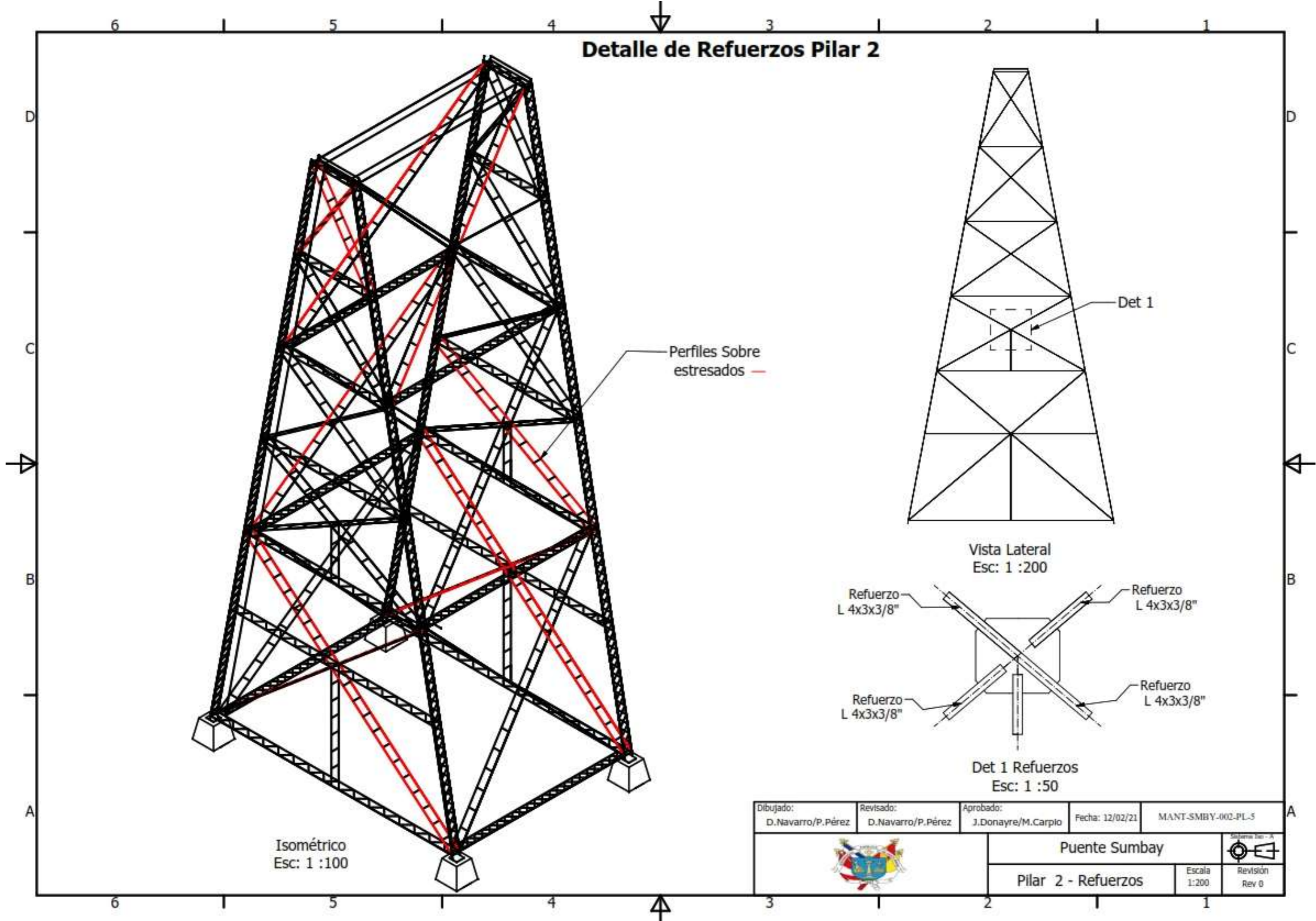


Dibujado: D. Navarro/P. Pérez	Revisado: D. Navarro/P. Pérez	Aprobado: J. Donayre/M. Carpio	Fecha: 12/02/21	MANT-SMBY-002-PL-3
			Puente Sumbay	
			Pilar 2	Escala 1:200



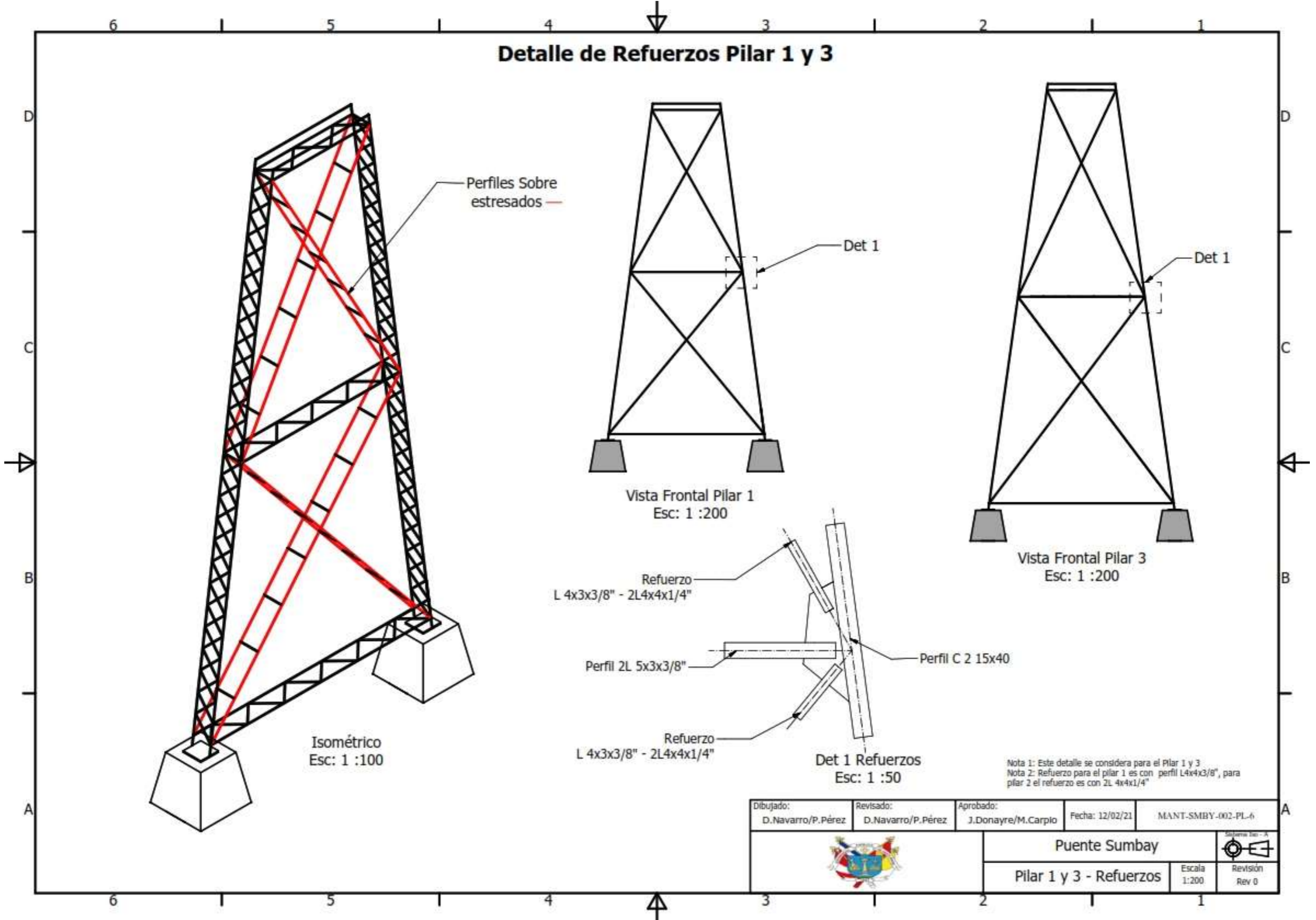
Dibujado: D.Navarro/P.Pérez	Revisado: D.Navarro/P.Pérez	Aprobado: J.Donayre/M.Carplo	Fecha: 12/02/21	MANT-SMBY-002-PL-4
			Puente Sumbay	
			Pilar 1 y 3	Escala 1:200
			Revisión Rev 0	


Detalle de Refuerzos Pilar 2



Dibujado: D.Navarro/P.Pérez	Revisado: D.Navarro/P.Pérez	Aprobado: J.Donayre/M.Carplo	Fecha: 12/02/21	MANT-SMBY-002-PL-5
			Puentes Sumbay	
			Pilar 2 - Refuerzos	Escala 1:200

Detalle de Refuerzos Pilar 1 y 3



Dibujado: D.Navarro/P.Pérez	Revisado: D.Navarro/P.Pérez	Aprobado: J.Donayre/M.Carplo	Fecha: 12/02/21	MANT-SMBY-002-PL-6
			Puentes Sumbay	
			Pilar 1 y 3 - Refuerzos	Escala 1:200
			Revisión Rev 0	