

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS TRANSPORTE  
MASIVO DE PASAJEROS**

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

**ELABORADO POR  
EDUARDO MACHUCA DELGADO**

**ASESOR  
Dr. JAVIER ARRIETA FREYRE**

**Lima- Perú**

**2018**

## DEDICATORIA

Este trabajo de suficiencia profesional se lo dedico a Dios por entregarme la fuerza necesaria para afrontar los retos de la vida. El me acompaña y hace que siempre me mantenga enfocado en mis metas y me da la bendición para realizar los que me apasione.

Este trabajo se lo dedico y agradezco, a mis padres Amanda y Antonio, a mis tíos Alfredo y Gloria, que en todo momento me apoyan y siempre me alienta para desarrollarme profesional y personalmente, a ellos les agradezco por su gran amor incondicional, pues me entregan su confianza y fuerzas. Además son ellos que siempre están presentes en los momentos más duros de la vida, que, a pesar de mis equivocaciones, ellos siempre apuestan por mí del cual estaré eternamente agradecido.

Este trabajo se lo dedico a mi esposa Marilia a mis hijos: Mathias y Michelle porque son la fuerza y el vehículo para seguir afrontando retos y hacen que cada día mejore como persona.

Este trabajo se lo dedico al ING. SAMUEL MORA QUIÑONES, Presidente del Jurado Calificador, quien, me oriento e indico la importancia en la conformación del Sistema de Transporte, específicamente en el servicio de Transporte Público Urbano Masivo de Pasajeros, que gracias a sus conocimientos y experiencias vividas en el extranjero, sobre todo en Europa, me explicó cómo interactúan los distintos Modos de Transportes de Pasajeros, el cual genero en mí la visión de ser uno de los gestores, para que las ciudades Perú puedan tener un sistema de transporte público al mismo estilo de Europa, con calidad, seguridad y que sea amigable para el usuario. Así también le agradezco por ser el único docente que, durante los cursos de pregrado, no solo nos enseñó la técnica, sino también nos enseñó la importancia del Ser, los Valores, las Metas y la Inteligencia Emocional, que en la actualidad son el 50% del éxito de todo profesional.

Este trabajo también lo dedico MSc. EDWARD SANTA MARÍA DÁVILA, Especialista del Jurado Calificador, quien, gracias a sus conocimientos y experiencias respecto a los Sistemas de Transporte Público Urbano Masivo de

Pasajeros, me oriento y dio las indicaciones necesarias para desarrollar un Análisis crítico enfocado en mis objetivos, de tal manera que este trabajo de experiencia profesional basado en la construcción de la Línea 1 del Metro de Lima y la Implementación de un sistema tipo Monorriel, sean una contribución a la sociedad investigadora. Así también le agradezco por brindarme parte de su valioso tiempo, en la revisión a detalle de este trabajo.

Este trabajo también se lo dedico a mi asesor el Dr. JAVIER ARRIETA FREYRE, quien me dio las sugerencias necesarias para su elaboración, como son la estructura del trabajo, los objetivos y el desarrollo. Así también lo que más resalto y agradezco de él, es darme parte de su valioso tiempo, pues al tener la doble responsabilidad como Decano del Colegio de Ingenieros de Lima y Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, con mucha humildad siempre me brindo oportunidades para reunirnos y en todo momento estuvo dispuesto a escuchar.

Dedico este trabajo a la Universidad Nacional de Ingeniería, a la Facultad de Ingeniería Civil, a los docentes y demás trabajadores por acogerme y permitir que pueda desarrollarme como profesional de ingeniería civil.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
PRÓLOGO .....	9
LISTA DE CUADROS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	14
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	18
1.1 EL TRASPORTE PÚBLICO.....	18
1.1.1 Sistemas de transporte .....	18
1.1.1.1 Los Terminales .....	18
1.1.1.2 Los Modos de transporte .....	18
1.1.1.3 El Medio de Transporte.....	19
1.1.2 Medios de transporte Urbano.....	19
1.1.2.1 Transporte privado.....	19
1.1.2.2 Transporte público .....	19
1.1.3 Externalidades del transporte público urbano. ....	21
1.1.2 El círculo vicioso del transporte urbano.....	21
1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	22
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO .....	23
1.3.1 Objetivo principal .....	23
1.3.2 Objetivos secundarios.....	23
CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	24
2.1 PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE .....	24
2.1.1 Identificación.....	24
2.1.1.1 Diagnóstico de la situación actual .....	25
2.1.1.2 El área de influencia y área de estudio .....	25
2.1.2 Metas y objetivos de la planificación .....	25
2.1.3 Estudios de demanda .....	25
2.1.4 Análisis de la demanda.....	25
2.1.5 Análisis de la oferta.....	25
2.1.6 Análisis técnico, planeamiento y costos. ....	26
2.1.9 Impacto Ambiental .....	26



2.2 ESTRUCTURAS CIVILES DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE CON VÍA ELEVADA .....	26
2.2.1 Cimentación en viaductos .....	26
2.2.2 Tipo de cimentaciones para columnas y viaductos .....	27
2.2.2.1 Cimentaciones superficiales.....	27
2.2.2.1 Cimentaciones profundas .....	27
2.2.3 Columnas .....	28
2.2.4 Vigas longitudinales del viaducto .....	29
2.2.4.1 Vigas pretensadas .....	30
2.2.4.2 Vigas postensadas.....	30
2.2.5 Concreto para estructuras del Viaducto. ....	30
2.2.6 Superestructura ferroviaria de vía permanente .....	30
2.2.6.1 Rieles.....	31
2.2.6.2 Manta de Lana de Roca.....	31
2.2.6.3 Balasto.....	31
2.2.6.3 Fijaciones.....	32
2.2.6.4 Durmiente .....	32
CAPITULO III: SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO.....	33
3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS .....	33
3.1.1 En el Mundo y Latinoamérica.....	33
3.1.2 En el Perú.....	35
3.2 EL TRANSPORTE Publico urbano masivo .....	36
3.2.1 Tipos de sistemas de transporte urbano masivo de pasajeros. ....	36
3.2.1.1 Metro .....	36
3.2.1.2 Monorriel.....	38
3.2.1.3 Metro Ligero.....	40
3.2.1.4 Buses de Transito Rápido (BRT) .....	41
3.2.2 Diferencia entre los trenes metropolitanos y otros servicios de trenes. ....	42
CAPITULO IV: CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN .....	44
4.1 CRITERIOS PARA LA TOMA DE DECISIONES .....	44
4.2 ANÁLISIS ENTRE EL METRO ELEVADO y EL MONORRIEL .....	47

4.2.1 Planteamiento de los sistemas.....	47
4.2.1.1 Información general .....	48
4.2.1.2 Diagnostico situacional .....	49
4.2.1.3 Problemas y causas.....	50
4.2.2 Demanda - Oferta .....	52
4.2.2.1 Demanda .....	53
4.2.2.2 Oferta.....	58
4.2.3 Análisis Crítico de la Demanda y Oferta.....	60
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DEL TIEMPO Y COSTO DE CONSTRUCCIÓN ENTRE EL MONORRIEL Y EL METRO CON VIADUCTO ELEVADO.....	63
5.1 INFRAESTRUCTURA.....	63
5.1.1 Características Generales del Monorriel de Arequipa .....	63
5.1.2 Características Generales de la Línea 1 del Metro de Lima .....	65
5.2 ESTRUCTURAS DEL VIADUCTO .....	67
5.2.1 Pilotes.....	68
5.2.1.1 Monorriel de Arequipa.....	68
5.2.1.2 Línea 1 metro de Lima .....	68
5.2.2 Zapatas.....	70
5.2.2.1 Monorriel de Arequipa.....	70
5.2.2.2 Línea 1 de Metro de Lima. ....	71
5.2.3 Columnas .....	71
5.2.3.1 Monorriel de Arequipa.....	71
5.2.3.2 Línea 1 del Metro de Lima .....	72
5.2.4 Vigas cabezal .....	73
5.2.4.1 Monorriel de Arequipa.....	73
5.2.4.2 Línea 1 del Metro de Lima .....	73
5.2.5 Vigas Prefabricadas.....	74
5.2.5.1 Monorriel de Arequipa.....	74
5.2.5.2 Línea 1 del metro de Lima .....	75
5.2.6 Diafragmas .....	75
5.2.6.1 Monorriel de Arequipa.....	75

5.2.6.2 Línea 1 del metro de Lima .....	76
5.2.7 Estructuras típica solo en el Monorriel de Arequipa .....	76
5.2.7.1 Pasarelas de Evacuación.....	76
5.2.8 Estructuras típicas solo en la Línea 1 del Metro de Lima .....	77
5.2.8.1 Tablero, Pre losa y losa .....	77
5.2.8.2 Bordes típicos. ....	78
5.2.8.3 Canaletas.....	79
5.2.8.4 Vía férrea .....	79
5.2.8.5 Estructuras especiales del Viaducto elevado .....	80
5.3 ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS.....	81
5.3.1 Monorriel de Arequipa.....	81
5.3.1.1 Estación Tipo 1 .....	83
5.3.1.2 Estación tipo 2 .....	85
5.3.1.3 Estación tipo 3 .....	88
5.3.1.4 Patio de Maniobras .....	89
5.3.2 Línea 1 del Metro de Lima .....	91
5.3.2.1 Marco Legal de inserción de la Línea 1.....	91
5.3.2.2 Parámetros de diseño en las estaciones.....	92
5.3.2.3 Descripción general de las estaciones. ....	93
5.3.2.4 Características del Área de Pasajeros .....	95
5.3.2.5 Características del Área Técnica .....	98
5.3.2.7 Patio de Maniobras .....	99
5.5 ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO .....	101
5.5.1 Secuencia de Construcción. ....	101
5.5.1.1 Obras civiles Similares.....	101
5.5.1.2 Obras civiles solo del monorriel .....	113
5.5.1.3 Obras Solo de la Línea 1 del Metro.....	117
5.5.2 Programación de la Construcción. ....	121
5.5.2.1 Cantidad de elementos de la obra civil.....	121

5.5.2.2 Secuencia de construcción del viaducto. ....	126
5.5.2.3 Cronograma Contractual de Obra .....	127
5.5.2.4 Diagrama Tiempo - Camino .....	131
5.5.2.5 Velocidad de Producción. ....	132
5.5.2.6 Análisis Crítico del Tiempo de Construcción. ....	142
5.5.3.1 Costos globales de obra .....	148
5.5.3.2 Indicadores de costos de viaducto y estaciones.....	154
5.5.3.3 Análisis Crítico de los Costos de Obra. ....	181
CONCLUSIONES .....	186
RECOMENDACIONES.....	189
BIBLIOGRAFÍA.....	190
ANEXOS .....	192

## RESUMEN

Este trabajo aporta datos, reflexiones e ideas sobre la Línea 1 del Metro de Lima (tramos I y II) y el estudio para implantación de un sistema de transporte masivo tipo Monorriel para la ciudad de Arequipa. En el desarrollo de este trabajo se estudian las características básicas de estos dos tipos de modo de transporte y su relación con los demás sistemas de transporte urbano público masivo, su historia en el mundo y en el Perú. Para la implementación de un sistema de transporte público masivo en una ciudad, es necesario evaluar diversas variables, de las cuales, en este trabajo de suficiencia profesional se realizó un extracto de los criterios básicos de evaluación y selección de los sistemas de transporte urbano público masivo, como son demanda de pasajeros, el tiempo de construcción y el costo de construcción.

Estos análisis se basan en el planeamiento y costo de la construcción de la Línea 1 del Metro de Lima y el planeamiento y costo (estudios a nivel de pre inversión) para la construcción del Monorriel de Arequipa. De estos dos tipos de sistemas en evaluación, conoceremos cuanto es la demanda proyectada de pasajeros, la oferta de trenes necesario, el tiempo y la secuencia de construcción y el costo por kilómetro construido, realizando comparativos entre los valores obtenidos de estas variables.

## ABSTRACT

This work provides data, reflections and ideas about Line 1 of the Lima Metro (sections I and II) and the study for the implementation of a mass transport system type Monorriel for the city of Arequipa. In the development of this work we study the basic characteristics of these two types of transport mode and their relationship with other mass transport systems, their history in the world and in Peru. For the implementation of a mass transport system in a city, it is necessary to evaluate several variables, of which, in this work of professional sufficiency, an excerpt of the basic criteria of evaluation and selection of mass transport systems was made, as they are passenger demand, construction time and construction cost.

These analyzes are based on the planning and cost of the construction of Line 1 of the Lima Metro and the planning and cost (studies at pre-investment level) for the construction of the Monorail de Arequipa. Of these two types of systems under evaluation, we will know how much is the projected passenger demand, the supply of trains necessary, the time and sequence of construction and the cost per kilometer built, making comparisons between the values obtained from these variables.

## PRÓLOGO

El siguiente trabajo de suficiencia profesional elaborado por el Bachiller en Ingeniería Civil; Eduardo Machuca Delgado, se basa en los estudios de dos tipos de sistema de transporte masivo, como son la Línea 1 del Metro de Lima y el estudio de implementación de un sistema tipo monorriel para la ciudad de Arequipa. Durante el desarrollo, en los tres primeros capítulos explica en un modo general cuales son las principales causas que llevaron a la implementación de los sistemas de transporte masivo en el mundo y como estos se vienen desarrollando en el Perú, llegando así en el cuarto capítulo a extraer un resumen de los principales criterios de evaluación y selección de los sistemas de transporte masivo y además en función a los estudios realizados para la Línea 1 del metro de Lima y el monorriel de Arequipa, hace el análisis comparativo entre la demanda de pasajeros y la oferta necesaria de trenes para cubrir este último, de la misma manera en el capítulo cinco, se realiza un análisis comparativo entre las características generales de ambos sistemas de transporte masivo, describe las estructuras civiles que son similares en ambos sistemas, las que son propias del monorriel y propias de un metro con vía elevada, evaluando así la secuencia de construcción de las obras civiles de ambos sistemas y haciendo un comparativo del tiempo de construcción contractual y del tiempo de construcción como meta interna del constructor, también en función a los costos de ejecución de obra muestra los indicadores unitarios como costo por kilómetro construido, costo de venta por metro cubico de cada estructura civil, obteniendo cuadros comparativos entre ambos sistemas con sus respectivos indicadores de tiempo y costo de construcción. Por último, el presente trabajo de suficiencia profesional será de gran apoyo para las futuras generaciones de ingenieros civiles y sobre todo para aquellos constructores que también les apasione la implementación de este tipo de sistemas de transporte masivo.

*Javier Arrieta Freyre*

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 4.1	Matriz de decisión de transporte público.....	44
Cuadro N° 4.2	Comparativo de los sistemas de transporte Masivo.....	46
Cuadro N° 4.3	Rango de demanda vs Velocidad Comercial .....	47
Cuadro N° 4.4	Proyecciones de la Demanda.....	53
Cuadro N° 4.5	Proyecciones de demanda diaria por hora .....	53
Cuadro N° 4.6	Demanda Real de Pasajeros Línea 1 .....	54
Cuadro N° 4.7	Actualización de la proyección de la Demanda Línea 1 .....	54
Cuadro N° 4.8	Demanda proyectada por JICA Línea 1.....	55
Cuadro N° 4.9	Comparativo de demanda Línea 1.....	55
Cuadro N° 4.10	Proyecciones de demanda monorriel 2016 a 2048 .....	56
Cuadro N° 4.11	Proyección de demanda, monorriel. ....	57
Cuadro N° 4.12	Cuadro resumen de la Demanda-Monorriel.....	57
Cuadro N° 4.13	Oferta Línea 1 contrato de concesión .....	58
Cuadro N° 4.14	Nueva Oferta Línea 1 contrato de concesión.....	59
Cuadro N° 4.15	Oferta del Monorriel.....	59
Cuadro N° 4.16	Oferta de servicio solo con Monorriel.....	61
Cuadro N°5.1	Muestra las estaciones - Monorriel. ....	64
Cuadro N°5.2	Características Geométricas de Alineamiento. ....	65
Cuadro N°5.3	Estaciones - Línea 1.....	66
Cuadro N°5.4	Características Geométricas de Alineamiento .....	67
Cuadro N°5.5	Ancho de la vía férrea.....	80
Cuadro N°5.6	Cruces especiales .....	80
Cuadro N°5.7	Tipos de estaciones del Monorriel .....	81
Cuadro N°5.8	Ubicación de los servicios de la estación tipo 1 .....	85
Cuadro N°5.9	Ubicación de los servicios de la estación tipo 2 .....	87
Cuadro N°5.10	Ubicación de los servicios de la estación tipo 3 .....	89
Cuadro N°5.11	Zonas del patio taller del monorriel.....	90
Cuadro N°5.12	Dimensiones de una estación de Pasajeros, Línea 1 .....	92
Cuadro N°5.13	Estaciones de la Línea 1 del Metro.....	94
Cuadro N°5.14	Tipos de Áreas Técnicas en estaciones .....	99
Cuadro N°5.15	Zonas del patio de maniobras.....	100
Cuadro N°5.16	Cantidades de estructuras del Monorriel .....	121
Cuadro N°5.17	Resumen de metrados del Monorriel.....	121
Cuadro N°5.18	Cantidad de estructuras del Tren.....	122



Cuadro N°5.19	Resumen de metrados del Tren .....	123
Cuadro N°5.20	Comparativo global de metrados .....	124
Cuadro N°5.21	Proporción de cantidades entre cada sistema .....	124
Cuadro N°5.22	Metrados totales por Kilometro construido.....	124
Cuadro N°5.23	Proporción de cantidades por kilómetro construido .....	124
Cuadro N°5.24	Comparativo de Acero por kilometro.....	125
Cuadro N°5.25	Comparativo de Encofrado por kilometro.....	125
Cuadro N°5.26	Comparativo de concreto por kilometro .....	125
Cuadro N°5.27	Resumen de cronogramas contractuales .....	129
Cuadro N°5.28	Indicador de ejecución contractual de Viaducto.....	130
Cuadro N°5.29	Rendimiento Contractual Acero .....	130
Cuadro N°5.30	Rendimiento Contractual Encofrado .....	131
Cuadro N°5.31	Rendimiento Contractual Concreto.....	131
Cuadro N°5.32	Buffer de ejecución de obra, Monorriel. ....	132
Cuadro N°5.33	Resumen del Diagrama Espacio tiempo, Monorriel. ....	132
Cuadro N°5.34	Rendimiento de estructuras del Monorriel.....	133
Cuadro N°5.35	Metrados para vía doble, Monorriel .....	134
Cuadro N°5.36	Rendimientos en vía doble, Monorriel.....	134
Cuadro N°5.37	Metrados para vía simple, Monorriel.....	134
Cuadro N°5.38	Rendimientos en vía simple, Monorriel .....	135
Cuadro N°5.39	Metrados para vías en Patio de Maniobras.....	135
Cuadro N°5.40	Rendimientos en Patio de Manobras, Monorriel. ....	135
Cuadro N°5.41	Buffer de ejecución de obra, Tren.....	137
Cuadro N°5.42	Resumen del diagrama espacio tiempo, Tren.....	138
Cuadro N°5.43	Metrados tramo 2 del Tren. ....	138
Cuadro N°5.44	Rendimiento de estructuras del tren .....	139
Cuadro N°5.45	Comparativo del rendimiento de Acero por día .....	142
Cuadro N°5.46	Comparativo del rendimiento de encofrado por día .....	143
Cuadro N°5.47	Comparativo del rendimiento de encofrado por día .....	143
Cuadro N°5.48	Estructuras en común.....	142
Cuadro N°5.49	Metro con Rendimiento del Monorriel .....	144
Cuadro N°5.50	Monorriel con Rendimientos del Metro .....	145
Cuadro N°5.51	Duraciones de Acero por Kilometro .....	145
Cuadro N°5.52	Duraciones de Encofrado por Kilometro .....	146
Cuadro N°5.53	Duraciones de Concreto por Kilometro .....	146

Cuadro N°5.54	Tiempo construcción vs Longitud de construcción.....	147
Cuadro N°5.55	Presupuesto de Ejecución, Monorriel .....	148
Cuadro N°5.56	Presupuesto de obra, Línea 1 – tramo 1.....	148
Cuadro N°5.57	Presupuesto de obra, Línea 1 – Tramo 2 .....	149
Cuadro N°5.58	Cuadro comparativo de costos globales .....	151
Cuadro N°5.59	Costos globales por Kilometro .....	152
Cuadro N°5.60	Costos de una estación .....	153
Cuadro N°5.61	Costo de actividades - Pilotes.....	154
Cuadro N°5.62	Costo por kilómetro - Pilotes.....	154
Cuadro N°5.63	Ratio promedio de venta - Pilotes.....	155
Cuadro N°5.64	Comparativos de metrados - Pilotes .....	155
Cuadro N°5.65	Costo de actividades - Zapatas .....	156
Cuadro N°5.66	Costo por kilómetro - Zapatas.....	156
Cuadro N°5.67	Ratio promedio de venta - Zapatas.....	157
Cuadro N°5.68	Comparativo de metrados - zapatas.....	158
Cuadro N°5.69	Costo de actividades - Columna .....	158
Cuadro N°5.70	Costo por kilómetro - Columnas .....	159
Cuadro N°5.71	Ratio promedio de venta – Columnas.....	159
Cuadro N°5.72	Comparativo de metrados e indicadores - Columnas .....	160
Cuadro N°5.73	Costo de actividades – Viga Cabezal .....	160
Cuadro N°5.74	Costo por kilómetro - Viga Cabezal .....	161
Cuadro N°5.75	Ratio promedio de venta - Viga Cabezal .....	161
Cuadro N°5.76	Comparativo de metrados e indicadores – Vigas Cabezal...	162
Cuadro N°5.77	Costo de actividades – Fabricación de vigas .....	163
Cuadro N°5.78	Costo de instalación – vigas prefabricadas.....	163
Cuadro N°5.79	Costo por kilómetro - vigas prefabricadas.....	164
Cuadro N°5.80	Ratio promedio de venta - vigas prefabricadas .....	164
Cuadro N°5.81	Metrados e indicadores-Vigas Prefabricadas.....	165
Cuadro N°5.82	Costo de actividades - Diafragmas .....	166
Cuadro N°5.83	Costo por kilómetro - Diafragmas .....	166
Cuadro N°5.84	Ratio promedio de venta - Diafragmas .....	167
Cuadro N°5.85	Comparativo de metrados e indicadores - Diafragmas .....	167
Cuadro N°5.86	Costos Pasarela de evacuación - Monorriel.....	168
Cuadro N°5.87	Metrado e indicador – Pasarela de evacuación .....	168
Cuadro N°5.88	Costo de actividades – Viga Cajón .....	168

Cuadro N°5.89	Costo por metro lineal construido - Viga Cajón.....	169
Cuadro N°5.90	Ratio promedio de venta - Viga Cajón.....	169
Cuadro N°5.91	Cuadro de metrados e indicadores – Vigas Cajón.....	169
Cuadro N°5.92	Costo de actividades – Losa Prefabricada.....	170
Cuadro N°5.93	Costo por kilómetro - Losa Prefabricada.....	171
Cuadro N°5.94	Ratio promedio de venta - Losa Prefabricada.....	171
Cuadro N°5.95	Cuadro de metrados e indicadores - Losas Prefabricadas...	171
Cuadro N°5.96	Costo de actividades - Tableros.....	172
Cuadro N°5.97	Costo por kilómetro - Tableros.....	172
Cuadro N°5.98	Ratio promedio de venta - Tableros.....	173
Cuadro N°5.99	Comparativo metrados en indicadores - Tableros.....	173
Cuadro N°5.100	Costo de actividades - Dovelas.....	174
Cuadro N°5.101	Costo por kilómetro - Dovelas.....	174
Cuadro N°5.102	Ratio promedio de venta - Dovelas.....	174
Cuadro N°5.103	Metrados en indicadores – Dovelas.....	174
Cuadro N°5.104	Costo de actividades – Borde Típico.....	175
Cuadro N°5.105	Costo por kilómetro - Borde Típico.....	175
Cuadro N°5.106	Ratio promedio de venta - Borde Típico.....	176
Cuadro N°5.107	Metrado e indicadores – Bordes típicos.....	176
Cuadro N°5.108	Costo de actividades - Canaletas.....	177
Cuadro N°5.109	Costo por kilómetro - Canaletas.....	177
Cuadro N°5.110	Ratio promedio de venta - Canaletas.....	177
Cuadro N°5.111	Metrados e indicadores - canaletas.....	178
Cuadro N°5.112	Costo de actividades – Vía Férrea.....	179
Cuadro N°5.113	costo por kilómetro – Vía Férrea.....	179
Cuadro N°5.114	Metrados - vía férrea.....	179
Cuadro N°5.115	Costo por especialidad – Estaciones.....	180
Cuadro N°5.116	Costos promedio de una estación.....	181
Cuadro N°5.117	Metrados e Indicadores estructuras - Estaciones.....	181
Cuadro N°5.118	Costo directo por kilómetro por tipo de estructura.....	182
Cuadro N°5.119	Costo total directo por Kilometro.....	183
Cuadro N°5.120	Ratio de venta de 1 m3 de cada estructura.....	183
Cuadro N°5.121	Incidencia de los sub presupuestos.....	184

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1	Circulo vicioso del transporte .....	22
Figura N° 3.1	Metro de Londres, construido por el método Cut and Cover. ....	33
Figura N° 3.2	Monorriel del tipo suspendido, Inició operaciones en 1901 .....	34
Figura N° 3.3	Red básica del Metro de Lima.....	35
Figura N° 3.4	Excavación del túnel para la Línea 2 del metro de Lima. ....	37
Figura N° 3.5	Línea 1 metro de Lima, vía férrea, anden y estación elevada. ...	38
Figura N° 3.6	Línea 1 Metro de Panamá.....	38
Figura N° 3.7	Monorriel de Sao Paulo.....	39
Figura N° 3.8	Proyecto monorriel para la Ciudad de Arequipa. ....	39
Figura N° 3.9	Propuesta de Monorriel Av. Universitaria Lima.....	40
Figura N° 3.10	Idea de un metro ligero para Trujillo. ....	41
Figura N° 3.11	BRT, El Metropolitano y Trans Milenio.....	42
Figura N° 4.1	Desorden vehicular en Lima y Arequipa.....	52
Figura N° 4.1	Tipos de coche del monorriel .....	59
Figura N° 4.2	Trenes Línea 1 y Monorriel .....	60
Figura N° 4.3	Intervalo de las demandas estudiadas .....	60
Figura N° 5.1	Trazo de la vía - Monorriel .....	63
Figura N° 5.2	Vías Doble y simple - Monorriel .....	64
Figura N° 5.3	Tramo 1 - Línea 1 .....	66
Figura N° 5.4	Tramo 2 - Línea 1 .....	66
Figura N° 5.5	Pilotes - Monorriel .....	68
Figura N° 5.6	Pilotes en puente Sobre la vía de Evitamiento. ....	69
Figura N° 5.7	Pilotes en puente Sobre El rio Rímac.....	69
Figura N° 5.8	Pilotes – Estación los Jardines.....	70
Figura N° 5.9	Pilotes estación San Carlos – Línea 1 .....	70
Figura N° 5.10	Zapata de Monorriel .....	71
Figura N° 5.11	Vista en corte de zapata típica del metro. ....	71
Figura N° 5.12	Columna en vía doble - Monorriel.....	72
Figura N° 5.13	Columnas típicas del viaducto .....	72
Figura N° 5.14	Viga cabezal - Monorriel.....	73
Figura N° 5.15	Viga cabezal típica de viaducto. ....	74
Figura N° 5.16	Viga prefabricada Monorriel.....	74
Figura N° 5.17	Viga prefabricada típica – Línea 1 .....	75
Figura N° 5.18	Diafragma Intermedio del Monorriel.....	75

Figura N° 5.19	Diafragma en vigas prefabricadas de viaducto. ....	76
Figura N° 5.20	Pasarelas de emergencia - Monorriel .....	77
Figura N° 5.21	Sección Transversal Típica del Tablero.....	78
Figura N° 5.22	Detalle de borde típico.....	78
Figura N° 5.23	Canaletas y bordes típicos .....	79
Figura N° 5.24	Muestra el Ancho mínimo de la vía.....	80
Figura N° 5.25	Recorrido del usuario del Monorriel .....	83
Figura N° 5.26	Perspectiva de estación tipo 1 .....	83
Figura N° 5.27	Espaciamiento del Anden de estación tipo 1 .....	84
Figura N° 5.28	Perspectiva del andén de estación tipo 1 .....	84
Figura N° 5.29	Vista en corte de la estación tipo 1 .....	85
Figura N° 5.30	Perspectiva de estación tipo 2.....	86
Figura N° 5.31	Espaciamiento del Anden de estación tipo 2 .....	86
Figura N° 5.32	Elevación de la estación tipo 2 .....	87
Figura N° 5.33	Corte de la estación tipo 3.....	88
Figura N° 5.34	Espaciamiento del Anden de estación tipo 3 .....	89
Figura N° 5.35	Distribución del patio taller del monorriel .....	90
Figura N° 5.36	Estación típica de la Línea 1.....	95
Figura N° 5.37	Vista en planta del Área de Pasajeros.....	95
Figura N° 5.38	Vista Lateral del Área de Pasajeros.....	96
Figura N° 5.39	Escalera 1, caja de ascensor, y escaleras mecánicas.....	97
Figura N° 5.40	Vista en planta de Ubicación Área Técnica.....	98
Figura N° 5.41	Patio de maniobras Línea 1 tramo 2.....	100
Figura N° 5.42	Flujo de Gestión de Interferencias .....	102
Figura N° 5.43	Trazo y ubicación de estación clínica del monorriel .....	103
Figura N° 5.44	Interferencias Aéreas Av. Villa hermosa Arequipa .....	103
Figura N° 5.45	Interferencias Aéreas Tramo 2 Línea 1.....	104
Figura N° 5.46	Planos de Interferencias en el Tramo 2 de la Línea 1.....	104
Figura N° 5.47	Esquema de identificación de Interferencias.....	105
Figura N° 5.48	Ejecución de pilotes.....	106
Figura N° 5.49	Excavación de Zapata y Descabezado de Pilote .....	107
Figura N° 5.50	Acero para zapata .....	107
Figura N° 5.51	Acero de columna.....	108
Figura N° 5.52	Concreto en Zapata.....	108
Figura N° 5.53	Encofrado de columna.....	109

Figura N° 5.54	Bi Columnas finalizadas .....	110
Figura N° 5.55	Fondo de encofrado, acero y concreto en viga cabezal .....	111
Figura N° 5.56	Montaje de vigas prefabricadas .....	112
Figura N° 5.57	Preparación de la parte superior del pilar .....	113
Figura N° 5.58	1ra etapa de cierre de vigas .....	114
Figura N° 5.59	2da etapa del cierre de vigas.....	115
Figura N° 5.60	Postensado y cierre de modulo .....	116
Figura N° 5.61	Pasarelas de evacuación.....	117
Figura N° 5.62	Losas prefabricadas y acero de losa de viaducto .....	117
Figura N° 5.63	Diafragmas de viaducto .....	118
Figura N° 5.64	Borde típico, Canaletas Laterales y Centrales .....	119
Figura N° 5.65	Vía férrea del tren eléctrico.....	120
Figura N° 5.66	Secuencia de construcción de un vano típico del monorriel. ....	126
Figura N° 5.67	Secuencia de construcción de un vano típico del tren .....	127
Figura N° 5.68	Tren de actividades en vía doble, Monorriel. ....	136
Figura N° 5.69	Tren de actividades en vía única, Monorriel.....	136
Figura N° 5.70	Tren de Actividades del Metro. ....	140
Figura N° 5.71	Tren de Actividades de una estación, del Monorriel.....	141
Figura N° 5.72	Tren de Actividades de una estación del metro .....	141
Figura N° 5.73	Intercambiador de vía - Monorriel .....	162

## INTRODUCCIÓN

Lima y Arequipa son ciudades que tienen problemas de transporte público urbano, debido a un crecimiento sin una adecuada planificación urbana. Aspectos como la congestión, la contaminación, los accidentes y el déficit financiero de las empresas involucradas en el mismo, no han sufrido importantes variaciones hasta la fecha pues existe un enmarañado de líneas de autobuses que operan y generan pérdidas de tiempo, costos y externalidades.

En las últimas dos décadas la mayoría de países latinoamericanos ha entendido la importancia de desarrollar sistemas de transporte público urbano de grandes capacidades en sus principales ciudades; y el Perú, no es ajeno a este desarrollo pues ciudades, como Lima y Arequipa ya tienen una estrategia para el desarrollo del transporte como son:

- EL Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao, en el cual establece un sistema de Mediana Capacidad y 6 Líneas de Metros, de donde estudiaremos a la Línea 1 del Metro de Lima.
- El Sistema Integrado de Transporte de Arequipa, que nace en el 2009 con la idea de un sistema de Buses de Transito Rápido, pero año 2013 el Ministerio de Transportes, propone una nueva evaluación de este sistema, dando la opción a un sistema Integrado con Buses de Transito Rápido y un Monorriel con vía elevada; de donde estudiaremos al Monorriel. En la actualidad se plantea un esquema de red racionalizada basado en un conjunto de rutas de buses troncales.

Este trabajo de suficiencia profesional se basa en un análisis comparativo del tiempo y costo de construcción, entre la Línea 1 del Metro de Lima y la propuesta del Monorriel para la ciudad de Arequipa, de donde surge las siguientes interrogantes, ¿Cuál de estos dos sistemas, tiene menor costo de construcción?, ¿Cuál de estos dos sistemas tiene menor plazo de construcción? También evaluaremos la demanda de pasajeros y cuál es la oferta de trenes necesario para cubrir la demanda. Estas interrogantes serán respondidas en el desarrollo de este trabajo.

## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1 EL TRASPORTE PÚBLICO

#### 1.1.1 Sistemas de transporte

Los sistemas de transporte permiten el desplazamiento de personas, bienes y mercancías entre lugares geográficos. Sus elementos principales son los medios o vehículos de transporte, la infraestructura, los bienes y productos transportados. Un sistema de transporte está compuesto por Los Terminales, por los Modos de Transporte y el Medio de Transporte. (Islas Rivera & Lelis Zaragoza, 2007)

##### 1.1.1.1 Los Terminales

Son puntos donde empieza o termina el viaje, o dan lugar a cambio de unidad o modo de transporte, de acuerdo a su tamaño y funcionalidad pueden ser:

- Grandes; puertos, aeropuertos, estacionamientos, etc.
- Medianos; parada de buses, garajes, etc.
- Pequeños; estacionamientos en la calle, zonas de carga, etc.
- Informales. (Islas Rivera & Lelis Zaragoza, 2007)

##### 1.1.1.2 Los Modos de transporte

Son unidades móviles en las que se desplazan las personas y las mercancías. Los modos de transporte son combinaciones de redes, vehículos y operaciones. Según los modos de transporte utilizados, el transporte se categoriza en: Transporte por carretera: peatones (caminata), bicicletas, automóviles y otros vehículos sin rieles, mencionamos los siguientes:

- Transporte sobre vías férreas.
- Transporte por vías navegables: transporte marítimo y transporte fluvial.
- Transporte aéreo: aeronaves y aeropuertos.
- Transporte combinado: se utilizan varios modos de transporte y la mercancía se transborda de vehículo a otro. Este modo de transporte se ha desarrollado dando lugar al transporte intermodal o transporte multimodal.
- Transporte vertical: ascensores y montacargas.
- Transporte por tuberías: oleoductos y gasoductos, en los que se impulsan fluidos a través de tuberías mediante estaciones de bombeo o de compresión. (Islas Rivera & Lelis Zaragoza, 2007)



Asimismo, puede distinguirse entre transporte público y transporte privado dependiendo de la propiedad de los medios de transporte utilizados, también puede distinguirse entre el transporte de mercancías y el transporte de pasajeros.

### *1.1.1.3 El Medio de Transporte*

Son aquellas partes o elementos fijos, que conectan las terminales, sobre los cuales se desplazan las unidades transportadas. Estas pueden ser de dos tipos:

- Conexiones físicas: como carreteras, calles, rieles, duetos, etc.
- Conexiones navegables: como mares, ríos, aire, espacio, etc. (Islas Rivera & Lelis Zaragoza, 2007)

### *1.1.2 Medios de transporte Urbano*

En este apartado abordaremos una breve exposición de cuáles son los medios de transporte de personas en ciudades de todo el mundo. Para empezar, haremos una relación de los principales medios y sistemas de transporte privado, para a continuación pasar a los de carácter público. Y estos últimos los hemos dividido entre convencionales (los más frecuentes en nuestras ciudades), los no convencionales, y aquellos menos conocidos por su relativamente temprana y no mayoritaria implantación en diferentes lugares. (Gonzales , 2007)

#### *1.1.2.1 Transporte privado*

##### *A.-Modos no motorizados*

Entre los modos no motorizados se encuentran los desplazamientos realizados a pie o en bicicleta. Son aquellos medios que sólo requieren energía de tipo biológico, de ahí que este tipo de desplazamientos sean los más respetuosos con la ciudad y su población por no presentar apenas impactos ni sociales ni ambientales, además de resultar saludables para las personas que los realizan. (Gonzales , 2007)

##### *B.-Vehículo privado motorizado*

Son vehículos que funcionan con motores de combustión y con energía fósil de forma prácticamente mayoritaria. En su circulación urbana comparten calzada junto a otros medios de transporte. Bajo esta denominación nos referimos a los automóviles, motocicletas y ciclomotores. (Gonzales , 2007)

#### *1.1.2.2 Transporte público*

##### *A.- Medios convencionales*

##### *A.1 Autobuses y microbuses*

Son sistemas de transporte en superficie, bajo conducción manual y en carretera. Utilizan motores de combustión y con energía fósil, mayoritariamente gasolina. Existen diferentes tipos de vehículos como microbús, autobús pequeño, estándar y articulado en función de la capacidad y tamaño del vehículo. No disponen de una infraestructura de vía exclusiva, sino que la comparten con otros medios de transporte. (Gonzales , 2007)

#### A.2 Taxis

Son automóviles, por su uso permite marcar diferencias con el vehículo privado. Su accesibilidad para cualquier persona que quiera utilizarlo convierte al taxi en una alternativa al automóvil privado en el interior de las ciudades, donde pueden resultar una buena opción en determinados trayectos mal comunicados por transporte público o para viajes que requieran de una mayor velocidad o aproximación. (Gonzales , 2007)

#### A.3 Ferrocarriles urbanos y metropolitanos

Son medios de transporte que se caracterizan por ser medios ferroviarios guiados, que disponen de una infraestructura particular, normalmente requieren de energía eléctrica y en algunos casos de diésel, y en ocasiones (como en el caso de los tranvías) pueden tener plataforma compartida. La principal diferencia entre los diferentes ferrocarriles es su tecnología, la capacidad de transporte y los costos de implementar su infraestructura, entre los medios ferroviarios de transporte urbano de personas tenemos tranvías, metros y ferrocarril de cercanías. (Gonzales , 2007)

#### B.-Medios no convencionales

Incluimos aquí todos los sistemas de transporte colectivo de implantación más recientes.

##### B.1 Autobús semirrápido.

Es un sistema de transporte público urbano compuesto por autobuses que utilizan carriles especialmente diseñados. Es decir, presenta una infraestructura de soporte exclusiva, con partes sustanciales del trayecto realizado sobre plataforma reservada, pero no impide que en ciertos cruces se puedan producir interferencias con peatones u otros medios de transporte. La explotación de este sistema de transporte incluye ciertos elementos: sistemas propios de señalización, procedimientos de explotación semiautomática que incrementan el bajo costo de

inversión y disminuyen la flexibilidad de funcionamiento que caracterizan las líneas de autobuses convencionales. (Gonzales , 2007)

## B.2 Autobuses accionados por energías limpias

Dentro de esta categoría se incluyen todos los autobuses que o no utilizan el diésel, se encuentran los autobuses eléctricos, los accionados por biocarburantes (aunque normalmente sólo llevan un pequeño porcentaje de estos biocombustibles), gas natural y GLP (gases licuados de petróleo). Su principal ventaja es la importante eliminación, de la contaminación atmosférica de las ciudades, y la disminución del ruido generado. (Gonzales , 2007)

## B.5 Monorriel

Es un modo de transporte propulsado por un motor eléctrico rotativo guiado sobre neumáticos, que presenta una infraestructura de soporte exclusiva. Se caracteriza por su flexibilidad para adaptarse a recorridos sinuosos, con muy pequeños radios de curvatura, fuertes pendientes y la posibilidad de utilizar el espacio superior de una carretera sin tener que competir por los usos del suelo. (Gonzales , 2007)

### 1.1.3 Externalidades del transporte público urbano.

El transporte vehicular en las últimas décadas se convertido en el modo de transporte dominante, desplazando al ferrocarril a un segundo plano, generándose los problemas de congestión y de externalidades negativas asociadas al tráfico, que han vuelto a poner el interés en la implementación de los sistemas ferroviarios. El transporte actual, genera costos al estado que están dados por sus externalidades, a continuación, se indicara fundamentalmente las siguientes:

- Ruido.
- Contaminación atmosférica (emisiones):
  - SO<sub>x</sub>, óxidos de azufre
  - CO<sub>2</sub> y CO, dióxido de carbono y monóxido de carbono.
  - NO<sub>x</sub>, óxidos nitrosos.
  - HC, hidrocarburos producidos por combustión incompleta.
  - Material particulado, provenientes de neumáticos, pastillas de freno, etc. que se encuentran en la atmósfera.
- Accidentalidad.
- Contaminación visual.
- Consumo de energía. (Miltón, 2011)

### 1.1.2 El círculo vicioso del transporte urbano

El transporte posee una fuerte influencia en la vida cotidiana de las personas, condicionando en gran medida los procesos de integración de la ciudad. Comprender los desplazamientos que se dan, significa también comprender la ciudad y a quienes la habitan, tomando en cuenta sus necesidades, percepciones, opiniones, etc. Pero el problema es que al incrementar la capacidad del transporte se promueve simultáneamente la expansión urbana a sectores periféricos, y al reducir la densidad, se limita la eficiencia del sistema transporte público y se fomenta el uso del automóvil. Nace así un círculo vicioso de expansión urbana y congestión, que pone en jaque el desarrollo del transporte en la ciudad y condiciona el abanico de posibilidades. (Miltón, 2011)

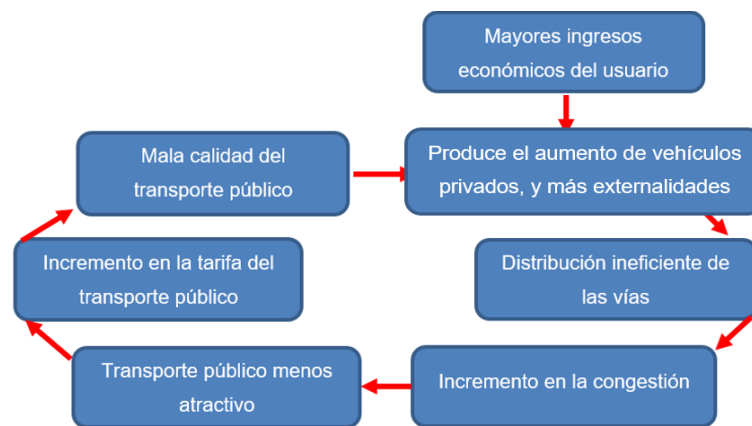


Figura N° 1.1 Círculo vicioso del transporte

Fuente Buchanan, c, 1964

La figura n° 1.1 muestra, que el aumento en el nivel de vida produce un alza en la tasa de motorización, aumentando las externalidades y la congestión vehicular, y disminuyendo la utilización del transporte público. La congestión vehicular impacta en el transporte público disminuyendo su velocidad comercial, aumentando de los tiempos de viaje provocando una caída en la clientela, y un déficit económico que la empresa deberá cubrir aumentando la tarifa.

## 1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL

El transporte público en las grandes ciudades como Lima, Arequipa, Piura y otras, no viene cumpliendo con las principales características que todo sistema de transporte debería poseer, es decir, que sea económico, rápido, seguro, confortable, accesible y con una adecuada capacidad de transporte (Fritz y Voigt, 1964). El problema del transporte urbano, está totalmente relacionado al proceso de urbanización. Por eso, la falta de una planificación urbana, más el crecimiento de la industria, tuvieron como efecto el crecimiento acelerado de las ciudades sin

el desarrollo de la correspondiente infraestructura y equipamiento del transporte, además la forma de producción industrial moderna, hace que las ciudades se densifiquen y se vuelva crítico la generación de nuevos espacios físicos, propios, e infraestructuras para el transporte. Entonces como solución a los diversos problemas de transporte, en el mundo se están implementando diversos tipos de sistemas de transporte masivo como son: Trenes de cercanías, metros subterráneos, metros elevados, monorrieles, tranvías modernos (light rail transit, LRT), buses de tránsito rápido (BRT), cuya elección obedece a diversos criterios de selección. Por lo tanto; Los servicios de transporte en las ciudades, adolecen de muchas deficiencias formales y estructurales que producen, congestión, pérdida de Tiempo y contaminación (Externalidades). Entonces como parte de la solución a esta problemática que se dan en las ciudades como Lima y Arequipa se plantearon soluciones como La Línea 1 del Metro de Lima y el Monorriel de Arequipa, y en función a los estudios realizados para la implantación de estos dos tipos de sistemas de transporte público Masivo. Se formula la siguiente pregunta ¿Cuál de estos dos tipos de sistemas de transporte urbano masivo, cuyo costo y tiempo de construcción, viene a ser la mejor opción para su implantación en las ciudades?

Este trabajo de suficiencia profesional abarcará los estudios de costos y tiempo de construcción, de los dos sistemas de transporte masivo, el primero de tipo Monorriel con vía elevada y el segundo un Metro con viaducto elevado.

### 1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

#### 1.3.1 Objetivo principal

Analizar el costo y tiempo de construcción del "sistema de transporte masivo tipo Monorriel sobre vía elevada" y el " sistema de transporte masivo tipo Metro sobre viaducto elevado ", que son parte de una solución a los problemas del transporte público actual en varias ciudades.

#### 1.3.2 Objetivos secundarios

- Realizar un análisis comparativo de la demanda entre el monorriel con vía elevada y el metro sobre viaducto elevado.
- Realizar un análisis comparativo del costo de ejecución entre el monorriel con vía elevada y el metro sobre viaducto elevado.
- Realizar un análisis comparativo del tiempo de construcción entre el monorriel con vía elevada y el metro sobre viaducto elevado.

## CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

La planificación es la fase fundamental del proceso de desarrollo y organización del transporte, pues permite conocer los problemas, diseñar o crear soluciones y, en definitiva, optimizar y organizar los recursos para enfocarlos a atender la demanda de movilidad, y en ella hay que destacar la importancia de asignar en los presupuestos los recursos necesarios para su realización. En la planificación del transporte no hay objetivo único, sino que en general hay varios, cuya finalidad es la obtención de un sistema de transporte eficiente, concordante con el desarrollo urbano, en que se reduzca o se eviten la secuela de consecuencias negativas que suele caracterizar la circulación tanto de vehículos como de peatones. Por la amplitud de objetivos y por involucrar una gama considerable de variables del desarrollo urbano referido, la planificación de transporte es parte importante del proceso continuo de planificación urbana general.

Las principales líneas de trabajo del planificador son:

- Conocimiento de los diferentes medios de transporte y sus características
- Analizar la demanda existente de cada modo de transporte.
- Planificar las redes y su relación con el entorno (paradas, rutas y frecuencia)
- Diseñar sistemas de prioridad para el transporte público
- Analizar las necesidades de las estaciones (servicios, accesos, localización, etc.)
- Estudio de impacto vial
- Estrategias y planificación de transporte público

La planificación del transporte se compone de diversos problemas y procedimientos, que varían con el tipo de necesidad a satisfacer (por ejemplo, ubicación de una ruta, planificación de un sistema público o la integración de diversas modalidades de transporte en el área urbana, etc.). La planificación y la ejecución de los planes siguen un patrón general, de acuerdo con las etapas que se describen a continuación:

#### 2.1.1 Identificación

Comprende el diagnóstico situacional, la definición del problema y sus causas, por ejemplo, un caso de congestión, una intersección con elevado índice de accidentes, etc.

#### *2.1.1.1 Diagnóstico de la situación actual*

Comprende un diagnóstico detallado de las condiciones actuales y pasadas, de los sistemas de transporte en estudio, basado en fuentes de información primaria, con evidencias cuantitativas, cualitativas, fotográficas, etc. (Ministerio de Economía y Finanzas , 2018)

#### *2.1.1.2 El área de influencia y área de estudio*

Una vez definido el área de influencia y de estudio, se analiza las características más relevantes del área donde se localiza el problema, el transporte actual y donde se ubicará el nuevo sistema de transporte. Asimismo, se identifica y caracteriza los peligros (tipología, frecuencia, severidad) que afectan la zona en donde se ubica la infraestructura existente y la proyección del nuevo sistema de transporte masivo, respectivamente (Ministerio de Economía y Finanzas , 2018)

#### *2.1.2 Metas y objetivos de la planificación*

La meta debe tener una dirección y un propósito específicos. Los objetivos de la planificación representan la dirección que una sociedad regional, estatal o nacional desea moverse. Los objetivos sirven para lograr las metas: Ejemplo construyendo un metro (o no construyéndola), introduciendo un servicio programado de autobuses o adaptando un sistema que responda a la demanda.

#### *2.1.3 Estudios de demanda*

Con la demanda se establece un fondo de información a partir del cual se puede proceder a la planificación. Las cargas de tránsito que habrá de soportar un sistema son en buena medida, una función del uso del suelo y de la población. Los estudios determinan la historia del crecimiento y presentan el estado de la población, el uso del suelo, la industria, el comercio, los actuales sistemas de transporte y el uso que se hace de estos sistemas. (Ministerio de Economía y Finanzas , 2018)

#### *2.1.4 Análisis de la demanda*

Una vez establecida la demanda, el tránsito se distribuye entre las rutas y modalidades existentes. La capacidad actual (Oferta de transporte actual) se compara con la demanda actual y se nota el exceso o la falta de capacidad. En este punto se puede tomar en cuenta la elección de modalidades. La demanda del tránsito se proyecta al futuro; asignan las rutas y se analiza los excesos o deficiencias de capacidad.

#### *2.1.5 Análisis de la oferta*

Es la capacidad de transporte de usuarios, actuales y futuras, del sistema de transporte masivo, en base a estudios disponibles y de experiencias en el extranjero.

#### 2.1.6 Análisis técnico, planeamiento y costos.

Los sistemas de transporte masivo seleccionados y que son objetos de este estudio, se estudiarán sus aspectos técnicos como: localización, funcionamiento, tamaño del sistema, tiempo y etapas de construcción, costos totales de construcción, costos e indicadores unitarios de obras civiles.

#### 2.1.9 Impacto Ambiental

Los sistemas de transporte masivo, en sus etapas de construcción y operación tienen diversos impactos ambientales positivos y negativos, que son identificados en los estudios de impacto ambiental, donde se proponen programas de medidas de control y monitoreo, los cuales son aplicados en las etapas de construcción y operación.

### 2.2 ESTRUCTURAS CIVILES DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE CON VÍA ELEVADA

Consiste en todas aquellas estructuras civiles diseñadas para la construcción para los sistemas de transporte con vía elevada, sea tipo monorriel y tipo metro.

#### 2.2.1 Cimentación en viaductos

El cimiento es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas al terreno, debido a que la resistencia y rigidez del terreno suelen ser inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de las áreas de todos los pilares y muros portantes (estructura vertical).

Las cimentaciones de los viaductos pueden ser superficiales o profundas. Las superficiales mediante zapatas, están limitadas al caso de suelos suficientemente compactos y resistentes o de rocas, fuera del alcance de la socavación del río. Lo más usual, en el caso de los viaductos, es que las capas superiores del terreno no sean capaces de soportar las cargas, y que el peligro de socavación sea alto, recurriéndose entonces a cimentaciones profundas, que suelen ser pilotes.

Existen varios tipos de cimentaciones, los cuales dependen entre otras cosas de su forma de interactuar con el suelo, esto es, la manera en que transmiten al suelo las cargas que soportan, también dependen de su técnica de construcción y del material con que son fabricadas. (Benavides, 2012)



## 2.2.2 Tipo de cimentaciones para columnas y viaductos

### 2.2.2.1 Cimentaciones superficiales

Se realizan cuando desde el punto de vista técnico el terreno presenta características adecuadas para cimentar sobre él. Las zapatas se deben dimensionar para resistir las cargas mayores y reacciones inducidas de acuerdo con los requisitos de diseño del código que correspondan, se deben diseñar para resistir los efectos de las cargas axiales, cortes y momentos maximizados, además el tamaño (área de la base) de una zapata, se determina en base al esfuerzo admisible del suelo.

La clasificación de zapatas es muy amplia, pero según su forma de trabajo se puede clasificar como: aislada, combinada, corrida o continua y arriostrada o atada. (Benavides, 2012, pág. 32)

#### A.-Zapata aislada

En este tipo de zapatas el elemento estructural que transmite los esfuerzos será la columna, pudiendo ser éste de concreto o metálico, esta columna debe iniciar desde el centro geométrico de la base de la zapata. Por lo general en columnas de concreto armado se deberá dejar una armadura vertical saliente de la zapata para unión con la armadura de la columna, y se produzca la transferencia de esfuerzos a la zapata. (Benavides, 2012, pág. 33) (ver figura 1 en el anexo 1)

#### B.- Zapata combinada

Son aquellas fundaciones que soportan más de una columna, se realiza cuando se tienen dos columnas muy juntas o cuando existe una columna exterior que está muy cerca al límite de propiedad. El punto de aplicación de la resultante de las cargas actuantes debe coincidir con el centro de gravedad de la zapata combinada para poder considerar una reacción uniforme repartida del terreno. (Benavides, 2012, pág. 33) (ver figura 1 en el anexo 1)

#### C.- Zapata corrida

La zapata corrida es una zapata continua que servirá como cimentación generalmente a un muro de concreto armado. El elemento estructural que transmitirá los esfuerzos a la cimentación es el muro. Esta solución es muy apta tanto para edificios residenciales como industriales con sótanos que requieran de muros de contención. (Benavides, 2012, pág. 34) (ver figura 1 en el anexo 1)

### 2.2.2.1 Cimentaciones profundas

Estas cimentaciones se usan cuando el terreno firme no se encuentra en la superficie sino a mayor profundidad, la cimentación profunda más usada es la

cimentación por pilotes y se construyen en una gran variedad de tamaños, formas, y materiales de acuerdo a las necesidades estructurales, para el cual hacemos la siguiente clasificación:

A.- Según su forma de trabajo:

- Pilotes rígidos de primer orden. Aquellos cuya punta llega hasta el firme transmitiéndole la carga aplicada a la cabeza. La acción lateral del terreno elimina el riesgo de pandeo.
- Pilotes flotantes. Aquellos cuya punta no llega al firme, quedando hincado en el terreno suelto y resistiendo por adherencia, su valor resistente es función de la profundidad diámetro y naturaleza del terreno. Se sitúan en terrenos de resistencia media baja y transmiten su carga por fricción, a través del fuste.
- Pilotes semi-rígidos. Aquellos cuya punta llega hasta el firme, pero éste está tan profundo, o es tan poco firme, que el pilote resiste simultáneamente por punta y por adherencia. (Benavides, 2012, pág. 35)

B.- Según el sistema constructivo:

- Pilotes prefabricados hincados, ejecutados a base de desplazamiento del terreno.
- Pilotes perforados, ejecutados a base de extracción de tierras y relleno de concreto armado. (Benavides, 2012, pág. 35)

C.-Según la sección del pilote:

- Micro pilotes: Diámetro menor de 200 mm, se emplean en obras de recimentación.
- Pilotes convencionales: Diámetros de 300 a 600 mm.
- Pilotes de gran diámetro: Diámetro mayor de 800 mm.
- Pilotes pantalla: De sección rectangular. (Benavides, 2012, pág. 35)

La figura 2 en el anexo 1, muestra de cómo los pilotes rígidos tienen que llegar al lecho de roca.

### 2.2.3 Columnas

La columna es un elemento sometido principalmente a compresión, y el diseño está basado en la fuerza interna, además debido a las condiciones de las columnas, también se diseñan por flexión, de tal forma que la combinación generada se denomina flexo compresión. (Benavides, 2012, pág. 36)

La compresión es el principal factor que determina el comportamiento del elemento, es por ello que el pre dimensionado de columnas consiste en determinar las dimensiones que sean capaces de resistir la compresión que se aplica sobre el elemento, así como una flexión que aparece en el diseño debido a diversos factores, cabe destacar que la resistencia de la columna disminuye debido a efectos de geometría, lo cuales influyen en los tipos de falla, y dentro de los requisitos fundamentales de una estructura o elemento estructural están: equilibrio, resistencia, funcionalidad y estabilidad. Las columnas o pilares se pueden clasificar según su forma: Pilar en T, Pilar columna, Pilar de dos columnas, Pilar de tres columnas, Pilar tipo Placa y Pilar tipo Pórtico. (Benavides, 2012, pág. 36) (ver figura 3 en el anexo 1), se puede visualizar un esquema con estos tipos de columnas.

#### 2.2.4 Vigas longitudinales del viaducto

Son estructuras paralelas al eje horizontal, de concreto armado cuya función es soportar las cargas y transmitir las a las columnas. Para el caso de las vigas del viaducto, estas están sometidas a grandes cargas y que tengan resistencia a la tracción. En el campo de la ingeniería civil se conoce que la resistencia del concreto a la tracción es muy baja, y por eso es necesario que el concreto tenga una armadura de acero para contrarrestar este inconveniente. Sin embargo, si las cargas a soportar son más altas de lo que puede soportar el concreto armado convencional, es necesario usar otros métodos de diseño. El pre esforzado es una solución que permite un rango de cargas más amplio, con ventajas adicionales de deflexiones pequeñas y una durabilidad mucho mayor, y la posibilidad de cubrir mayores luces para una misma altura (Benavides, 2012, pág. 39).

El principio básico del pre esforzado consiste en aplicar una fuerza de compresión en la sección, que contrarreste los esfuerzos de tracción producidos por la flexión. Este pre esfuerzo es aplicado generalmente mediante una fuerza excéntrica producida por un cable paralelo o con inclinación ligera respecto al eje del elemento, los cables de acero de alta resistencia son denominados tendones, y pasan a lo largo del elemento transmitiendo la fuerza, generalmente en los extremos; pueden ser alambres o hilos individuales (usualmente de diámetro 5mm) o torones trenzados de 7 hilos (generalmente de diámetros de 3/8, 1/2 o 5/8 pulgadas), y según el momento de aplicación del pre esfuerzo al concreto se consideran de dos clases: concreto pretensado y concreto postensado (Benavides, 2012, pág. 39).

#### 2.2.4.1 Vigas pretensadas

Los tendones en el concreto pretensado están adheridos al concreto a lo largo del elemento, y transmiten su fuerza por adherencia. Para construir un elemento pretensado es necesario primero mantener tensionados los tendones o alambres entre anclajes externos, y luego vaciar el concreto hasta que haya endurecido; entonces se pueden liberar los tendones y se produce la transmisión del pre esfuerzo al elemento. (Benavides, 2012, pág. 40) (ver figura 4 en el anexo 1)

#### 2.2.4.2 Vigas postensadas

Son aquellas que después del vaciado y endurecimiento del concreto, se introducen esfuerzos de compresión mediante una armadura especial, y una vez tensados los cables, conforman la armadura de postensado. Este procedimiento de comprimir el concreto antes de su puesta en servicio, genera que las tracciones por las sobrecargas se transformen en una pérdida de la compresión previa, evitando así que el concreto trabaje a tracción. (Benavides, 2012, pág. 41) (ver figura 5 en el anexo 1)

#### 2.2.5 Concreto para estructuras del Viaducto.

El concreto es la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, aire y agua, Estos componentes del concreto para su diseño pasan por ciertas pruebas de ensayo, como son

- El agregado fino se somete a ensayos de contenido de sustancias perjudiciales, granulometría.
- El agregado grueso se somete a ensayos de durabilidad, granulometría, abrasión.
- El agua debe estar libre de impurezas y con óptima calidad del concreto y el contenido de ion cloruro. (Benavides, 2012, pág. 42)

Una vez teniendo los resultados de ensayo y aplicando las normas de diseño, se procede a realizar la mezcla, donde el cemento y agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, y constituyen un material homogéneo, además en algunas oportunidades de acuerdo a un diseño requerido lleva algún aditivo.

#### 2.2.6 Superestructura ferroviaria de vía permanente

Se define como superestructura ferroviaria de vía permanente al conjunto de elementos que permiten el adecuado tránsito de los trenes por la vía, dentro de los marcos de seguridad y confort. La Superestructura está constituida por la vía

de rieles, los durmientes, el balasto y todos los elementos menores de fijación que se instalan sobre el viaducto elevado. (Soto, 2015, pág. 47)

#### 2.2.6.1 Rieles

Son perfiles de acero laminado que colocados uno a continuación de otro, en dos líneas paralelas sobre durmientes u otros soportes adecuados, constituyen el camino de rodadura de los vehículos ferroviarios, y cumple con los siguientes propósitos:

- Resistir directamente las tensiones que recibe el material rodante y transmitir las, a su vez, a los otros elementos que componen la estructura de la vía.
- Realizar el guiado de las ruedas en su movimiento.
- Servir de conductor de la corriente eléctrica para la señalización y la tracción en las líneas electrificadas. (Soto, 2015, pág. 47)

#### 2.2.6.2 Manta de Lana de Roca

Es la manta elástica protectora de balasto especialmente concebida para aplicaciones bajo balasto, y está constituida en dos partes

- La primera es una manta de material inorgánico, cuenta con resistencia a entornos agresivos y fatiga, posee propiedades anti vibratorias y de aislamiento, de 23 mm de espesor promedio
- La segunda es una capa de geotextil para protección de la manta contra la penetración del balasto. El geotextil (no tejido) es de tipo NW26 o similar y es fabricado en rollos estándar de 3.2mx55. (Soto, 2015, pág. 48).

#### 2.2.6.3 Balasto

El balasto es un material constituido principalmente por piedra chancada que se coloca sobre la plataforma envolviendo a los durmientes y cumple las siguientes funciones:

- Repartir uniformemente sobre la plataforma las cargas que recibe de los durmientes de forma tal que su tensión admisible no sea superada.
- Estabilizar vertical, longitudinal y transversalmente la vía.
- Amortiguar, mediante su estructura pseudo elástica, las acciones de los trenes sobre la vía.
- Proporcionar una rodadura suave a los trenes y un notable confort a los pasajeros.

- Proteger a la plataforma de las variaciones de la humedad debidas al medio ambiente.
- Facilitar la evacuación de las aguas de lluvia.
- Permite la recuperación de la calidad geométrica de la vía mediante operaciones de alineación y nivelación. (Soto, 2015, pág. 48).

#### 2.2.6.3 Fijaciones

Son los elementos que hacen posible la continuidad estructural de la vía ajustándose estrictamente a la función dada, engloban bajo esta denominación a los elementos de unión del riel a los durmientes, sus principales funciones son:

- Fijar los rieles a los durmientes.
- Asegurar la invariabilidad del ancho de la vía.
- Facilitar la transferencia a la infraestructura de las acciones estáticas y dinámicas ejercidas por el material rodante sobre la estructura de la vía. (Soto, 2015, pág. 49)

#### 2.2.6.4 Durmiente

Es el componente transversal de la vía férrea que transmite al balasto la carga aplicada a los rieles y, junto con la fijación riel/durmiente, controla la trocha, para el caso de la Línea 1 del metro de Lima se utilizó, durmientes de concreto pretensado tipo monobloque y son durmientes constituidos por un elemento de concreto sometido a tensiones previas de compresión. (Soto, 2015, pág. 49)

## CAPITULO III: SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO

### 3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

#### 3.1.1 En el Mundo y Latinoamérica

La Revolución Industrial trajo consigo una serie de cambios en la vida de los habitantes de toda Inglaterra, Europa y progresivamente el resto del mundo. A medida que se desarrollaba la industria en las ciudades, crecían las zonas de producción y las zonas urbanas, entonces surgió la necesidad de desplazar grandes masas de trabajadores de forma diaria y constante, se fue forjando la idea de crear un medio de locomoción rápido, sin obstáculos, de gran capacidad de viajeros, que tuviese una frecuencia de paso adecuada y que dicho sistema no interfiriera el desarrollo urbano e industrial de la ciudad.

En 1843, el inglés Charles Pearson propuso, como parte de un plan de mejora para la ciudad de Londres, abrir túneles subterráneos con vías férreas. En 1853, tras 10 años de debates, el parlamento inglés autorizó la propuesta y se inició la construcción. (ver figura n° 3.1 )

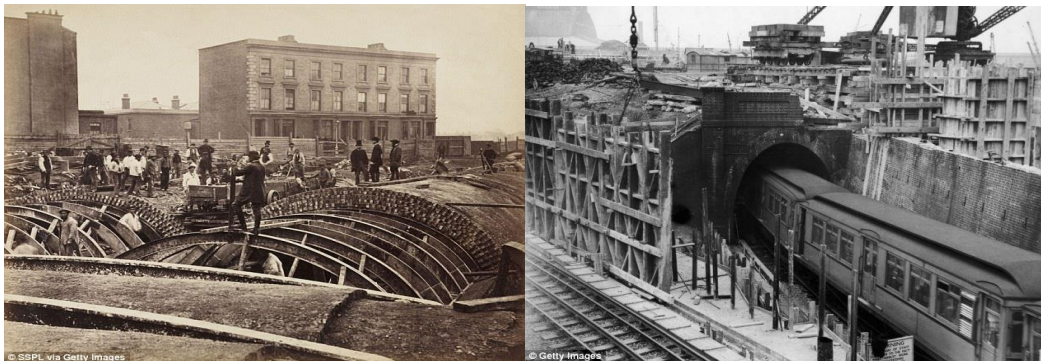


Figura N° 3.1 Metro de Londres, construido por el método Cut and Cover.

Fuente: Internet

El 10 de enero de 1863 opero la primera línea de metro con locomotoras de vapor, este fue el primer metro subterráneo del mundo inaugurado con 6 kilómetros de longitud. El metro, creado en Londres, solventaba las necesidades de transporte de la ciudad metropolitana, la correcta conexión entre el espacio urbano y el sistema ferroviario, que era fundamental para garantizar el éxito de ambos pues no debían entorpecerse ni separarse. En 1865, Nueva York fue la siguiente ciudad en tener metro, pero con viaducto elevado. En 1896, Budapest y Glasgow fueron las siguientes ciudades europeas en disponer de metro. La tecnología se extendió rápidamente a otras ciudades en Europa y en los Estados Unidos, donde un elevado número de sistemas se han construido. (Viana Suberviola, 2015)

A finales del siglo XIX se realizaron esfuerzos por crear ferrocarriles no convencionales, comenzaron con el objetivo de lograr mayor eficiencia, mayor velocidad y menor costo, creándose un sistema ferroviario similar: el Monorriel, el cual es una variante del metro con un solo riel proyectado sobre un viaducto o suspendido de él, suelen ser de menor tamaño que un metro convencional, lo cual provoca menor impacto visual; pero transporta menor número de pasajeros por vagón y trayecto. Destaca por el escaso impacto sonoro que produce, así como su versatilidad para ascender y descender por pendientes mayores que las soportadas por el metro convencional o el ligero.

En 1901, Wuppertaler Schwebebahn, Alemania, entra en operación el primer monorriel del mundo. (ver figura n° 3.2)



Figura N° 3.2 Monorriel del tipo suspendido, Inició operaciones en 1901

Fuente: Internet

En 1957, Ueno Zoo, Tokio, entro en operación el segundo monorriel del mundo y este fue el inicio para que Japón sea el país donde exista la mayor cantidad de líneas de monorriel y en el resto del mundo comenzaran a incluir al monorriel dentro de sus proyectos de transporte urbano masivo. A partir del siglo XX comenzó la expansión de los sistemas de transportes masivos (metros subterráneos, metros elevados, monorrieles, trenes ligeros y buses articulados) por Latinoamérica, Oceanía, África y Asia, donde el crecimiento ha sido más grande en los últimos años.

El primer tren subterráneo en Latinoamérica fue el de la ciudad de Buenos Aires, inaugurado en 1913. Más de cinco décadas después, en 1969 la Ciudad de México inauguran 3 líneas de Metros. Le siguen en Brasil las redes de metro de São Paulo en 1974 (El metro con más líneas de Sudamérica) y Río de Janeiro en 1979.

Actualmente, la ciudad de Sao Paulo, Brasil, se encuentra trabajando en la implementación de una red importante de monorrieles donde se han aprobado la construcción de las líneas 15,17 y 18, La línea 15 de 26 kilómetros inició su



construcción en el 2010, fue inaugurado el 30 de agosto de 2014 y durante 11 meses, la línea funcionó en horarios reducidos a modo de prueba y sin cobro de tarifas. El 10 de agosto del 2015 se inició la operación del primer tramo, y actualmente está en construcción el tramo 2. (ver figura n° 3.7)

### 3.1.2 En el Perú

En el Perú en 1986, en Lima se inicia la construcción del llamado Tren Eléctrico, actualmente Línea 1 del Metro de Lima con un viaducto elevado en el sur de la capital del Perú y fue desarrollado parcialmente durante el primer gobierno del presidente Alan García Pérez. No obstante, el proyecto fue detenido durante los subsiguientes gobiernos.

El proyecto se retomó y el 5 de abril del 2012 inicia la operación comercial del primer tramo de la línea 1 del Metro de Lima y el 12 de mayo del 2014 se inauguró el segundo tramo. (Kohon, 2015). (Ver figura n° 3.5)

En el año 2013, la agencia de cooperación Internacional del Japón (JICA) realizó la actualización de una serie de estudios de tránsito, incluyendo encuestas de viaje personal, realizando entrevistas a hogares en el área metropolitana de Lima y Callao, denominado; El plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao (PMTU – 2025), cuyo año objetivo, 2025, donde se plantea las rutas troncales y una sexta línea transporte masivo de mediana capacidad del tipo monorriel que se sumaría a las 5 líneas de metros planteadas por el MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) (La figura 3.6 Muestra la red actual)



Figura N° 3.3 Red básica del Metro de Lima

El 28 de julio del 2010, inicia las operaciones del Metropolitano, es la ruta troncal denominada COSAC I (Corredor Segregado de Alta Capacidad), es una ruta

segregada que cuenta con 38 estaciones y una extensión de 36 km que está complementada con rutas alimentadoras.

En otras ciudades del Perú existen muchos proyectos, algunas con iniciativas privadas y otras en proceso, como es el caso de Arequipa. En el año 2000, la Municipalidad Provincial de Arequipa, ha realizado estudios a través de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Y en el 2011, se abre una convocatoria de licitación pública especial para la concesión de la operación del servicio urbano masivo de pasajeros del SIT. Para ese entonces se había planteado ya dos rutas troncales por donde circularían Buses de Tránsito Rápido (BRT), llamado el Mistibus. El proyecto del Mistibus, tuvo muchos inconvenientes económicos, y por ende demoras en su construcción, por eso, en agosto de 2012, la Municipalidad Provincial de Arequipa firma un convenio con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para la implementación del SIT. El 21 de octubre del 2013 el Gobierno Central, a través de Pro Inversión, publica el documento IP-023-2013, de iniciativa privada cofinanciada para el proyecto “Sistema de Transporte Rápido Masivo del tipo Monorriel para el Área Metropolitana de Arequipa”, que daría inicio a los estudios básicos (ver Figura N° 3.8), los estudios fueron finalizados y sin embargo, no se construyó, a consecuencia del impacto visual que podría generar las estructuras del Monorriel. (ProInversión, 2012)

### 3.2 EL TRANSPORTE PUBLICO URBANO MASIVO

El transporte ferroviario metropolitano es una posible solución a los problemas de congestión de las ciudades, pero su implantación es cara, cuyo costo depende de la capacidad y tecnología del transporte, como toda implantación de este sistema de transporte, es necesario estudios de demanda y hacer un análisis de alternativas de mayor o menor viabilidad económica.

#### 3.2.1 Tipos de sistemas de transporte urbano masivo de pasajeros.

##### 3.2.1.1 Metro

El metro es un sistema de trenes urbanos ubicado dentro del área metropolitana de una ciudad, se caracteriza por ser un transporte masivo de pasajeros en las grandes ciudades, uniendo diversas zonas y sus alrededores, con alta capacidad y frecuencia, de forma segregada a otros sistemas de transporte. Este sistema de transporte es más rápido y con mayor capacidad que el tranvía o metro ligero, pero no supera la velocidad, ni cubre distancias de largo alcance como el tren sub

urbano o de cercanías. El metro es construido en las grandes ciudades por su capacidad para transportar grandes cantidades de personas en distancias cortas con rapidez, con el uso mínimo de la superficie urbana. Este tipo de servicio que se presta es perfectamente independiente y distinguible, a diferencia de otros modos de transporte urbano. En la actualidad de acuerdo a la demanda de pasajeros por hora y dirección en cada ciudad se construyen varias líneas de trenes o tienen proyectos a futuro. Los servicios del metro normalmente se integran con otros modos de transporte público y, a menudo, son operados por las mismas autoridades. (Gonzales , 2007). Por lo tanto, según el proceso constructivo, costo y el tiempo de ejecución e impacto ambiental podemos clasificarlos de la siguiente manera.

- *Metros Subterráneos.*

Se le conoce de esa manera porque tanto su vía férrea y sus estaciones son subterráneas (ver figura 3.3). Su proceso de construcción no impacta mucho en la sociedad y en la etapa de operación no genera ningún impacto visual, ni en la sociedad respecto a las expropiaciones en su trazo, sin embargo, su costo y tiempo de construcción, es mucho mayor en comparación con los metros elevados. En el Perú, actualmente se realiza la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima (ver figuras 3.10), y se encuentran en estudios las Líneas 3, 4 y 5, del Metro de Lima.



Figura N° 3.4 Excavación del túnel para la Línea 2 del metro de Lima.

- *Metros Elevados*

Se le conoce así porque su vía férrea se encuentra sobre un viaducto elevado y sus estaciones son elevadas. Su proceso de construcción impacta en la sociedad, porque en general, se construyen en los ejes de las avenidas, causando el cierre parcial de las avenidas durante la construcción, encontrándose con muchas interferencias y expropiaciones para su construcción. Pero, aun así, el tiempo de construcción y el costo por kilómetro

construido es mucho menor, en comparación al metro subterráneo, asimismo, en la etapa de operación genera un impacto visual en la sociedad. En el Perú, la Línea 1 del Metro de Lima es de estas características, el cual será analizado en este trabajo de suficiencia profesional.



Figura N° 3.5 Línea 1 metro de Lima, vía férrea, anden y estación elevada.

- *Metros con tramos subterráneos y elevados (Cominados)*

Se le conoce así porque es la combinación de los metros subterráneos y elevados, la decisión se basa de acuerdo a los criterios técnicos y sociales. En Panamá la Línea 1 del Metro de ciudad de Panamá tiene tramos subterráneos y elevados (ver figuras 3.6)

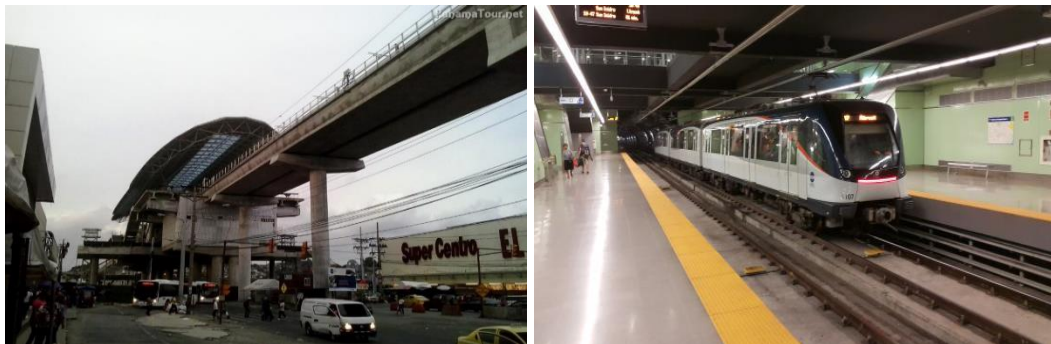


Figura N° 3.6 Línea 1 Metro de Panamá.

### 3.2.1.2 Monorriel

Es una variante del metro con solo un riel proyectado sobre un viaducto elevado o suspendido de él. (Viana Suberviola, 2015). Suelen ser de menor tamaño que un metro convencional, sin embargo, se están desarrollando proyectos como el monorriel de Sao Paulo cuya capacidad de transporte son como del metro convencional y cuando se haya completado será el sistema de monorraíl de más alta capacidad del mundo, diseñado para transportar 48.000 (personas/hora/dirección). Esto reducirá el tiempo de viaje de dos horas a sólo 50 minutos con un máximo de 550.000 pasajeros diarios. Que se integrará al sistema de metros de la ciudad (ver figura n° 3.7). El monorriel destaca por el escaso

impacto sonoro que produce (debido a sus ruedas de goma), así como por su versatilidad para ascender y descender por pendientes mayores que las soportadas por el metro convencional o el ligero (este último genera mayor impacto sonoro a consecuencia de las vibraciones producidas por los esfuerzos producidos a consecuencia del paso de los trenes, a pesar de que el balasto amortigua las vibraciones y disipa la energía). Son sistemas de transporte altamente seguros, aunque en el hipotético caso de una emergencia, la evacuación de los pasajeros está muy condicionada. Por lo general los monorrieles son elevados, porque ocupan menos espacio en el suelo, que se limita prácticamente a los pilares de apoyo. (Pasqualetto & De Souza, 2014)



Figura N° 3.7 Monorriel de Sao Paulo.

En el Perú este tipo de sistemas también están considerados, como son:

- Sistema Rápido Masivo del Tipo Monorriel para la Ciudad de Arequipa
- Este sistema fue estudiado y desarrollado a nivel de factibilidad por Pro inversión y la empresa privada, pero después de 2.5 años de estudios, el 30 de diciembre Pro Inversión desechó la propuesta de instalación de este sistema, el documento oficial solo indica no seguir con el proyecto, y no aclara los motivos por el cual se rechazó, sin embargo, según el colegio de arquitectos de Arequipa, manifestaron que es inviable, pues el trazo que bordea el centro histórico de Arequipa, pudo verse afectado visualmente por las estructuras civiles, generando que la UNESCO retire el título de como Patrimonio Cultural de la Humanidad. (ver figura n° 3.8)



Figura N° 3.8 Proyecto monorriel para la Ciudad de Arequipa.



- Línea 6 del Metro de Lima.

Según la agencia de cooperación internacional JICA, el plan maestro de transporte urbano de Lima con horizonte al año 2025 (PMTU-2025), no incluía un sector de la población, JICA encargada de un nuevo estudio propone una nueva ruta y en base a las conversaciones con el MTC, propuso la nueva ruta del estudio a lo largo de la Av. Universitaria y la Av. Angamos, este con relación al punto terminal de la parte norte, en la figura n° 3.9, se extrae un resumen del proceso de la selección de ruta y el escenario alternativo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

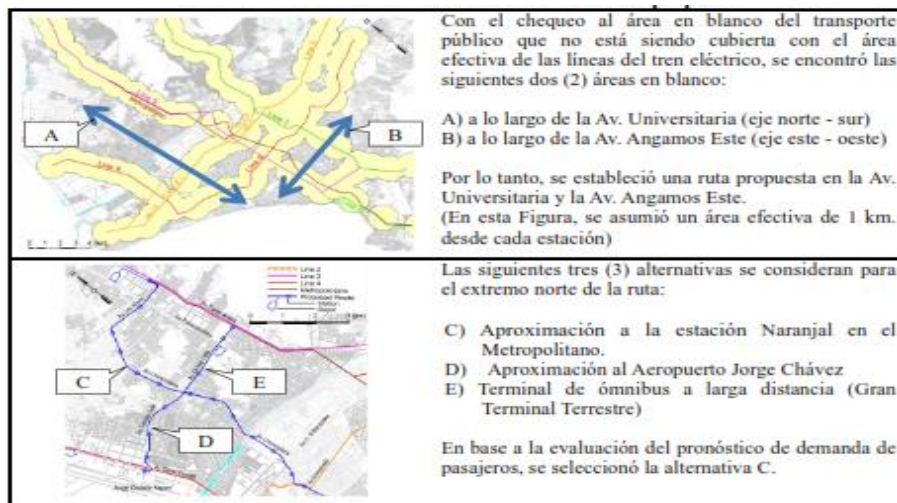


Figura N° 3.9 Propuesta de Monorriel Av. Universitaria Lima.

La figura n° 3.9 proviene del estudio de JICA, que propone un sistema de transporte de mediana capacidad. Los sistemas de transporte de media capacidad incluyen Metro Ligero, y Monorriel. Sugiriendo al monorriel como alternativa, pues puede hacer frente a un alto grado de la demanda, por lo que resulta ideal según las características del entorno urbano en Lima. Motivo por el cual el 10 de agosto del 2013, mediante Decreto Supremo N°009-2013-MTC, se modificó el Decreto Supremo N°059-2010-MTC, incorporando a la Red Básica del Metro de Lima, la Línea 6 el cual comprende: Av. Túpac Amaru, Av. Los Alisos, Av. Universitaria, Av. Bertolotto, Av. Pérez Aranibar (Ex Avenida del Ejército), Av. Angamos y Av. Primavera”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

### 3.2.1.3 Metro Ligero

A este medio de transporte, muchos lo describen como el tranvía moderno, es considerado como un sistema intermedio entre un tranvía y un metro convencional, llegando en ocasiones, a aproximarse hacia este último. Una de las ventajas que posee el metro ligero frente a otros medios de transporte ferroviario,

es su relativo bajo costo de construcción y operación. En algunas ciudades para bajar costos aprovechan infraestructuras existentes, así como la infraestructura de las calles (si se realiza el trazado en túnel o en viaducto, la inversión es entre 4 y 8 veces más cara que en superficie). En otras ciudades cuyo medio fundamental de transporte era el autobús, se acordó implantar el metro ligero en los recorridos de mayor afluencia, pero la implantación del metro ligero en las ciudades también implica modificaciones en las vías y en la circulación sobre ruedas, porque reduce el espacio de tránsito al peatón y a los vehículos, así como limita los espacios de aparcamiento y el nivel de acceso a los inmuebles. Para remediar esto, se debe reconfigurar el ancho de calzada, eliminar plazas de aparcamiento o, directamente, destinar determinadas vías o intersecciones para uso exclusivo de este medio de transporte. La demanda del metro ligero puede estar entre 2.000-20.000 pasajeros/hora/sentido y está presente en ciudades de población muy dispar, que van desde algunos miles de habitantes hasta varios millones. (Pasqualetto & De Souza, 2014). En el Perú existen ideas y conversaciones entre las empresas privadas y el Ministerio de Transporte, respecto a ideas de implementación de metros ligeros en ciudades como Arequipa, Trujillo, El Callao y Huancayo, de los cuales todavía no existe un comunicado de la viabilidad de alguno de estos proyectos. (ver figura n° 3.10 ).



Figura N° 3.10 Idea de un metro ligero para Trujillo.

#### 3.2.1.4 Buses de Tránsito Rápido (BRT)

Este sistema denominado BRT (en inglés, *Bus Rapid Transit*) resulta ser una solución a corto plazo basada en buses, con un corredor exclusivo, complementado por una reorganización del esquema actual y de la prestación del servicio, así como una adecuación de características de los metros a un sistema basado en buses (por ejemplo, pago de pasaje en estaciones, programación de los servicios mediante un centro de control, estaciones como componente central del sistema, entre otras características). La primera implementación de este

sistema fue en Curitiba en 1974, y una segunda en 1976 con los Buses de ENATRU S.A en Lima cuyo auge se dio en los años 80 y su fin en el año 1992 a consecuencia de los escenarios de economía y terrorismo en el Perú. Y en el año 2000 en Bogotá se construyó este tipo de sistema, pero a gran escala, tomando las mismas características de control de pasajeros como un metro. (Estaciones con andenes, puertas de andén, usos de torniquetes, entre otros)

A partir del sistema construido en Bogotá (El Trans Milenio ver figura n° 3.11), se ha visto un “boom” en América Latina y el mundo. En varias publicaciones se ha afirmado que esta opción llamada BRT es una opción muy eficiente de mejoría de los sistemas de transporte público en países en desarrollo con base en parámetros de capacidad, costo, tiempo de construcción y otras variables. (Felipe Pardo, 2009). En el Perú se aplicó este tipo de sistema BRT, llamado el Metropolitano (ver figura n° 3.11 ).



Figura N° 3.11 BRT, El Metropolitano y Trans Milenio

### 3.2.2 Diferencia entre los trenes metropolitanos y otros servicios de trenes.

La mayoría de ferrocarriles urbanos (metros, monorrieles, metros ligeros) basan sus sistemas de explotación en línea o recorridos con gran densidad de población. Ello, entre otras peculiaridades, obliga a diseñar estaciones de distancias cortas entre sí, evitando grandes desplazamientos de los ciudadanos. Esta primera premisa conceptual obliga al sistema de transporte, ofrecer velocidades comerciales altas y por tiempo de recorrido bajo, precisa de un material móvil con capacidad de enfrentar importantes aceleraciones y deceleraciones, a diferencia de otros tipos de sistemas férreos, en que las distancias entre estaciones son de varios o muchos kilómetros. Otras características que diferencian entre los trenes metropolitanos y los de cercanías, es que los primeros circulan en los cascos urbanos, además los coches o vagones de ambos son de menores dimensiones respecto al tren convencional. Pero, la necesidad de elevadas aceleraciones exige motorizaciones muy potentes en comparación con el tren convencional. De esta



manera, resulta que la clásica composición de un tren a base de una cabeza tractora y coches remolcados no es aplicable en los trenes metropolitanos y debe acudirse a composiciones formadas por, motor-motor, motor-remolque-motor, motor-motor-remolque-motor-motor, entre otros. Debe señalarse también que la alimentación eléctrica de los trenes metropolitanos es en base a corriente continua, a diferencia de los trenes de cercanías o inter urbanos que usan corriente alterna. (Melis Maynar & González Fernández, 2008)

## CAPITULO IV: CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN

### 4.1 CRITERIOS PARA LA TOMA DE DECISIONES

Esta sección tiene como finalidad, realizar un extracto de cuales son aquellos criterios generales de las diferentes tecnologías de transporte masivo de pasajeros, donde se tomarán valores de cuya referencia están de acuerdo a experiencias brasileñas. Para establecer un sistema de transporte se requiere planificación, pero para ello es necesario que se conozcan las características comparativas entre ellas.

En el cuadro n° 4.1, se muestra algunas características de los modos de transporte anteriormente mencionados, según el Manual de BRT del Ministerio de las Ciudades, de 2008 (BRASIL, Ministerio de las Ciudades, 2008):

Cuadro N° 4.1 Matriz de decisión de transporte público

Tecnología	Necesidades de Demanda	Ventajas	Desventajas
Metros Subterráneos o Elevados	Demanda alta a muy alta de pasajeros, 25 000 a 80 000 Pasajeros/hora-sentido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imagen superior para las ciudades</li> <li>• Altas velocidades comerciales</li> <li>• Atrae usuarios para transporte publico</li> <li>• Usa poco espacio público (M. Subterráneo)</li> <li>• Poca contaminación ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de infraestructura muy altos. (45-300US\$ millones/km)</li> <li>• Puede requerir subsidios operacionales</li> <li>• En las horas de baja demanda, hay baja recuperación de facturación.</li> <li>• Largos Periodos de construcción</li> <li>• Pero el M. elevado tienen menor tiempo de construcción, que el M. Subterráneo</li> <li>• La Línea 2 del Metro de Lima cuesta 135.4 US\$ MM/km</li> <li>• La Línea 1 de Metro de Lima costó 69.88 US\$ MM/Km</li> </ul>
Transporte de mediana capacidad (LRT) y monorriel	Demanda moderada a Alta de pasajeros, 8 000 a 35 000 Pasajeros/hora sentido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trae una buena imagen para las ciudades</li> <li>• Atrae público usuario se ajusta a rutas estrechas</li> <li>• Sistema silencioso</li> <li>• Se ajusta a rutas estrechas</li> <li>• Poca contaminación ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de infraestructura moderadamente altos (40-70 US\$ millones/km)</li> <li>• Puede recurrir a subsidios</li> <li>• Si son a nivel de superficie, generan efecto barrera o robo de espacios a la ciudad</li> <li>• EL Monorriel de Arequipa cuesta 59.26 MM US\$/Km</li> </ul>
Bus Rapid Transit (BRT)	Demanda Baja a moderada 3 000 a 15 000 pasajeros/hora-sentido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de la infraestructura es relativamente bajo</li> <li>• Por lo general no requiere subsidios</li> <li>• Facilidad de integración con los servicios alimentadores</li> <li>• Presentan una vía exclusiva</li> <li>• Metropolitano de Lima costo 8.33 MM US\$/Km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al presentar una vía exclusiva, disminuye el espacio vial para otros modos de transporte.</li> <li>• La vía exclusiva no garantiza la velocidad mínima comercial, pues en los cruces de vías puede sufrir interferencias por tráfico vehicular.</li> <li>• La vía exclusiva, no garantiza la seguridad y total independencia, pues existen casos de accidentes entre los vehículos del BTR y el vehículo que invadió la vía.</li> </ul>

Tecnología	Necesidades de Demanda	Ventajas	Desventajas
Ómnibus convencional	Demanda baja de pasajeros, 500 a 5 000 pasajeros/hora-sentido	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajos costos de infraestructura relativamente</li><li>• bajos costos operacionales</li><li>• Apropiado para ciudades con baja demanda</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baja capacidad para transporte de pasajeros.</li><li>• En Lima, predomina este modo de transporte, el cual no es de baja calidad y de alta sanción de inseguridad, generando un sistema atomizado y de poca capacidad de transporte.</li></ul>

Fuente: Cuadro elaborado por Pasqualetto Antôno y De Souza Fabio, (2008).

Para que los sistemas de buses sean atractivos, es necesario que tenga carriles exclusivos y segregados del tráfico en general. La gran ventaja de este sistema es el bajo costo de implantación y la flexibilidad para ajustarse a diversos itinerarios. Las condiciones viales y de tráfico de varias ciudades del Perú, como Arequipa, Cusco, Huancayo, Huánuco y centro de la ciudad de Lima, hacen extremadamente difícil su implantación, pues exige la segregación de dos pistas de tráfico general de las vías soporte, para ser ocupadas por la pista exclusiva de autobuses (como es el caso del Metropolitano). Considerando la escasez de vías con anchura de caja apropiada, sobre todo en las ciudades departamentales, se necesitarían innumerables expropiaciones para la implantación de esta modalidad. Otros modos de transporte (tranvía, LRT, etc.) que trafican al nivel del sistema viario, tendrán las mismas limitaciones que los autobuses en pistas exclusivas y, por lo tanto, poca atracción; en el caso que se utilice esta opción modal, esta impactaría en el flujo vehicular, pues la sección vial sería reducida. En cuanto al sistema metro, a pesar que las condiciones técnicas de implantación que se adecuan en casi todas las ciudades, esta implantación está sujeto a la demanda de pasajeros, tal es el caso que, en ciudades cuya población bordean el millón de habitantes (Arequipa, Chiclayo y Trujillo), cabe la posibilidad que no se justifique este modo de transporte, el mismo que está destinado a atender grandes flujos de pasajeros. Otro gran factor que contribuye a inviabilizar esta solución, es sobre todo el alto costo de implantación, el plazo relativamente largo de construcción y la exigencia de extensas áreas para albergar el patio de estacionamiento y mantenimiento. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

Por otro lado, la tecnología monorriel al ser un sistema de transporte de mediana capacidad e independiente del tráfico vehicular, podría responder a las expectativas operativas mencionadas. Ofreciendo un rango de capacidad que puede variar desde la utilización de dos hasta siete coches por composición, pudiendo acompañar el crecimiento de la demanda de acuerdo con la

implantación de los tramos y atiende a parámetros de diseños de trazado más favorables que aquellos tradicionales del metro convencional.

En el cuadro n° 4.2, se trazó una comparación directa del Monorriel con los sistemas de Metro, BRT y LRT convencional, utilizando datos del referido Manual de BRT del Ministerio de las Ciudades (BRASIL, Ministerio de las Ciudades, 2008) y otros.

Cuadro N° 4.2 Comparativo de los sistemas de transporte Masivo

SISTEMAS	BRT (BUS RAPID TRANSIT)	LRT (LIGHT RAPID TRANSIT)	MONORRIEL	METRO
Costo medio de ejecución (en US\$ millones / km) (sin considerar las externalidades)	0.5 a 14	15 a 45	40 a 70	45 a 350
Demanda de pasajeros (mil pasajeros/Hora-Dirección)	3 a 25	5 a 15	3 a 35 aunque el monorriel de Sao paulo está proyectado para 50	25 a 80
Velocidad comercial o media (Km/h)	20 a 30	20 a 30	25 a 35	25 a 35
Ruido en (db)	70 a 90	60 a 80	60 a 80	75 a 80
Vía	Exclusiva a Nivel del suelo, reduce el espacio de vía para otros modos de transporte	Exclusiva a Nivel del suelo, reduce el espacio de vía para otros modos de transporte	Exclusiva puede ser elevado, no reduce el espacio de vía para otros modos de transporte	Exclusiva puede ser elevado
Confort	Confort medio, pues sufre interferencias en los cruces de vías, frenadas por semáforos.	Confort medio, sufre frenadas en los semáforos.	Mayor confort, menor tiempo de trayecto y los pasajeros pueden apreciar el paisaje	Mayor confort, menor tiempo de trayecto.
Interferencias con el trafico	Alta	Alta	Ninguna	Ninguna
Costo de expropiaciones	Alta	Alta	Baja	Media/Baja
Interferencia durante la construcción	Alta	Alta	Baja	Media/Baja
Capacidad de atraer a usuarios de transporte individual	Baja	Baja/Media	Alta	Alta
Relación de emisión de carbono	Alta	Baja	Baja	Baja
Evacuación de pasajeros	Fácil	Fácil	Difícil	Moderada
Vida útil (años)	5	35	35	35
Plazo de implantación (años)	2	3 a 5	3 a 5	7

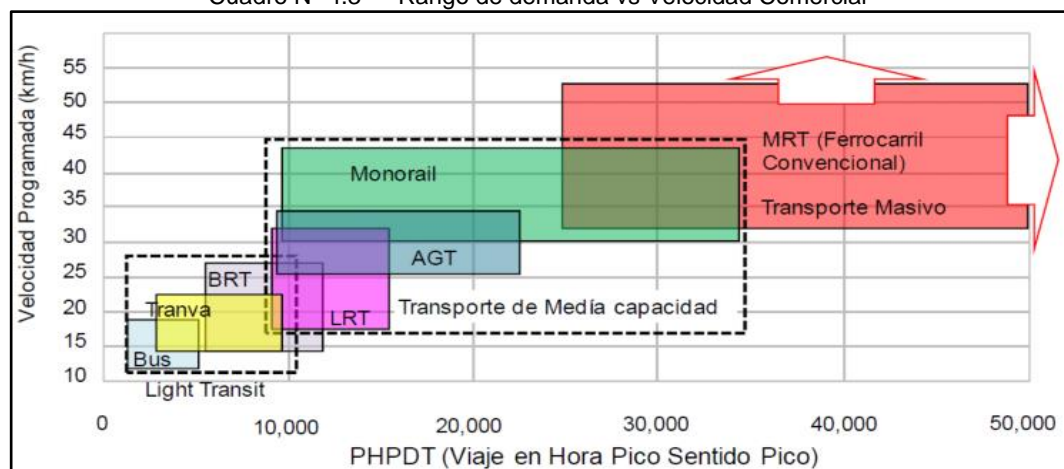
Fuente: Cuadro elaborado por Pasqualetto Antônio y De Souza Fabio, con base en datos Brasil (2008).

A través del cuadro n° 4.2, es posible establecer parámetros en cuanto a las características de los diferentes modos de transporte público urbano, sus ventajas

y desventajas. Por ejemplo, cuando comparamos el BRT con el Monorriel observamos que el costo promedio de implantación del segundo, es superior al primero, siempre y cuando no consideremos las externalidades. Si consideramos el costo con expropiaciones, tomando en cuenta que, en el BRT la necesidad de expropiación es más alta, el Monorriel podrá tener sus costos competitivos frente al BRT. Además, el monorriel ofrece mayor capacidad de transporte de pasajeros, mayor confort y velocidad, cero interferencias en el tránsito y para su funcionamiento al tener una fuente de energía eléctrica, permitiría una transición disminuyendo el consumo de energías fósiles, el cual transformaría la matriz energética, con significativos impactos ambientales. Según los estudios, el monorriel es una opción de transporte público eficaz y capaz de competir con ventajas sobre los sistemas BRT, Metro y LRT en cuanto capacidad, flexibilidad del sistema y, probablemente en costo, cuando se consideran las externalidades y demanda. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

A continuación, se presenta el cuadro n° 4.3, el cual nos indica el rango de demanda de carga optima vs la velocidad media o comercial de un sistema de transporte urbano.

Cuadro N° 4.3 Rango de demanda vs Velocidad Comercial



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión.

## 4.2 ANÁLISIS ENTRE EL METRO ELEVADO Y EL MONORRIEL

En este capítulo y los siguientes, se realizará el análisis comparativo de dos sistemas de transportes masivo, el primero la “Línea 1 del Metro de Lima” del tipo Metro elevado que en adelante lo denominaremos Línea 1 y el segundo denominado “Sistema Rápido Masivo del tipo Monorriel para la ciudad de Arequipa” que en adelante lo denominaremos El Monorriel.

### 4.2.1 Planteamiento de los sistemas

#### 4.2.1.1 Información general

Línea 1:

La Línea 1 del Metro de Lima – Perú, es un sistema rápido, seguro y conveniente sistema de transporte urbano masivo para el área metropolitana de Lima y las zonas periféricas de alta densidad con una moderna infraestructura de transporte destinada a movilizar a los habitantes. El área metropolitana de Lima comprende el área urbana de Lima y Callao, tiene una población de 9,111 millones de personas, que es aproximadamente un tercio de la población del país (INEI,2017). La línea 1 incluye dos tramos (tramo I y tramo II). El primer tramo abarca desde el distrito de Villa El Salvador (Estación Villa el Salvador) al centro de Lima (Estación Miguel Grau) cuya longitud es de aproximadamente 20,88 kilómetros y el segundo tramo se extiende desde el centro de Lima hasta San Juan de Lurigancho (Estación Bayovar), que cubre una longitud estimada de 12,8 km. El primer tramo tiene 16 estaciones y el segundo tramo tiene 10 estaciones, que en total proporcionan 26 estaciones a lo largo de los 33,28 km al integrar ambos tramos, formando así la llamada Línea 1 del Metro de Lima. El trabajo de construcción comenzó en 1986, pero poco después fue interrumpido por más de dos décadas, posteriormente se reanudó a principios del año 2010. Durante la primera etapa se construyeron los primeros 9,85 km que van desde la estación Villa El Salvador hasta la estación Atocongo. La segunda etapa comprende desde la construcción de la estación Atocongo hasta la sección de la Estación Grau, completando así el tramo I. En este tramo se realizaron varias actividades, entre ellas la reparación, rehabilitación y el mantenimiento de la infraestructura y del material rodante, a fin de garantizar la eficacia del proyecto. Adicionalmente, se inició la construcción del tramo II, desde la estación Grau hasta la estación Bayobar en San Juan de Lurigancho. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

El inicio de la operación comercial del tramo I se dio en abril de 2012 y del tramo 2 en abril 2014. La demanda del servicio al año 2013 era de 100.000 pasajeros por día, y se espera cubrir una demanda de 102 millones de pasajeros para el año 2024. El proyecto fue desarrollado por la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico "AATE", entidad pública dependiente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, encargada de la proyección, planificación, ejecución y gestión de la infraestructura ferroviaria correspondiente al núcleo.

Monorriel:

El Monorriel para la ciudad de Arequipa comprende la construcción del sistema de transporte público masivo ubicado en el área metropolitana de Arequipa y zonas periféricas con una moderna infraestructura de transporte destinada a movilizar a la población. El área de influencia directa de este sistema, abarca los distritos de Cayma, Cerro Colorado, Miraflores, Socabaya, Arequipa, José Luis Bustamante y Rivero, Alto Selva Alegre y Yanahuara, con una población de 1,316 millones de habitantes (INEI, 2017). La ruta que se propone para el monorriel responde a un circuito que se inicia en la intersección de la Av. Aviación con la vía de Evitamiento. La ruta tiene un estacado dividido en dos tramos, que se diferencian por ser de dos vigas paralelas y una sola viga; el tramo de 2 vigas paralelas, se inicia en la progresiva 0+400 y finaliza en la progresiva 5+167, el tramo de una sola viga, se inicia a partir del final del trazado doble viga (progresiva 5+167), desde la cual se propone para efectos de medición iniciar con la progresiva 0+00 y finaliza después de hacer un LOOP (Bordea alrededor de la zona periférica del centro histórico) en la progresiva 15+736. Sumando ambos trazados, se tiene 20.4 km de trazado aproximadamente teniendo en su transcurso 15 estaciones simples y 4 dobles. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

#### *4.2.1.2 Diagnostico situacional*

##### Línea 1:

El área Metropolitana de Lima presentaba varios problemas de tránsito, esto debido a la falta de continuidad de algunos corredores, especialmente en la Vía Expresa del Paseo de la República (que se trunca a la altura de la plaza Grau), así como en otros corredores como de la Av. Aviación, Av. Abancay, Av. Universitaria y otros ejes que presentan ciertas discontinuidades, ya sea en forma de truncamiento o bien de variación drástica de la capacidad o calidad del trazado y pavimentación.

En la ciudad de Lima se dio un crecimiento vertiginoso de las rutas de transporte público, de un modo específico (ómnibus, microbuses y combis), haciéndose más difícil a partir de 1998, debido a que las flotas de las empresas de transporte no eran uniformes, otra de las causas del aumento desmesurado del transporte, fue el crecimiento desmesurado de la población de Lima y Callao, el cual tenía una población de 8 millones de personas (INEI, 2007), motivos por el cual, se promovió la creación de la línea 1, conformando así la primera ruta del Metro de Lima, que actualmente presta servicios de transporte en la zona noreste de la ciudad. Entró en operación comercial inició el 5 de abril de 2012.

Línea 1 tuvo dos aperturas al servicio del público dentro de la totalidad de su ruta: la primera denominada "primer tramo" que une los distritos de Villa el Salvador con Cercado de Lima y fue abierta en julio de 2011 y la segunda denominada "segundo tramo" que une los distritos de Cercado de Lima con San Juan de Lurigancho, el distrito más poblado de la ciudad, y fue abierta en mayo de 2014. A través de la apertura del segundo tramo, la Línea 1 logró transportar aproximadamente 320,000 pasajeros por día, demanda que fue registrada en el 2015 y que constituye una cifra elevada que superó la demanda estimada para el año 2035. Debido a este incremento de pasajeros, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el consorcio operador de Línea 1 firmaron una adenda para la adquisición adicional de trenes Alstom Metrópolis 9000 con el objetivo de reducir la frecuencia de tiempo y aliviar el colapso de las estaciones de mayor demanda de pasajeros.

Monorriel:

El servicio de transporte público urbano que de Arequipa es caótico, debido a que presenta un mal funcionamiento tanto en su infraestructura y operatividad, es decir no está adecuadamente regulado, no es racional, ni ordenado, ni de calidad.

El transporte urbano de Arequipa se caracteriza por una alta fragmentación de líneas, existen 284 empresas de transporte público, teniendo 341 rutas activas y 499 rutas inactivas, notándose que el número de empresas inhabilitadas es mayor a las rutas habilitadas, siendo esta una muestra de la poca continuidad que tienen las empresas ofreciendo sus servicios, lo cual es un indicador de inestabilidad en ese sector, esto ayuda a la informalidad. Otro factor que ha ayudado a incrementar el caos es el servicio de taxis, que son alrededor de 24 000 unidades (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014), que representa el 57% de volumen de tráfico vehicular, mientras que las combis, microbuses y colectivos representan el 17% de unidades (formales e informales), que sobrepasa la demanda de la población, lo cual genera la competencia, exceso de velocidad y accidentes de tránsito.

#### *4.2.1.3 Problemas y causas*

Problema:

Los problemas que se dan antes de la construcción de la Línea 1 del Metro de Lima y en la propuesta que se realizó del monorriel de Arequipa es la ineficiencia de prestación del servicio de transporte público, caracterizado por su informalidad y baja calidad de servicio.



Este problema ocasiona una elevada congestión vehicular, reducción de las horas dedicadas a las actividades cotidianas (horas de trabajo, estudio, bienestar social, etc.), elevación de los costos de operación por mayor tiempo de consumo en el recorrido, contaminación ambiental y estrés por las condiciones de transporte, afectando al turismo y la calidad de vida de la población.

Causas:

Las principales causas de la problemática de la prestación de servicio de transporte público son:

Restricciones físicas para una adecuada circulación vial:

- Limitaciones de la geometría vial

Crecimiento anárquico del parque automotor de vehículos de servicio público:

- Falta de planificación y control desarrollado del parque automotor
- Incremento desmesurado de taxis que compiten con vehículos de transporte público de pasajeros
- Ocupación de espacios públicos por vehículos
- La falta de incentivos para adquisición de vehículos nuevos

Desatención al manejo de emisiones vehiculares

- Uso de tecnologías de transporte obsoletas
- Unidades antiguas y generan exceso de emisiones
- Escasa fiscalización de normas de tránsito
- Insuficiente protección y control de la calidad del aire en la ciudad

Desorganización del transporte público

- Transporte urbano poco regulado con alta presencia de informalidad
- Infraestructura vial urbana inadecuada
- Falta de planificación en el desarrollo de la infraestructura vial urbana
- Inadecuadas rutas actuales de transporte público. Sobre cargadas y no integradas

Entre los cuales al hacer un análisis se vio en mayor predominancia tanto como en la Línea 1 y el Monorriel las siguientes causas:

Línea 1 del Metro de Lima:

- La migración hacia Lima dio un origen a lo que se denomina “pueblos jóvenes”, generando una ciudad totalmente dispersa, estas poblaciones, ahora muchos de ellos distritos, se dirigen diariamente hacia el centro de la ciudad, que es la zona generadora de empleos, realizando viajes de trayectos larguísimos, que desborda la oferta del transporte.

- La desregularización introducida en 1991, generando una serie de autorizaciones para las diferentes rutas de transporte público, según la municipalidad de Lima, entre 1992 y el 2004 el número de rutas creció de manera desordenada, superando la demanda.
- La situación anterior, dio origen al sobre consumo de combustible y contaminación, superposición de rutas, accidentes y una guerra por los pasajeros.
- El tráfico vehicular y los largos recorridos de las empresas de transporte público, generan elevados tiempos de viaje, disminuyendo las horas para las diversas actividades que necesite el usuario.
- Falta de continuidad de algunos corredores como en la vía expresa del Paseo de la República y otros. (Kohon, 2015)

Monorriel de Arequipa:

- El servicio de transporte público en el corredor Norte –Sur, no integrado con el resto de la ciudad de Arequipa.
- Inadecuada oferta de los operadores privados del servicio de transporte público en el corredor Norte –Sur.
- El proceso de operación del transporte público, con los cobros de pasajes de una manera informal, con vehículos obsoletos, inseguros e ineficientes, siendo el vehículo de uso público más usado la combi, con una capacidad máxima de 15 pasajeros.
- Deficiencias en el marco regulatorio en relación a exigencias de calidad de servicio. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)



Figura N° 4.1 Desorden vehicular en Lima y Arequipa.

#### 4.2.2 Demanda - Oferta

En la siguiente sección, se realizará un análisis entre los resultados de los estudios finales de la demanda de pasajeros para la Línea 1 del Metro de Lima y el Monorriel de Arequipa, en el cual se espera obtener como resultado que la

demanda a transportar para el sistema tipo monorriel es menor que para el sistema tipo metro, así también la correspondiente oferta de trenes necesario para satisfacer la demanda establecida.

A continuación, primero se mostrará los cuadros y valores de los estudios de demanda de cada sistema, luego se realizará el análisis crítico.

#### 4.2.2.1 Demanda

Para la caracterización del tránsito completamente se tuvo en cuenta, la proyección demanda para la distribución de los viajes vehiculares y/o peatonales entre el origen y el destino por lo que describiremos tanto a la Línea 1 del Metro de Lima como al Monorriel de Arequipa, para ver sus diferencias.

Línea 1:

Para la Línea 1 del Metro de Lima, se consideró las dos etapas que son: etapa 1, tramo Villa el Salvador – M. Grau construido entre los años 2010 - 2012, cuya operación inicia en abril del año 2012 y la etapa 2 que completo la Línea 1 hasta San Juan de Lurigancho que se construyó entre los años 2012- 2014, que entro en operación en abril del 2014.

A continuación se muestra la demanda proyectada para los 30 años de la concesión de la Línea 1 del Metro de Lima, como se observa en el cuadro n° 4.4, donde se detallan por año calendario, las proyecciones de pasajeros transportados para días hábiles o laborales y días festivos. (Demanda elaborada en el año 2010, que figura en el contrato de concesión).

Cuadro N° 4.4 Proyecciones de la Demanda

AÑO CONCESIÓN	AÑO CALENDARIO	PAS-VIAJE DÍA HÁBIL	PAS-VIAJE DÍA FESTIVO	MILLONES PAS-VIAJE AÑO
1	2011	130400	109536	45.0
2	2012	134155	112690	46.3
3	2013	223628	187848	77.2
5	2015	232375	195195	80.2
10	2020	254244	213565	87.7
20	2030	302749	254309	104.4

Fuente: Contrato de Concesión, Línea 1 del Metro de Lima

Con el cuadro n° 4.4 anteriormente visto, se obtiene demandas de pasajeros diarias por estación a partir de estas estiman demandas en hora punta. considerando porcentajes, basados en otros estudios. Por ejemplo, la demanda en hora punta suele estar entre el 8 y 10% de la demanda diaria (14 horas). Usando este dato tendremos el cuadro n° 4.5

Cuadro N° 4.5 Proyecciones de demanda diaria por hora

AÑO CONCESIÓN	AÑO CALENDARIO	PAS-VIAJE DÍA HÁBIL	PAS-VIAJE HORA PUNTA
1	2011	130,400	10,922
2	2012	134,155	11,237

3	2013	223,628	18,731
5	2015	232,375	19,463
10	2020	254,244	21,295
20	2030	302,749	25,358
30	2040	351,352	29,429

Fuente: Contrato de Concesión, Línea 1 del Metro de Lima

Valores con los que se procede a la oferta necesaria de trenes para satisfacer la demanda, número de viajes, velocidad comercial, tiempo de espera entre los trenes. (ProInversión, 2012).

Actualización de La demanda: Para los años 2015, 2016 y 2017, en la Línea 1 del Metro de Lima se transportaban en promedio 300 mil pasajeros por día (ver cuadro n° 4.6), motivo por el cual a inicios de 2016 se realizó el estudio de actualización de la demanda para realizar así la adquisición de más trenes y satisfacer la nueva demanda diría en hora punta (cuadro n° 4.7). Es por eso que entre los años 2017 y 2018 se viene realizando las obras de la ampliación de la capacidad de la Línea 1 del metro de Lima (Ampliación de estaciones, patio de maniobras, mayor cantidad y capacidad de los trenes).

Cuadro N° 4.6 Demanda Real de Pasajeros Línea 1

AÑO CALENDARIO	PAS-VIAJE DÍA HÁBIL	PAS-VIAJE HORA PUNTA	MILLONES PAS-VIAJE AÑO (REAL)
2013	105,286	8,819	37
2014	211,552	17,719	71
2015	314,592	26,350	108
2016	313,926	26,294	108
2017	320,478	26,843	109

Fuente: Informe de Desempeño Ositrán.

Cuadro N° 4.7 Actualización de la proyección de la Demanda Línea 1

AÑO CALENDARIO	PAS-VIAJE DÍA HÁBIL	PAS-VIAJE HORA PUNTA	MILLONES PAS-VIAJE AÑO
2018	509,509	42,680	186.1
2020	556,654	46,630	206.9
2030	653,672	54,760	252.0
2040	763,250	63,940	306.5
2041	773,033	64,750	311.5

Fuente: Adenda al Contrato de Concesión, Línea 1 del Metro de Lima

Según lo descrito anteriormente, entre a demanda de proyectada entre el 2010 y la demanda real, hay una diferencia notable, y para poder llegar a tener una idea de porque sucede esto, revisaremos los estudios de JICA del año 2013.

Se conoce que en a finales del año 2010, el plan de la red básica del metro de Lima y Callao, con cinco rutas, fue formulado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), cuya red es diferente de la del PMTU-2025.

En enero 2012, se inauguraba el primer tramo de la Línea 1 del Metro en Lima, y para ese entonces el MTC ya tenía planificado construir la Línea 2 del Metro de

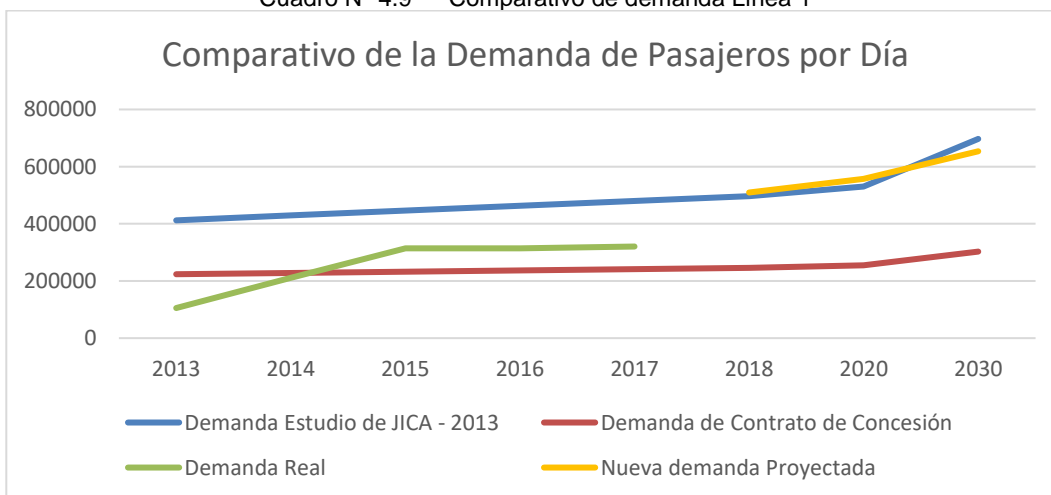
Lima Mientras tanto, el Concejo de Transporte de Lima y Callao (CTLC) ha hecho suyo el estudio de JICA y ha actualizado la base de datos de transporte tales como volumen de tráfico y velocidad del mismo. La población del Área de Lima Metropolitana era 8.04 millones en el 2005 cuando se formuló el PMTU-2025 y se ha incrementado en más de un millón entre el 2007 y 2012. Bajo estas circunstancias, JICA propuso revisar el PMTU-2025 actualizando los datos del estudio anterior incluyendo las matrices Origen-Destino (O/D) llevando a cabo una nueva encuesta de Viaje de Personas, a continuación, se muestra la demanda proyectada según los estudios de JICA al año 2013 para la Línea 1 del Metro de Lima. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Cuadro N° 4.8 Demanda proyectada por JICA Línea 1

AÑO CALENDARIO	PAS-VIAJE x DÍA HÁBIL	MILLONES PAS-VIAJE AÑO
2013	412000	124
2015	446000	134
2020	530000	159
2030	697000	209
2040	863000	259

Fuente: Encuesta de recolección básica en el área metropolitana de Lima y Callao 2013  
A continuación, se presenta un cuadro comparativo, entre las tendencias de las demandas, del contrato de concesión, demanda real, la actualización de la demanda y la demanda estudiada por JICA, se tomará al año 2013, como inicio de año de comparación.

Cuadro N° 4.9 Comparativo de demanda Línea 1



Fuente: Encuesta de recolección básica en el área metropolitana de Lima y Callao 2013, Contrato de Concesión, e informe de desempeño Ositrán.

Del cuadro anterior se observa que la demanda del contrato de concesión, (realizado en el año 2010), es menor, en comparación a la demanda realizada por JICA, esto debido a que las tasas de crecimiento poblacional usados para la realización del estudio del 2010, posiblemente sean menores a los usados en el estudio de JICA (año 2013), pues el estudio realizado, menciona el crecimiento de

la población que tuvo Lima entre los años 2007 y 2012, que fue de más de 1 millón de habitantes. Además, también pudo influenciar, las respuestas de la población a las encuestas realizadas, pues era la primera experiencia de transporte público masivo, para el público limeño, el cual generaba una incertidumbre pues no se sabía cuál iba a ser la respuesta de los usuarios, en comparación al transporte tradicional. Se verifica que la demanda real, se encuentra en un punto intermedio entre los estudios del 2010 y los estudios de JICA, sin embargo, no se podría establecer una tendencia, ya que el estudio de JICA contempla un escenario junto a las demás líneas de Metros, por este motivo que la actualización de la demanda desarrollado en el 2016 tiene valores cercanos a los estudios realizados por JICA.

Monorriel:

Para el monorriel se calibró la proyección de demanda de pasajeros durante el periodo operacional de 31 años. Teniéndose en cuenta que en la fase inicial solo una parte de la demanda deberá ser transferida al monorriel, con un crecimiento progresivo. Otra calibración es necesaria en el final del período operacional, cuando la demanda tenderá a estabilizarse, visto que nuevos ejes de demanda surgirán, conforme los planes de desarrollo de la Municipalidad.

Por lo que se tendrá el cuadro n° 4.10 con la demanda del monorriel en el horizonte 2016 a 2048.

Cuadro N° 4.10 Proyecciones de demanda monorriel 2016 a 2048

N°	Año	Demanda (pasajeros/día)	HPM: Hora Punta	Máxima	HPT: Hora Punta	Carga Máxima	HV: Hora Valle	Carga Máxima
3	2016	253548	21628	10451	21132	8815	14002	6270
4	2017	257280	21905	10496	21474	8828	14210	6400
5	2018	261011	22182	10541	21815	8841	14418	6530
6	2019	266361	22545	10564	22116	8837	14753	6604
7	2020	271711	22908	10587	22417	8886	15088	6677
8	2021	277060	23271	10610	22718	9006	15424	6750
9	2022	281688	23511	10676	23103	9125	15705	6834
10	2023	286250	23755	10746	23484	9242	15981	6915
11	2024	290984	24010	10816	23856	9337	16271	7006
12	2025	295686	24282	10894	24237	9435	16554	7085
13	2026	300670	24568	10970	24619	9527	16858	7179
14	2027	305648	24858	11043	25006	9612	17160	7267
15	2028	310832	25171	11125	25395	9695	17475	7361
16	2029	316100	25499	11204	25793	9771	17793	7453
17	2030	321374	25831	11290	26184	9840	18112	7548
18	2031	326195	26219	11459	26577	9987	18384	7662
19	2032	330762	26586	11620	26949	10127	18641	7769
20	2033	335062	26932	11771	27299	10259	18883	7870
21	2034	339082	27255	11912	27627	10382	19110	7964
22	2035	342812	27555	12043	27930	10496	19320	8052
23	2036	346240	27830	12163	28210	10601	19513	8132
24	2037	349357	28081	12273	28464	10697	19689	8206
25	2038	352151	28305	12371	28691	10782	19847	8271
26	2039	354617	28503	12458	28892	10858	19985	8329
27	2040	356744	28674	12533	29066	10923	20105	8379
28	2041	358528	28818	12596	29211	10977	20206	8421

N°	Año	Demanda (pasajeros/día)	HPM: Hora Punta	Carga Máxima	HPT: Hora Punta	Carga Máxima	HV: Hora Valle	Carga Máxima
29	2042	359962	28933	12645	29328	11021	20287	8450
30	2043	361042	29020	12683	29416	11054	20348	8480
31	2044	361764	29078	12709	29475	11076	20388	8497
32	2045	362126	29107	12721	29504	11088	20409	8505
33	2046	362126	29107	12721	29504	11088	20409	8505
34	2047	362126	29107	12721	29504	11088	20409	8505
35	2048	362126	29107	12721	29504	11088	20409	8505

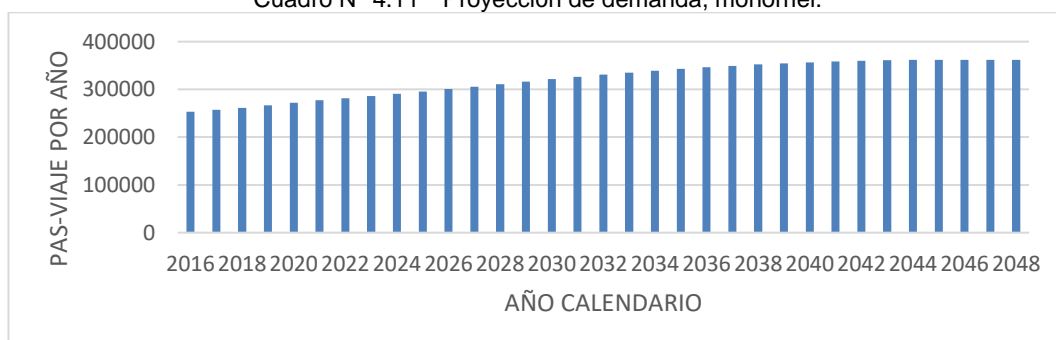
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión.

El cuadro 4.8 muestra los resultados de la demanda calibrada diaria, de la hora punta mañana, tarde y valle, para el horizonte de proyecto, considerando los sentidos Norte-Sur y Sur-Norte y la carga máxima del sistema. El escenario base es diciembre del año 2016. Hay que tener en cuenta que las simulaciones consideraron el sistema alimentador totalmente implantado hasta 2016. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

Proyección de demanda:

El cuadro siguiente presenta los resultados de la curva de demanda, cuyo comportamiento reflejará mejor la realidad operacional del sistema.

Cuadro N° 4.11 Proyección de demanda, monorriel.



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión.

Cuadro N° 4.12 Cuadro resumen de la Demanda-Monorriel

AÑO CONCESIÓN	AÑO CALENDARIO	PAS-VIAJE DÍA HÁBIL	PAS-VIAJE HORA PUNTA
3	2016	253,548	21,132
4	2017	257,280	21,474
5	2018	261,011	21,815
10	2023	286,250	23,484
15	2028	310,832	25,395
20	2033	335,062	27,299
25	2038	352,151	28,691
30	2043	361,042	29,416
35	2048	362,126	29,504

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

#### 4.2.2.2 Oferta

De las demandas mencionadas se pueden referenciar a demandas anuales en hora punta y su proyección, esta demanda sirve para dimensionar andenes y accesos (escaleras, torniquetes, etc.).

La frecuencia necesaria se calcula directamente, dividiendo la carga máxima por la capacidad del tren. Además, sirve para estimar la cantidad de vagones por tren, considerando un máximo de 6 pasajeros por metro cuadrado.

Línea 1 - Etapa 1: Villa el Salvador –M. Grau.

De acuerdo a la demanda proyectada se obtuvo 2 escenarios: el escenario A es aquel en el que solamente se dispone de la cantidad 5 trenes y la demanda fue satisfecha cuantitativamente, con 14.4 minutos entre tren y el escenario B donde el tiempo entre trenes se reduce con 11 formaciones adicionales que se incorporara en los 27 meses después de firmar el contrato, con un espacio de 5 min entre tren y tren.

Línea 1- Etapa 2: Villa el Salvador –M. Grau – San Juan de Lurigancho.

- Se dispone de 16 trenes, la frecuencia seria de 7.34 minutos de intervalo no alcanzándose la frecuencia planteada por lo que se plantea 8 trenes de 5 coches cada uno después de la adjudicación de la obra.

En general la línea 1 cuenta con una velocidad comercial mínima de 35km/h incluyendo los tiempos en cada estación y la flota total de trenes será de 24 unidades habiendo un intervalo de 6 min por tren.

Para la capacidad de los trenes se encuentran coches con capacidad para 200 pas / coche, con un mínimo de 22 asientos por cada coche con cabina y de 24 sin cabina, lo que supone 1200 pas/tren compuestos por 6 coches para los trenes Ansaldo Breda y 1000 pas/ tren compuestos por 5 coches para los trenes Alsthom. Respetando un ratio máximo de 6 pas/m<sup>2</sup>. (ProInversión, 2012). Teniéndose en general para ambos tramos de la Línea 1 el siguiente cuadro n° 4.13:

Cuadro N° 4.13 Oferta Línea 1 contrato de concesión

	INCORPORACIÓN DE TRENES	COCHES POR TREN	INCORPORACIÓN DE COCHES	TOTAL, DE TRENES	TOTAL, DE COCHES
INICIAL		6		5	30+2*
AÑO 2013	11	5	55	16	87
AÑO 2014	8	5	40	24	127

Fuente: contrato de concesión

Pero de acuerdo a la demanda actual y a la actualización de la proyección de la demanda de pasajeros, es necesario incrementar la capacidad ofertada, cumpliendo los mismos estándares de confort de 6pas/m<sup>2</sup>, y ahora todos los trenes tanto los 5 trenes Ansaldo Breda y los trenes Alsthom 900 cuentan con 1200 pasajeros por tren, con 6 coches cada tren, y una capacidad de 200 pasajeros por coche, resultando la siguiente composición.

Cuadro N° 4.14 Nueva Oferta Línea 1 contrato de concesión



	INCORPORACIÓN DE TRENES	COCHES POR TREN INICIAL	NUEVA CANTIDAD DE COCHES POR TREN	INCORPORACIÓN DE COCHES	TOTAL, DE TRENES	TOTAL, DE COCHES
INICIAL		6			5	30+2*
AÑO 2014		5	6	19	19	114
AÑO 2019	20		6	120	44	266

Fuente: contrato de concesión

Según el cuadro anterior, a principios del 2019, la capacidad máxima ofertada de los 44 trenes es de 52 800 pasajeros, cubriendo la demanda de pasajeros al año 2020 como lo indica el cuadro n° 4.6.

Monorriel:

De acuerdo con la demanda proyectada, el Monorriel es capaz de atenderla con un tiempo entre tren y tren de 2.61 minutos (157 segundos) en el inicio de la operación y de 2 minutos (120 segundos) en el final de la concesión. Estas son condiciones posibles (viables) del punto de vista técnico para la operación del sistema de transporte masivo de Arequipa. Estas condiciones tienen en consideración una formación de 7 coches por tren. Teniéndose una capacidad de 995 (pas / tren) (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

Cuadro N° 4.15 Oferta del Monorriel

Por tren	COCHES POR TREN	INCORPORACIÓN DE COCHES	TOTAL DE TRENES
INICIAL	7		22
FINAL	7	56	30

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

Al inicio de la concesión con el intervalo de 2.61 minutos entre cada tren y los 23 trenes, se puede transportar una demanda máxima de 21 890 pasajeros en Hora Pico y al final de la concesión con un intervalo de 2 minutos y con 30 trenes se puede transportar 29 850 pasajeros en hora pico.

Automated Monorail System

INNOVIA Monorail 300 Technology

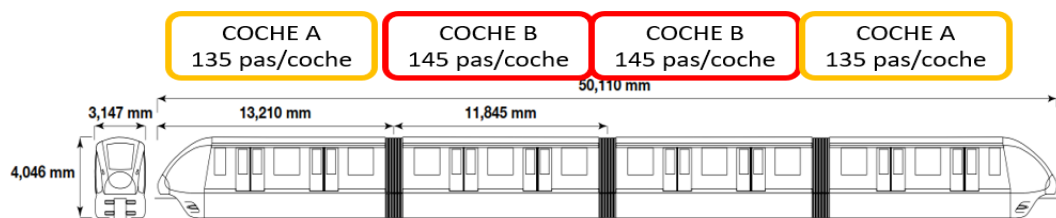


Figura N° 4.1 Tipos de coche del monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

La figura n° 4.1 muestra los tipos de coches propuestos para el monorriel, y La composición para atender la demanda estudiada sería de 2 coches tipo A y 5

coches tipo B, y la figura n° 4.2, muestra los trenes de la Línea 1 de Metro de Lima y El Tren del Monorriel.



Figura N° 4.2 Trenes Línea 1 y Monorriel

Fuente: Contrato de concesión Línea 1 y Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

#### 4.2.3 Análisis Crítico de la Demanda y Oferta

La Línea 1 de Metro de Lima y el Monorriel de Arequipa son dos sistemas de transporte público urbano masivo, que, en términos generales de capacidad de demanda de pasajeros, el primero es considerado de alta capacidad y el segundo de mediana capacidad, entonces de acuerdo a la siguiente hipótesis, ¿La demanda a transportar para el sistema tipo monorriel es menor que para el sistema tipo metro?, la respuesta en función a las proyecciones de los estudios de demanda realizados para Línea 1 de Metro de Lima y la Propuesta del Monorriel de Arequipa, es afirmativa. Como lo observamos en la siguiente figura n° 4.3

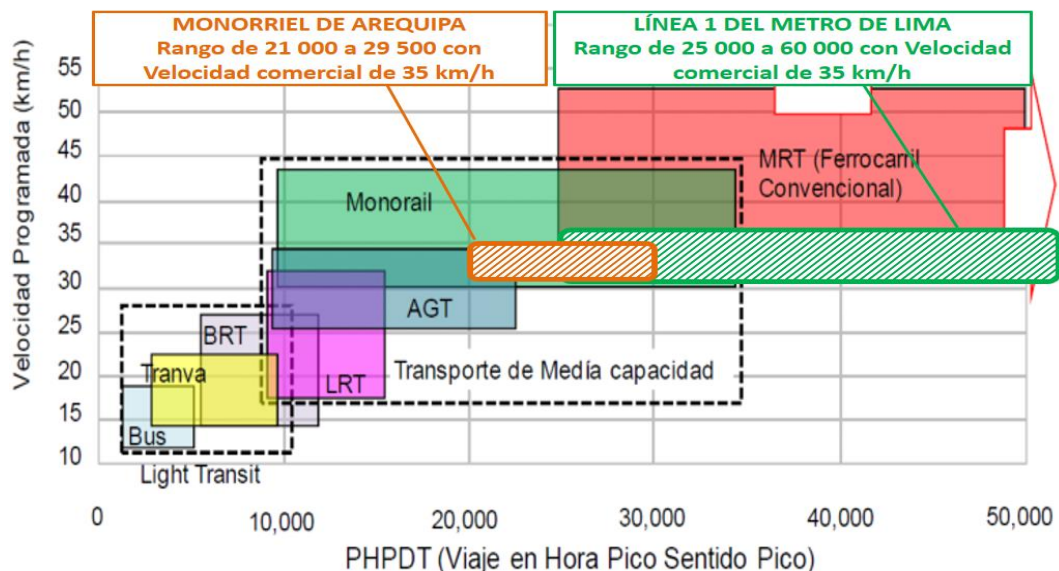


Figura N° 4.3 Intervalo de las demandas estudiadas

Fuente: Contrato de concesión Línea 1, Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

La figura anterior para la misma velocidad comercial de 35 km/h, muestra, los intervalos de demanda mostrados anteriormente, el cual para el Monorriel de

Arequipa es de 21 000 a 29 500 PHPD (Pasajeros por hora pico por dirección) y para la Línea 1 del Metro de Lima comprende un intervalo de 20 000 a 60 000 PHPD, este rango proviene de los valores del estudio de demanda del 2010 y la demanda actualizada.

Para la oferta de servicio, revisando figura n° 4.3, se observa que la demanda de pasajeros del Monorriel de Arequipa se traslapa con la demanda de la Línea 1 del Metro de Lima, este gráfico nos conduce a la siguiente hipótesis ¿El Monorriel, podrá cubrir la demanda proyectada de la Línea 1 del Metro de Lima? Para responder esta pregunta tomamos como ejemplo el Monorriel de Sao Paulo, que se proyectó para transportar una demanda de 48 000 Pasajeros por Hora Pico por sentido, cuyos trenes son de las mismas características propuestas para el Monorriel de Arequipa.

Cuadro N° 4.16 Oferta de servicio solo con Monorriel

ITEM	SISTEMA	DEMANDA	CONFORT	CAPACIDAD	COCHES POR TREN	TIEMPO ENTRE TREN Y TREN	TOTAL DE TRENES
1	Monorriel de Sao Paulo	48 000 PHPD	6 pasajeros/m <sup>2</sup>	995	7	75 segundos	48
2	Monorriel de Sao Paulo	48 000 PHPD	8 pasajeros/m <sup>2</sup>	1327	7	97 segundos	37
3	Línea 1 de Metro de Lima	26 843 PHPD	6 pasajeros/m <sup>2</sup>	995	7	133 segundos	27
4	Línea 1 de Metro de Lima	52 800 PHPD	6 pasajeros/m <sup>2</sup>	1285	9	87 segundos	41

Fuente: Contrato de concesión Línea 1, Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro n° 4.16, muestra la oferta de trenes necesario para cubrir la demanda proyectada.

- Los ítems 1 y 2 muestran la demanda de 48 000 PHPD para el Monorriel de Sao Paulo, donde según el nivel de confort se muestra la capacidad por cada tren y cantidad de trenes de Monorriel para cubrir la demanda.
- El ítem 3, muestra para la Línea 1 del Metro de Lima la cantidad de pasajeros por hora por dirección que se transportó en el 2017, y para demanda de 26 843 PHPD, si usaríamos un sistema tipo Monorriel necesitaríamos 27 trenes, compuesto de 7 coches cada uno.
- EL ítem 4, muestra para la Línea 1 del Metro de Lima la capacidad máxima de pasajeros que puede transportar los 44 trenes que funcionaran a partir

del 2019, si usáramos un sistema tipo Monorriel, para esa misma capacidad necesitaríamos 41 trenes con 9 coches.

Por lo tanto, de lo descrito en esta sección, se deduce lo siguiente:

- En términos generales, la demanda de pasajeros del sistema tipo Monorriel es menor a la del Metro, considerando al Monorriel como un sistema de mediana capacidad.
- El Monorriel, es un sistema que, si podría soportar altas demandas de pasajeros, incluso como las de un metro.
- La Demanda de Pasajeros, es una variable muy importante para la identificación y selección de un tipo de sistema de transporte público urbano masivo, sin embargo, esta no define cual es el idóneo a usar, pues es necesario evaluar otras variables, como el tiempo de construcción, si puede ser subterráneo a nivel o elevado, el impacto ambiental, el costo de construcción, los costos de operación y otras variables que están relacionadas a la parte financiera.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DEL TIEMPO Y COSTO DE CONSTRUCCIÓN ENTRE EL MONORRIEL Y EL METRO CON VIADUCTO ELEVADO

### 5.1 INFRAESTRUCTURA

#### 5.1.1 Características Generales del Monorriel de Arequipa

El sistema comprende la construcción y equipamiento electromecánico de aproximadamente 20.4 km de Vía elevada, y está compuesto por dos tramos, la primera de color azul denominada vía doble, es un tramo de 4.53 km compuesto con dos vías que permite el recorrido del monorriel en ambos sentidos. El segundo tramo de color rojo denominado vía simple, es un tramo de 15.97 km compuesto por una sola vía que permite el recorrido del monorriel en un solo sentido, de forma anti horaria. (establecido de acuerdo a la demanda de pasajeros, ver las flechas). Este sistema cuenta con 19 estaciones de pasajeros 3 en vía Doble y 16 en vía simple. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)(ver figura n° 5.1 y figura n° 5.2)



Figura N° 5.1 Trazo de la vía - Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión



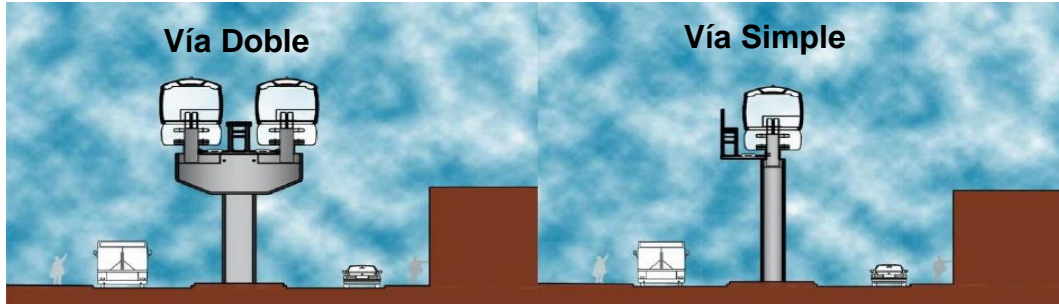


Figura N° 5.2 Vías Doble y simple - Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro n°5.1, muestra los tramos, longitudes y avenidas que debió recorrer el monorriel.

Cuadro N°5.1 Muestra las estaciones - Monorriel.

vía	Tramo	Punto de Inicio	Punto de Llegada	Km de Inicio	Km de Llegada	tramo (m)	Avenida de Recorrido
doble	Tramo 1	Cola de vía	Estación Mercado	Km 0+402	Km 0+634	232	Av. Aviación
	Tramo 2	Estación Mercado	Estación Aeropuerto	Km 0+634.66	Km 1+698.20	1,064	Av. Aviación
	Tramo 3	Estación Aeropuerto	estación Metro	Km 1+698.20	Km 4+301.31	2,603	Av. Aviación
	Tramo 4	Estación Metro	Estación Clínica	Km 4+301.31	Km 5+166.73	865	Av. Aviación
Simple	Tramo 5	Estación Clínica	Estación Challa pampa	Km 5+166.73	Km 6+105.37	939	Av. Villa Hermosa
	Tramo 6	estación Challa pampa	estación piedra santa	Km 6+105.37	Km 7+152.64	1,047	Av. Villa Hermosa
	Tramo 7	Estación piedra santa	Estación Unacollo	Km 7+152.64	Km 7+702.21	550	Av. Metropolitana
	Tramo 8	Estación Unacollo	estación Industrial	Km 7+702.21	Km 9+865.590	2,163	Av. Metropolitana
	Tramo 9	Estación Industrial	estación Terminal	Km 9+865.59	Km 10+178.35	313	Av. Miguel de Forja
	Tramo 10	Estación Terminal	Estación Andrés Avelino	Km 10+178	Km 10+839	661	Av. Andrés Avelino
	Tramo 11	Estación Andrés Avelino	Estación Tristán	Km 10+839.50	Km 11+987.88	1,148	Av. Andrés Avelino
	Tramo 12	Estación Tristán	Estación Hospital	Km 11+987.88	Km 12+866.80	879	Av. Daniel Alcides Carrión
	Tramo 13	Estación Hospital	Estación Estadio	Km 12+866.80	Km 13+535.34	669.	Av. Daniel Alcides Carrión
	Tramo 14	Estación Estadio	Estación Coliseo	Km 13+535.34	Km 14+194.13	659	Av. Independencia
	Tramo 15	Estación coliseo	Estación Independencia	Km 14+194.13	Km 14+809.38	615	Av. Independencia
	Tramo 16	Estación Independencia	Estación Mayta Cápac	Km 14+809.38	Km 16+189.83	1,380	Av. Goyeneche
	Tramo 17	Estación Mayta Cápac	Estación Trabajador	Km 16+189.83	Km 16+960.62	771	Av. Progreso
	Tramo 18	Estación Trabajador	Estación Grau	Km 16+960.62	Km 18+160.87	1,200	Av. Juan de la torre
	Tramo 19	Estación Grau	Estación Shopping	Km 18+160.87	Km 19+005.34	844	Av. Ejercito
	Tramo 20	Estación Shopping	Estación Clínica	Km 19+005.34	Km 20+902.73	1,897	Av. Ejercito

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

Según los estudios se consideraron tres elementos para el diseño geométrico, (1) obtener la máxima velocidad de operación sin descuidar el impacto en el

equipamiento móvil de tal velocidad, (2) maximizar el confort de pasajeros, (3) minimizar el costo de construcción y mantenimiento.

Elementos considerados en el trazo y diseño geométrico son:

- a. Tangentes mínimas entre curvas son recomendadas para asegurar que los pasajeros tengan suficiente tiempo para recuperarse de una curva antes de entrar en otra.
- b. Súper elevaciones en curvas son designadas para minimizar las aceleraciones laterales impartidas en los pasajeros a velocidades de servicio, previniendo que los pasajeros desarrollen una sensación de inestabilidad estando sentados o parados.
- c. Radio mínimo de curvas verticales designadas para proporcionar confort a los pasajeros. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

A continuación, se muestra las características de alineamiento para el monorriel

Cuadro N°5.2 Características Geométricas de Alineamiento.

Características	Valores Límites	Observaciones
Ancho de Viga (Ancho de Vía)	690 mm	
Radio deseable mínimo en línea principal	100 m	R= radio de curvatura horizontal
Radio mínimo absoluto en taller de estacionamiento y mantenimiento	46 m	R= radio de curvatura horizontal sin súper elevación.
Máxima gradiente vertical en línea principal	6%	
Longitud mínima de espiral	10 m	
Máxima súper elevación en línea principal	10%	No se acepta súper elevación en taller de mantenimiento y estacionamiento.
Máxima velocidad de operación línea principal	80 km/h	Máxima velocidad en taller de mantenimiento y estacionamiento
Tangente horizontal antes de estaciones	12 m	A cada lado de la estación
Tangente horizontal antes de intercambiadores de vigas (switches)	5m	A cada lado del intercambiador

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.1.2 Características Generales de la Línea 1 del Metro de Lima

Este sistema tiene una longitud de 34.5 km, en la zona sur comprende 7.5 km de viaducto a nivel de superficie y en la zona centro-este y noreste de la ciudad comprende un viaducto elevado de 27 km, cuenta con 26 estaciones de los cuales 6 estaciones están a nivel de suelo y 20 en viaducto elevado y conecta once distritos de la ciudad de Lima. La Línea 1.

Esta obra se ejecutó en 2 tramos y comprendió 3 etapas constructivas.

Tramo 1 – Etapa 1, se construyó en los años 80, con 9.8 km de longitud, 7 estaciones, desde Villa el Salvador hasta Atocongo, la mayor parte es viaducto a nivel. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010) (Ver figura n° 5.3 y cuadro n°5.3). Tramo 1 – Etapa 2, la obra se ejecutó entre los años 2009 y 2011,

comprendió la construcción y equipamiento electromecánico de 12.3 km de viaducto elevado, 9 estaciones y la actualización de los sistemas electromecánicos y del material rodante de la etapa 1. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)(Ver figura n° 5.3 y cuadro n°5.3 )



Figura N° 5.3 Tramo 1 - Línea 1

Fuente: Elaboración Propia

Tramo 2 – Etapa 3, comprendió la construcción de 12.4 km de viaducto elevado y equipamiento electromecánico incluyendo dos puentes uno sobre la vía de evitamiento y otro sobre el río Rímac, y 10 Estaciones de Pasajeros, una cola de Vía en una longitud de 278.77 m aproximadamente y un Patio de Maniobras en un área de 36, 292.85 m2 al final de la línea. (Ver figura n° 5.4 y cuadro n°5.3)



Figura N° 5.4 Tramo 2 - Línea 1

Fuente: Elaboración Propia

En ambos tramos se realizarán obras complementarias como demoliciones de las zonas a expropiar, inserción urbana en estaciones, inserción del área demolida dentro del derecho de vía y reposición de áreas verdes.

Cuadro N°5.3 Estaciones - Línea 1.

Tramos de Ejecución	Tramos de Construcción según Exp. Técnico	Punto de Inicio	Punto de Llegada	Km de Inicio	Km de Llegada	Longitud (m)
TRAMO 1		Cola de Vía	E. Villa el Salvador	-	0+362	362
		E. Villa el Salvador	E. Parque I	0+362	1+775	1413



Tramos de Ejecución	Tramos de Construcción según Exp. Técnico	Punto de Inicio	Punto de Llegada	Km de Inicio	Km de Llegada	Longitud (m)
		E. Parque I	E. Pumacahua	1+775	3+585	1810
		E. Pumacahua	E. Villa María	3+585	5+060	1475
		E. Villa María	E. María A.	5+060	6+150	1090
		E. María A.	E. San Juan	6+150	7+350	1200
		E. San Juan	E. Atoncongo	7+350	8+960	1610
TRAMO 1 (Nueva Infraestructura - Viaducto Elevado)	J	E. Atoncongo	E. Jorge Chávez	8+960	10+551	1591
	K	E. Jorge Chávez	E. Ayacucho	10+55	11+691	1140
	L	E. Ayacucho	E. Cabitos	11+69	12+587	896
	SC	E. Cabitos	E. Angamos	12+58	14+597	2010
	C1, C2	E. Angamos	E. San Borja Sur	14+59	15+602	1005
	C3, C4	E. San Borja Sur	E. La cultura	15+60	17+222	1620
	E, F	E. La cultura	E. Nicolás Arriola	17+22	18+892	1670
	G	E. Nicolás Arriola	E. Gamarra	18+89	19+852	960
	G1	E. Gamarra	E. Miguel Grau	19+85	21+158	1306
TRAMO2	M	E. Miguel Grau	E. El Ángel	21+15	22+353	1195
	N	E. El Ángel	E. Presbítero M.	22+35	22+888	535
	O	E. Presbítero M.	E. Caja de Agua	22+88	24+521	1633
	P	E. Caja de Agua	E. Pirámides del	24+52	25+930	1409
	Q	E. Pirámides del	E. Los Jardines	25+93	27+310	1380
	R	E. Los Jardines	E. Los Postes	27+31	28+593	1283
	S	E. Los Postes	E. San Carlos	28+59	30+038	1445
	T	E. San Carlos	E. San Martín	30+038	31+416	1378
	U	E. San Martín	E. Santa Rosa	31+416	32+460	1044
	V	E. Santa Rosa	E. Bayóvar	32+460	33+682	1222
	Cola de vía	E. Bayóvar	Fin cola de vía		33+960	278

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra las características de alineamiento para la Línea 1

Cuadro N°5.4 Características Geométricas de Alineamiento

Características	Valores Límites
Ancho de Vía	8.60 m
Radio mínimo en curva Horizontal	200 m
Radio mínimo en curva vertical	3 000 m
Máxima gradiente vertical en línea principal	3.5%
Máxima súper elevación en línea principal	10%
Máxima velocidad de operación línea principal	80 km/h
Peralte Máximo	160 mm

Fuente: Expediente Técnico Línea 1

## 5.2 ESTRUCTURAS DEL VIADUCTO

Las estructuras del Monorriel de Arequipa y la Línea 1 del Metro de Lima están conformados por elementos de concreto armado como pilotes, zapatas, pilares, mono-columnas, bi- columnas, cabezales, vigas, y más elementos de acuerdo a su tipo de diseño.

### 5.2.1 Pilotes

En los dos proyectos mencionados es necesario el uso de Pilotes, por las características de los suelos en los que se encuentran, en el diseño del monorriel los pilotes abarcan en todos los tramos, mientras en la Línea 1 del metro de Lima solo se necesitó en el tramo 2 pero en forma parcial.

#### 5.2.1.1 Monorriel de Arequipa.

En el área de Arequipa existen diversos tipos de suelos tales como: rocas ígneas, con capacidades portantes mayores que 10 Kg/cm<sup>2</sup>; sillares, con capacidades portantes mayores que 5 Kg/cm<sup>2</sup>; depósitos aluviales, con capacidades portantes de 3.5 a 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>; depósitos de materiales piroclásticos y suelos aluviales, con capacidades portantes de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> (ver el mapa geotécnico, del anexo 2). Se elaboró el Perfil Estratigráfico del trazo propuesto, el cual se hizo por el método de sondeo no invasivo (Georadar), donde no se obtuvo presencia de roca para profundidades menores a 6 m, donde a lo largo del trazo predomina la presencia de Arena, Limos y Gravas. (ver Perfil Estratigráfico anexo 2). Respecto a la sismicidad, la ciudad de Arequipa consiste en 4 micro-zonas sísmicas diferentes. (ver sismicidad en el anexo 2).

Para la construcción se consideraron un par de pilotes por cada zapata a lo largo de toda la vía, los diámetros de los pilotes son de 1 m y 1.2 m, con longitudes de 10 m y 14 m,, con un concreto con resistencia a la compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, la figura n° 5.5, muestra destalle de los pilotes del monorriel.

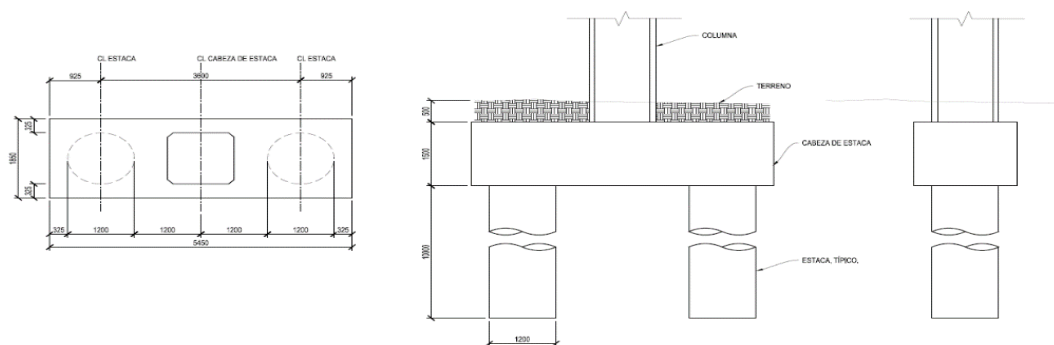


Figura N° 5.5 Pilotes - Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

#### 5.2.1.2 Línea 1 metro de Lima

Los estudios de geotecnia indican la necesidad de pilotes en el tramo 2 de la Línea 1, para realizar estos estudios de geotecnia, se clasifico el tramo 2 en 4 sectores denominados A+A', B, C de los cuales los sectores A+A' y B su cimentación es solo con zapatas, mientras que los sector C, contiene una cimentación con pilotes

(ver anexo 2, sectorización, perfil geotécnico y conclusiones de los estudios de cada sector).

Para cimentación con pilotes, este se realizó en los tramos de construcción O, Q, R y S, donde el tramo O corresponden a un suelo con características propias de lecho de río y los tramos Q, R, y S, pertenecen a un suelo Arenoso Limoso. (Todos estos tramos donde existe la necesidad de pilotes pertenecen a los sectores de estudio geotécnico C y D, ver anexo 2)

Tramo O: Involucra los Puentes Huáscar y Río Rímac respectivamente, la distribución de pilotes por cada zapata para este tramo es de tal forma de no considerar efecto de grupo, de donde para el Puente Huáscar se han colocado 09 y 11 pilotes para los pilares centrales respectivamente mientras que para los pilares extremos se han considerado 05 pilotes ver figura n° 5.6 y para el río Rímac se han colocado 09 pilotes para los pilares centrales mientras que para los pilares extremos se ha considera 04 pilotes; para el caso de los módulos del viaducto emplazados en el lecho del río Rímac se está considerando que cada zapata cabezal albergue 04 pilotes. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012). ver figura n° 5.7

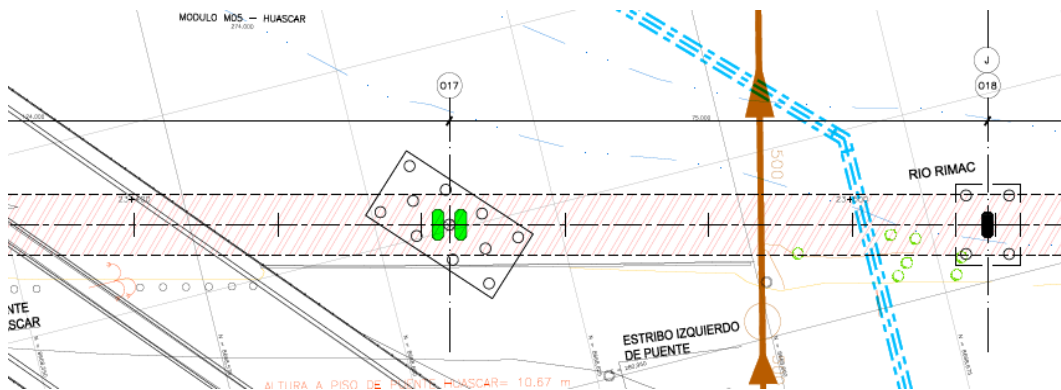


Figura N° 5.6 Pilotes en puente Sobre la vía de Evitamiento.

Fuente: Expediente Técnico Línea 1 – Tramo 2

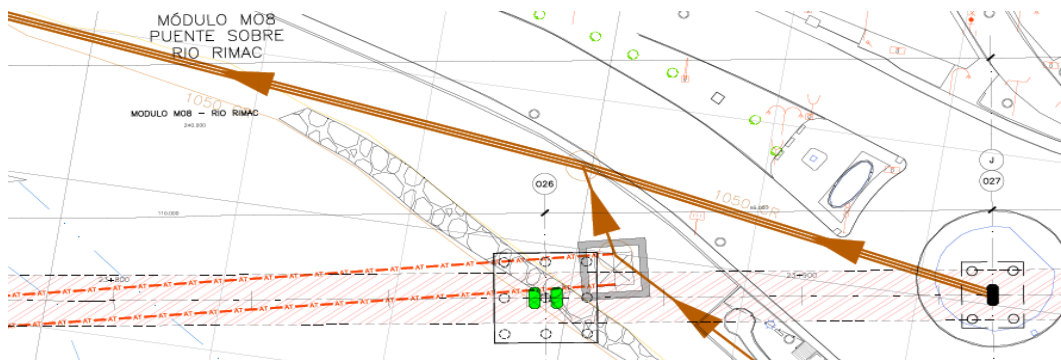


Figura N° 5.7 Pilotes en puente Sobre El río Rímac

Fuente: Expediente Técnico Línea 1 – Tramo 2

Tramo Q, R y S:

Las zapatas del viaducto dentro de la estación de pasajeros y las de la tercera vía están diseñados de tal manera que cada zapata cabezal contenga 06 pilotes, mientras que para las zapatas típicas del viaducto contienen 04 pilotes.

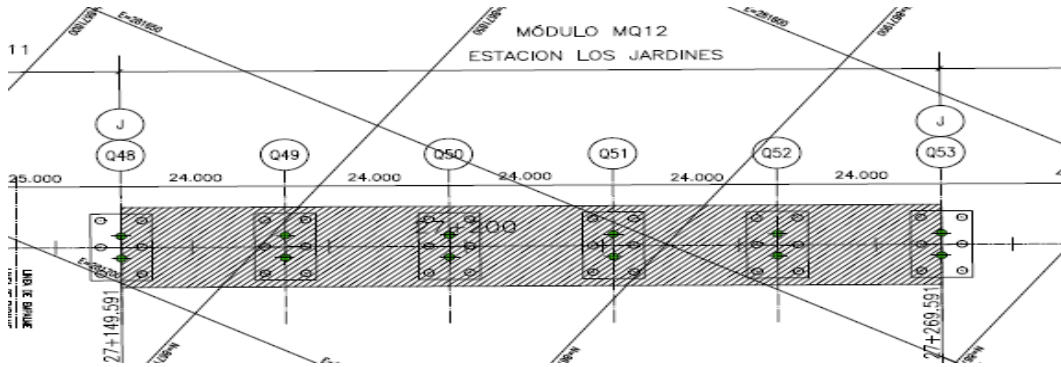


Figura N° 5.8 Pilotes – Estación los Jardines

Fuente: Expediente Técnico Línea 1 – Tramo 2

La Estación San Carlos, (tramo S), es un caso particular el cual por problemas de interferencias se ha estructurado como un módulo con las siguientes luces (34m – 35m – 55m – 40m), la cimentación es en base a cimentación profunda conteniendo 08 pilotes por cada zapata cabezal para los ejes S-49, S-50 y S-51 y 04 pilotes por cada zapata cabezal para los ejes S-48 y S-52, ver figura n° 5.9

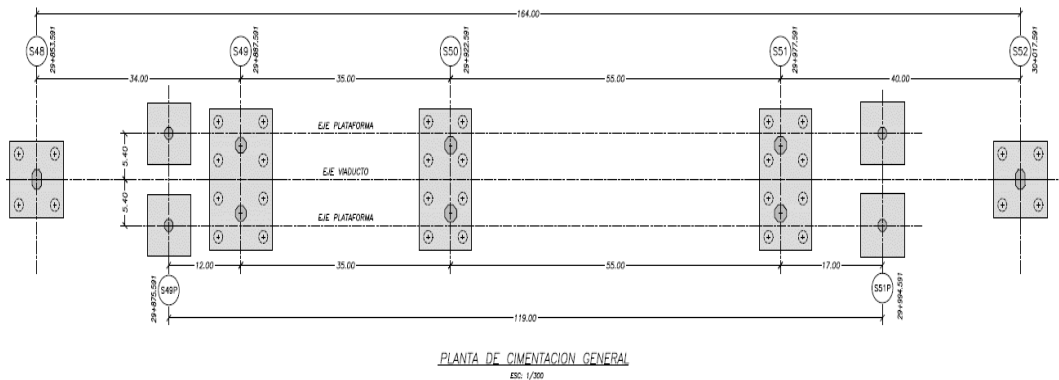


Figura N° 5.9 Pilotes estación San Carlos – Línea 1

Fuente: Expediente Técnico Línea 1 – Tramo 2

## 5.2.2 Zapatas

En los dos sistemas mencionados las zapatas son de sección rectangular.

### 5.2.2.1 Monorriel de Arequipa.

Contempla en todo el trazo cuatro tipos de zapatas con dimensiones típicas con el peralte de 1.50 m, el concreto tendrá una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , en la siguiente figura n° 5.10, se muestra la zapata del monorriel. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

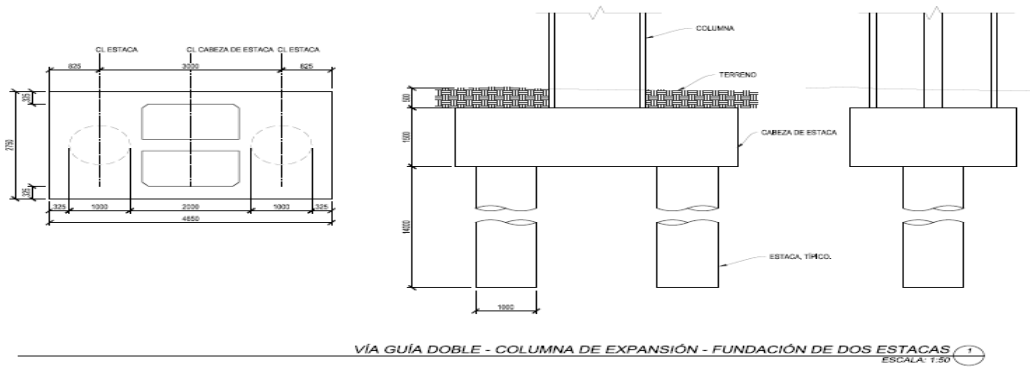


Figura N° 5.10 Zapata de Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.2.2.2 Línea 1 de Metro de Lima.

La mayor parte de las zapatas del tramo 1 y 2 son zapatas típicas, cambiando las dimensiones en los tramos de cruces especiales, puentes sobre el rio Rímac y evitamiento, tercera vía. Las dimensiones típicas tienen un peralte de 2.00 m, y el concreto tendrá una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ . A continuación se muestra la figura n° 5.11 de una zapata típica del tramo R (tramo que se denominó para la construcción según expediente técnico de la obra del tramo 2 de la Línea 1),. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

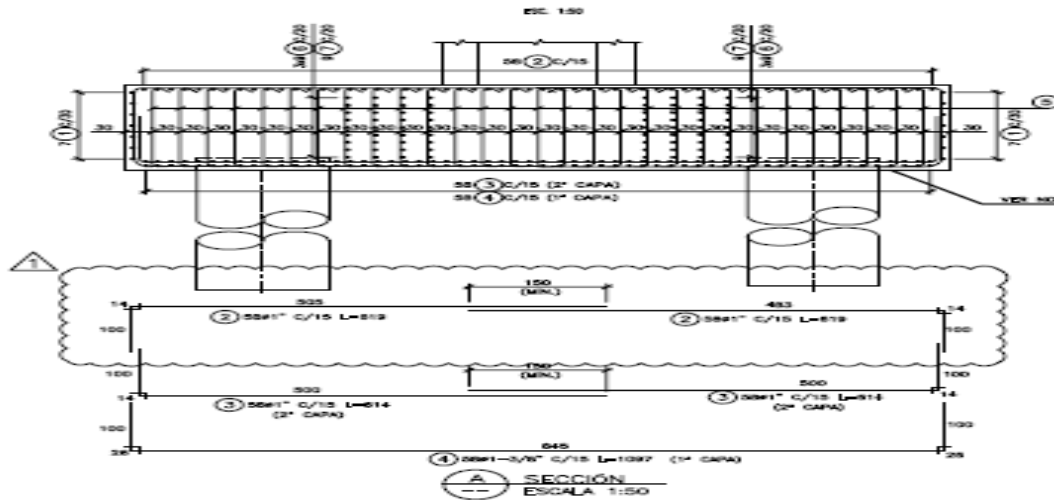


Figura N° 5.11 Vista en corte de zapata típica del metro.

Fuente: Expediente Técnico Línea 1 - tramo 2

## 5.2.3 Columnas

### 5.2.3.1 Monorriel de Arequipa

Son columnas de sección octogonal, presentan cuatro tipos de columnas típicas, que son columnas intermedias y de expansión tanto para la vía única y para la vía doble, La altura de las columnas es variable y contempla como mínimo una luz libre de 5.5 m de altura, el concreto de las columnas tendrá resistencia a la

compresión a los 28 días de  $f'c= 350 \text{ Kg/cm}^2$ . Además, las columnas que se ubican para el viaducto en estación, son bi columnas, y mono columnas para viaducto y patio taller. A continuación, en la figura n° 5.12 se muestra la columna típica del monorriel, de aquellos ejes donde termina un módulo, y que hace que toda la estructura del módulo sea hiperestático. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

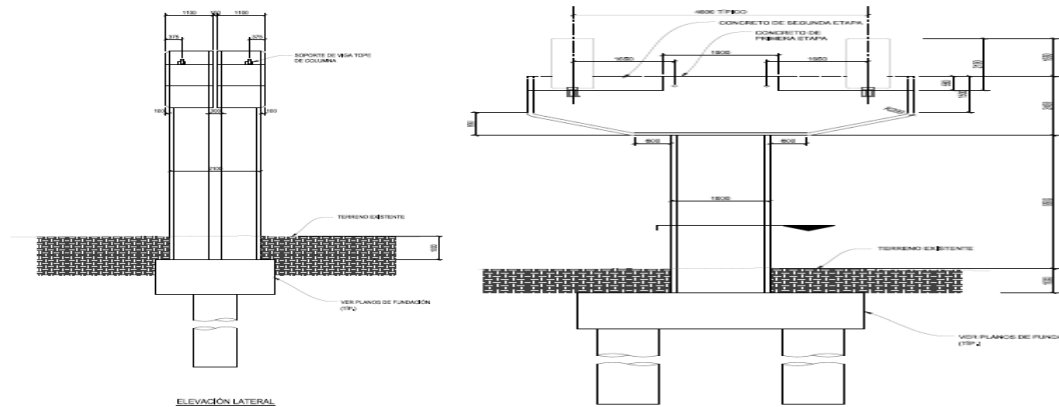


Figura N° 5.12 Columna en vía doble - Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.2.3.2 Línea 1 del Metro de Lima

Las columnas típicas son de sección octogonal alargadas transversalmente de secciones de 1,40m x 2,10m (entre vanos de 25m) y de 1,55m x 2,30m (entre vanos de 35m). La armadura de refuerzo de las columnas está dispuesta a modo de dos columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados. La altura de las columnas es variable y el concreto de las columnas tiene una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ . En el viaducto tenemos mono columnas que se encuentran en los tramos entre las estaciones y bi-columnas que se encuentran en las estaciones, tramos de tercera vía. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

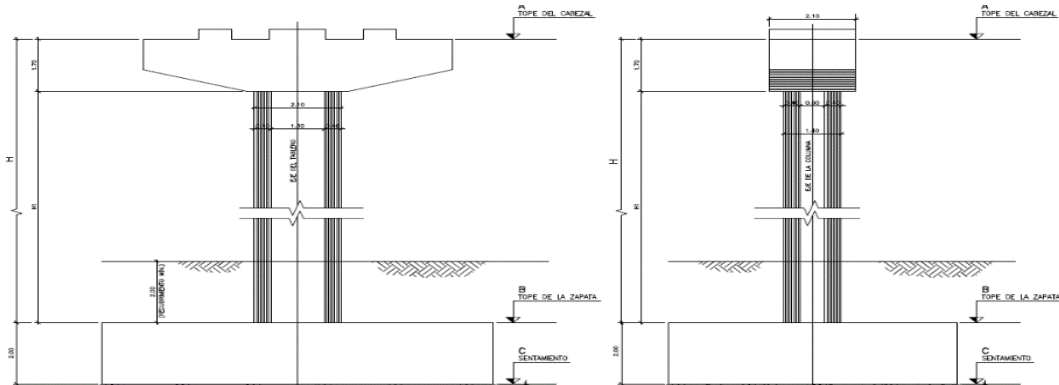


Figura N° 5.13 Columnas típicas del viaducto

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

## 5.2.4 Vigas cabezal

Las vigas cabezal son elementos transversales que se ubican sobre las columnas son de sección variable, y sobre esta estructura se apoyan las vigas prefabricadas.

### 5.2.4.1 Monorriel de Arequipa

Las vigas cabezal en este sistema se usan para el apoyo de la viga prefabricada de la vía doble y en vía de las estaciones, ya que para los tramos de una sola vía las vigas prefabricadas se apoyan sobre las columnas. El concreto de las vigas cabezal tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ . A continuación se muestra la viga cabezal de la vía doble. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

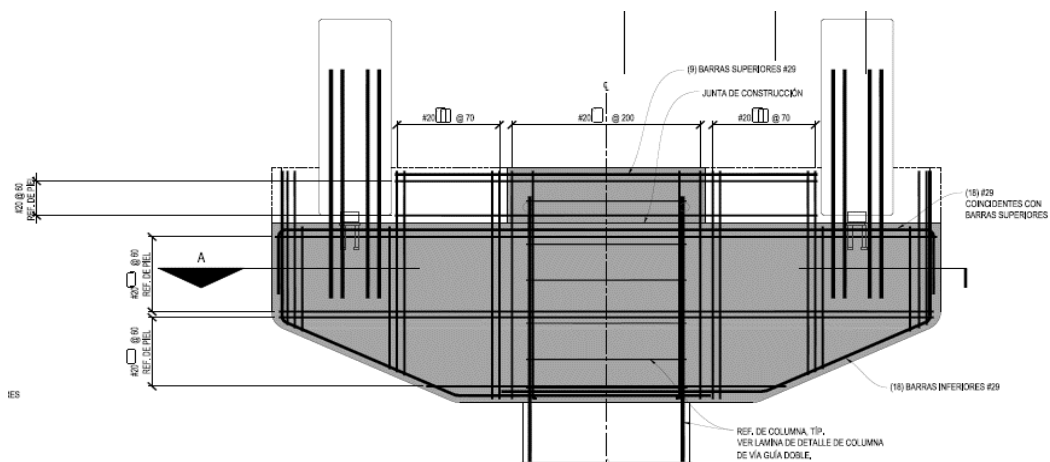


Figura N° 5.14 Viga cabezal - Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.2.4.2 Línea 1 del Metro de Lima

En este sistema las vigas cabezales se ubican en todo el trayecto, y es donde se apoyan las vigas prefabricadas y a su vez estas soportan el viaducto. En los tramos rectos de viaducto la viga cabezal de las columnas es de concreto armado de 1,70 m de ancho y peralte variable desde 1,70 m en el encuentro con la columna a 1,00 m en los extremos del cabezal. Cuando hay cambio de sección de viaductos en los cabezales de junta, se diseña una geometría especial para el cabezal de modo a compatibilizar las diferencias de peralte, Además, las vigas cabezal ubicadas en las estaciones, estas son de mayores dimensiones comparadas con las vigas cabezal de viaducto, pues soportan el peso de las vigas del andén de la estación. El concreto de las vigas cabezal tiene una resistencia a la compresión de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

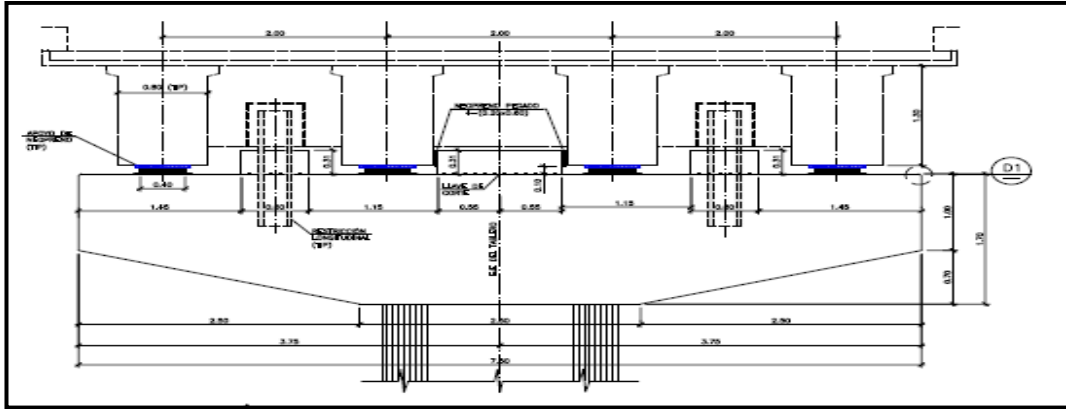


Figura N° 5.15 Viga cabezal típica de viaducto.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

## 5.2.5 Vigas Prefabricadas

### 5.2.5.1 Monorriel de Arequipa

Las vigas prefabricadas son las estructuras principales del monorriel, ya que la viga es la vía y la guía por donde se desplazan los trenes, tienen una longitud en promedio de 30 m, son post-tensadas, con una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 500 \text{ Kg/cm}^2$ . (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

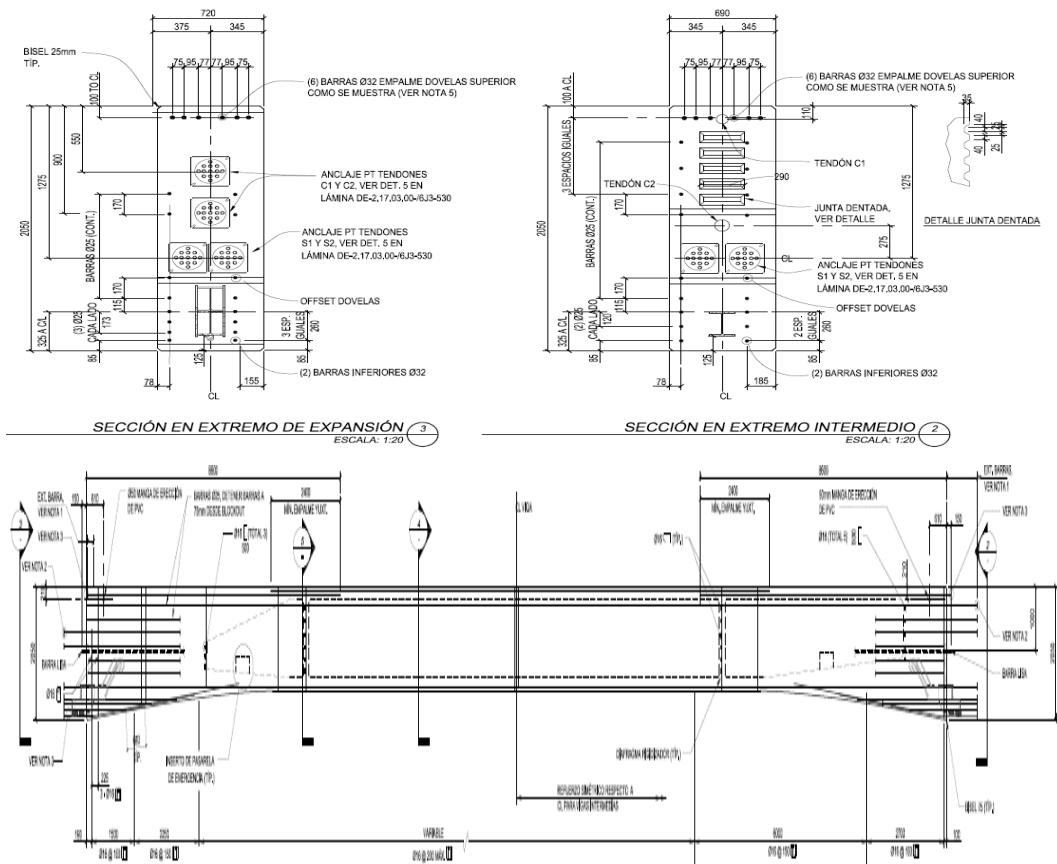


Figura N° 5.16 Viga prefabricada Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión



### 5.2.5.2 Línea 1 del metro de Lima

Las vigas son prefabricadas y pretensadas, y son de distintas longitudes y peralte, pero las típicas tienen en promedio 24.70 m para un vano de 25 m de longitud, con una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 420 \text{ Kg/cm}^2$ . Las vigas con longitudes mayores por lo general se encuentran en intersecciones con amplias avenidas, como es el caso de las vigas en la intersección del viaducto con las avenidas Los Jardines y Los Postes en San Juan de Lurigancho pues son prefabricadas y postensadas con longitudes de 38.0m y 40 m, el concreto de estas vigas tienen una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 490 \text{ Kg/cm}^2$  para ambas vigas según planos estructurales. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) La siguiente figura n° 5.17, muestra la viga típica

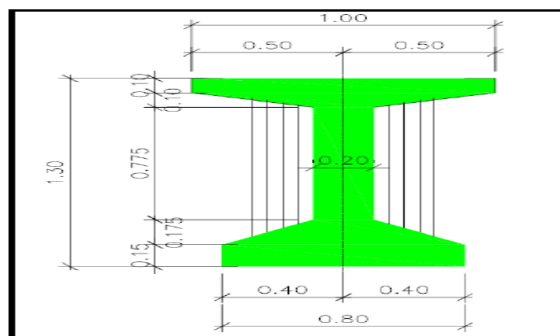


Figura N° 5.17 Viga prefabricada típica – Línea 1  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 5.2.6 Diafragmas

#### 5.2.6.1 Monorriel de Arequipa

Los diafragmas o juntas son elementos de concreto postensado que sirven para dar continuidad a los cabezales intermedios y rigidez torsional en los cabezales en expansión o extremo, esto para el caso de la vía doble y la vía única esta sobre las columnas intermedias y extremas o expansión. La función de esta estructura hace que el sistema sea monolítico uniendo las columnas con los cabezales y vigas. El concreto a usar es de una resistencia a la compresión de  $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ . (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

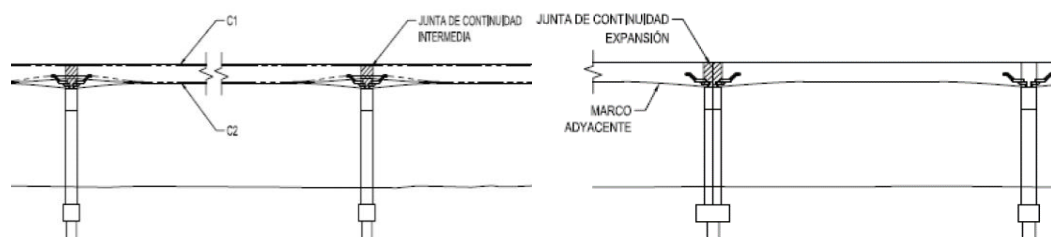


Figura N° 5.18 Diafragma Intermedio del Monorriel  
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.2.6.2 Línea 1 del metro de Lima

Las vigas diafragma, cumplen una función similar a lo descrito en el monorriel, son elementos de concreto postensado que sirven para dar continuidad a los cabezales intermedios y además darles rigidez torsional a los cabezales extremos de un módulo. Hace que el sistema sea una estructura monolítica uniendo, las columnas, las vigas cabezal con las vigas prefabricadas. El concreto usado para la construcción de las vigas diafragma tiene una resistencia a la compresión  $f'c=350\text{kg/cm}^2$ , y se postensará a través de barras dywidag cuyo acero es de tipo ST85/105, además cuenta con reforzamiento de acero pasivo  $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ . Los extremos de las vigas diafragma son protegidos con un concreto vaciado en una segunda etapa luego del postensado de las barras dywidag. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

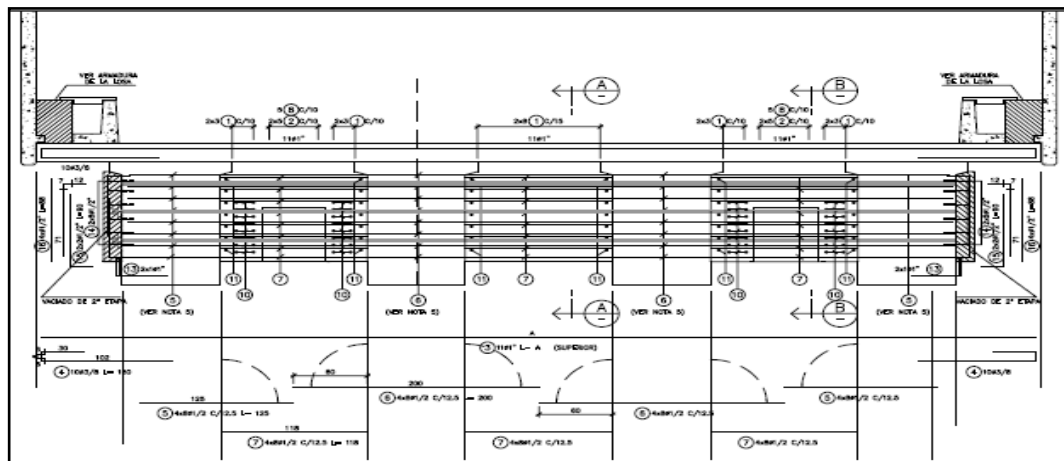


Figura N° 5.19 Diafragma en vigas prefabricadas de viaducto.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 5.2.7 Estructuras típica solo en el Monorriel de Arequipa

#### 5.2.7.1 Pasarelas de Evacuación

Las pasarelas de evacuación en el monorriel consisten de unos caballetes de acero ubicados cada 3 m empotrada en las vigas prefabricadas, y soportan una carga viva de 5 KPa. Atornillados a estos caballetes de acero, se ubican las pasarelas de emergencia propiamente dichas. Estas están compuestas de chapa diamantada de acero galvanizado doblado con una anchura típica de 60 cm (pero que puede variar) y 150 mm de espesor. Para mayor seguridad, existe una malla de protección contra caídas debajo de los caballetes para impedir que los pasajeros caigan al suelo bajo ninguna circunstancia. En la sección de vía guía doble, la pasarela de emergencia se encuentra entre las vigas prefabricadas y proporciona salida de los trenes viajando en ambas direcciones. En la sección con

vía guía única, la pasarela se compone de estructuras en voladizo localizadas en la parte exterior del circuito alrededor del núcleo central de la ciudad de Arequipa. El diseño incluye un pasamano continuo de cables de acero a nivel de las pasarelas de emergencia, ver figura n° 5.20

Los elementos estructurales de las pasarelas de emergencia también son utilizados para soportar bandejas de cable y antenas utilizadas por los sistemas de comunicación (SCADA), baja tensión y media tensión. La pasarela de emergencia sólo se utilizará por los pasajeros como último recurso, cuando no hay otro modo de rescatar el vehículo. Un vehículo averiado puede ser empujado por otro tren hasta la estación más cercana para la evacuación normal de pasajeros (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

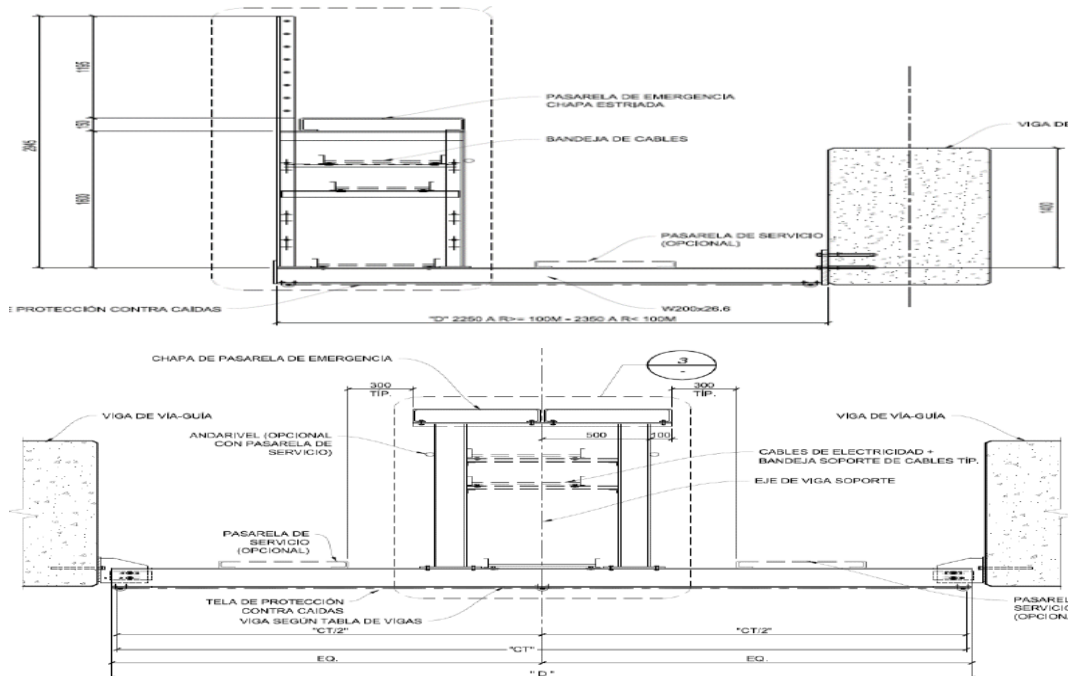


Figura N° 5.20 Pasarelas de emergencia - Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

## 5.2.8 Estructuras típicas solo en la Línea 1 del Metro de Lima

### 5.2.8.1 Tablero, Pre losa y losa

La superestructura del tablero del eje principal, para los módulos o tramos típicos, tiene un ancho total interno de 8.36 m para los tramos en tangente, para tramos en curva el ancho total es variable. El eje principal consiste de cuatro vigas prefabricadas pre-tensadas de sección "I" y de una losa de concreto armado vaciada in situ.

La losa del tablero tendrá 20 cm de espesor, mientras que la losa de los andenes en la estación de pasajeros será de 30cm. Las losas serán construidas en dos etapas.

- La primera etapa consiste en losas prefabricadas de 8 cm de espesor que servirán de encofrado para hacer el vaciado in situ de la segunda etapa hasta completar los espesores requeridos, para las pre-losas el concreto tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$
- El concreto de la losa (2da fase) tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

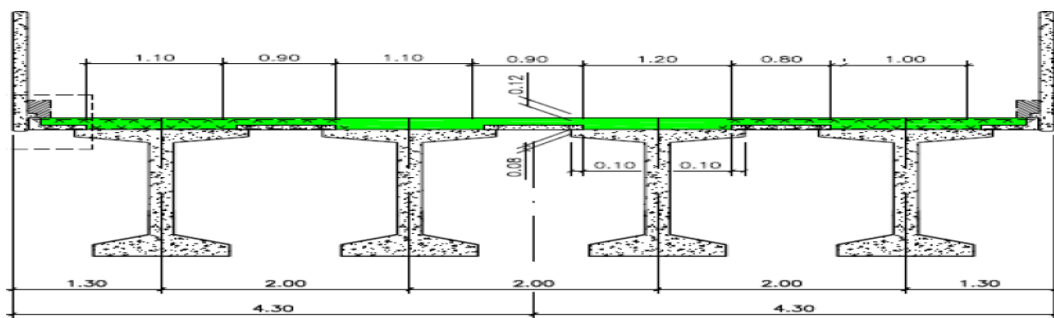


Figura N° 5.21 Sección Transversal Típica del Tablero

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 5.2.8.2 Bordes típicos.

Los bordes típicos, son elementos prefabricados que limitan el área de funcionamiento del viaducto, estos elementos están diseñados para resistir la carga que les transfiere los postes de catenaria además sirven además como elemento de seguridad ante posibles caídas. El borde pre-moldeado es el elemento lateral del viaducto elevado, conformado por parapetos de concreto armado pre-moldeado, como se muestra en la figura n° 5.22 además el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestras las cantidades fabricadas en la línea 1. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

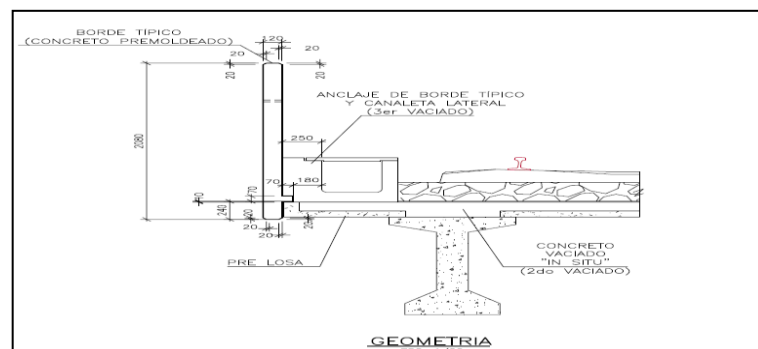


Figura N° 5.22 Detalle de borde típico  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 5.2.8.3 Canaletas.

Las Canaletas son elementos prefabricados cuya función es la de alojar cables electromecánicos, para el proyecto se tiene dos tipos de canaletas, las laterales y las centrales tal como se muestra en la siguiente figura n° 5.23.

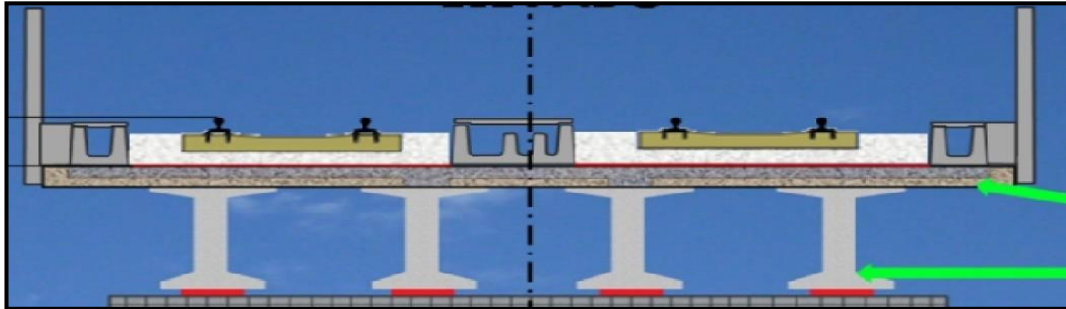


Figura N° 5.23 Canaletas y bordes típicos

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

A.-Las canaletas laterales son de concreto armado, con una parte pre-moldeada y la parte entre la cavidad de la canaleta y el borde típico, se ejecuta en campo, permitiendo el anclaje y monolitismo del borde típico y canaleta lateral con la losa del tablero principal. Estas canaletas tienen tapas que son pre-fabricadas en concreto armado y soportan el peso de personas, que servirá para la evacuación de personas cuando el tren sufra algún desperfecto.

B.-La canaleta central propuesta, es de concreto armado pre-moldeado, asegurado en la losa del viaducto mediante un mortero de nivelación. Esta canaleta está compuesta de tres cavidades, una de sección mayor para el paso de los cables de alimentación continua, mientras que las demás permitirán el tendido de cables de los demás sistemas electromecánicos que conforman el Tren Eléctrico. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012).

### 5.2.8.4 Vía férrea

Es aquella superestructura ferroviaria de vía permanente cuyo conjunto de elementos permite el adecuado tránsito de los trenes por la vía, dentro de los marcos de seguridad y confort. Está constituida por la vía de rieles, los durmientes, el balasto, manta de roca y todos los elementos menores de fijación que se instalan sobre la infraestructura previamente preparada. El diseño de la vía férrea principal está asociado al diseño geométrico del viaducto tanto para la vía principal como para el patio de Maniobras, a continuación, se muestra un esquema de las dimensiones típicas para tramos en tangente de la vía férrea, ver figura n° 5.24 y cuadro n°5.5

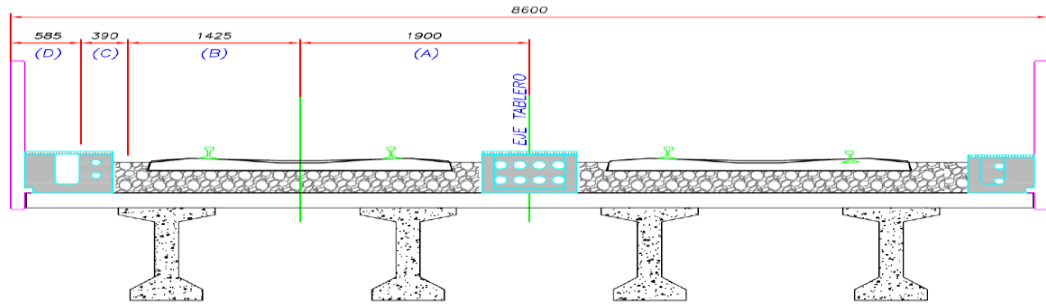


Figura N° 5.24 Muestra el Ancho mínimo de la vía.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

Cuadro N°5.5 Ancho de la vía férrea.

<b>TANGENTE</b>		
Ancho del Carro (m)	<b>(B)</b>	<b>1.425</b>
Dist. Eje Tablero - Eje Vía (m)	<b>(A)</b>	1.90
Factor de Seguridad (m)	<b>(C)</b>	0.39
Ancho adicional (m)	<b>(D)</b>	0.585
<b>Ancho Total/2 (m)</b>		<b>4.30</b>
<b>Ancho Total (m)</b>		<b>8.60</b>

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

#### 5.2.8.5 Estructuras especiales del Viaducto elevado

A.- Los cruces especiales, son aquellas construcciones no típicas del viaducto, y son los cruces especiales y los puentes sobre el río Rímac y sobre la vía de evitamiento. Los cruces especiales son vigas cajón, postensadas, los cuales fueron construidas en obra, el cuadro n°5.6 muestra los cruces especiales que se construyeron, en la Línea 1, para ampliar la información ver el anexo 2, ítem 2.1 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) y (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Cuadro N°5.6 Cruces especiales

Cruces Especiales		Longitud
Tramo 1	Interface tramo antiguo con	87
	Cabitos	127
	Canadá	109
	Del aire	109
Tramo 2	Ancash	145
	San Carlos	246
	Santa Rosa	94
	Bayovar	102

Fuente: Expediente técnico Línea 1, MTC

B.- Los puentes sobre el río Rímac y sobre la vía de Evitamiento, son estructuras especiales atípicas, cuyas longitudes son de 240 y 270 m lineales, respectivamente y consiste en la construcción de dovelas sucesivas, mediante encofrados Mk con carros de avance, son pos tensados y se usaron concretos de

alta resistencia, para ampliar la información ver el anexo 2, ítem 2.2 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

### 5.3 ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS.

#### 5.3.1 Monorriel de Arequipa

Las estaciones propuestas en este sistema, están de acorde a las características urbanas de la ciudad de Arequipa, observadas a lo largo del trazado de la línea, así como las características del sistema a instalar.

A continuación, se presenta las estaciones del monorriel y su clasificación, esta clasificación se tomó como base el trazo adoptado para el Monorriel, la demanda establecida para cada estación y las características del vehículo, motivo por el cual fueron desarrollados tres estudios para los tres tipos de estaciones, una en vía única y dos en vía doble (plataforma central y plataforma laterales).

A continuación, se muestra los nombres de las estaciones para el monorriel y con la designación del tipo de estación a construir.

Cuadro N°5.7 Tipos de estaciones del Monorriel

	Estación	Tipo de estación
1	Mercado	Tipo 1
2	Aeropuerto	Tipo 2
3	Metro	Tipo 2
4	Clínica	Tipo 3
5	Challa pampa	Tipo 1
6	Piedra Santa	Tipo 1
7	Unacollo	Tipo 1
8	Industrial	Tipo 1
9	Terminal	Tipo 1
10	Andrés Avelino	Tipo 1
11	Tristán	Tipo 1
12	Hospital	Tipo 1
13	Estadio	Tipo 1
14	Coliseo	Tipo 1
15	Independencia	Tipo 1
16	Mayta Cápac	Tipo 1
17	Trabajador	Tipo 1
18	Grau	Tipo 1
19	Shopping	Tipo 1

Fuente: Elaboración Propia

Para cada estación, se pueden identificar en términos generales, 3 tipos distintos, desde el punto de vista funcional.

- El cuerpo principal de la estación ubicada en el eje de la vía urbana.
- La pasarela de conexión entre el cuerpo de la estación y el edificio de los accesos.
- El edificio de los accesos de conexión con el espacio público, que incluye; el sistema de control de peaje (torniquetes); las instalaciones técnicas y las

instalaciones complementarias de apoyo a la explotación. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

Cuando se diseña una estación en un sistema de transporte masivo se debe garantizar ciertos factores y deben abarcar los espacios externos e internos de las estaciones, para ofrecer un buen nivel de confort y seguridad, principales factores son:

- Correcto dimensionamiento de las áreas públicas y de los equipos.
- Acceso rápido y seguro a los trenes.
- Funcionamiento seguro, eficaz y con una gestión conveniente de la estación.
- Buen sistema de señalización
- Prever la posibilidad de expansión de los servicios en función del crecimiento de la demanda.
- Vías de acceso para los discapacitados

La siguiente figura n° 5.25, muestra un flujo para el desplazamiento de los usuarios para el monorriel, además muestra los la distribución de los espacios públicos, los cuales son los siguientes:

- La distribución de las áreas de pago, no pago y áreas técnicas, que debe también garantizar las exigencias y requerimientos de la operación (venta de billetes, limpieza, mantenimiento, seguridad, etc.).
- La planta baja, donde se localizan las boleterías, línea de bloqueos y el área administrativa.
- En el piso intermedio y planta sótano están las zonas técnicas de apoyo a las estaciones y la circulación del tren.
- En la planta superior está localizada la plataforma de embarque y desembarque donde están previstas las puertas automáticas (puertas de Anden), que se abren junto con las puertas del tren cuando este llegue a la estación.
- Todas las zonas públicas de la estación son accesibles por vías de escaleras mecánicas, escaleras fijas, elevadores y escalera de seguridad. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)



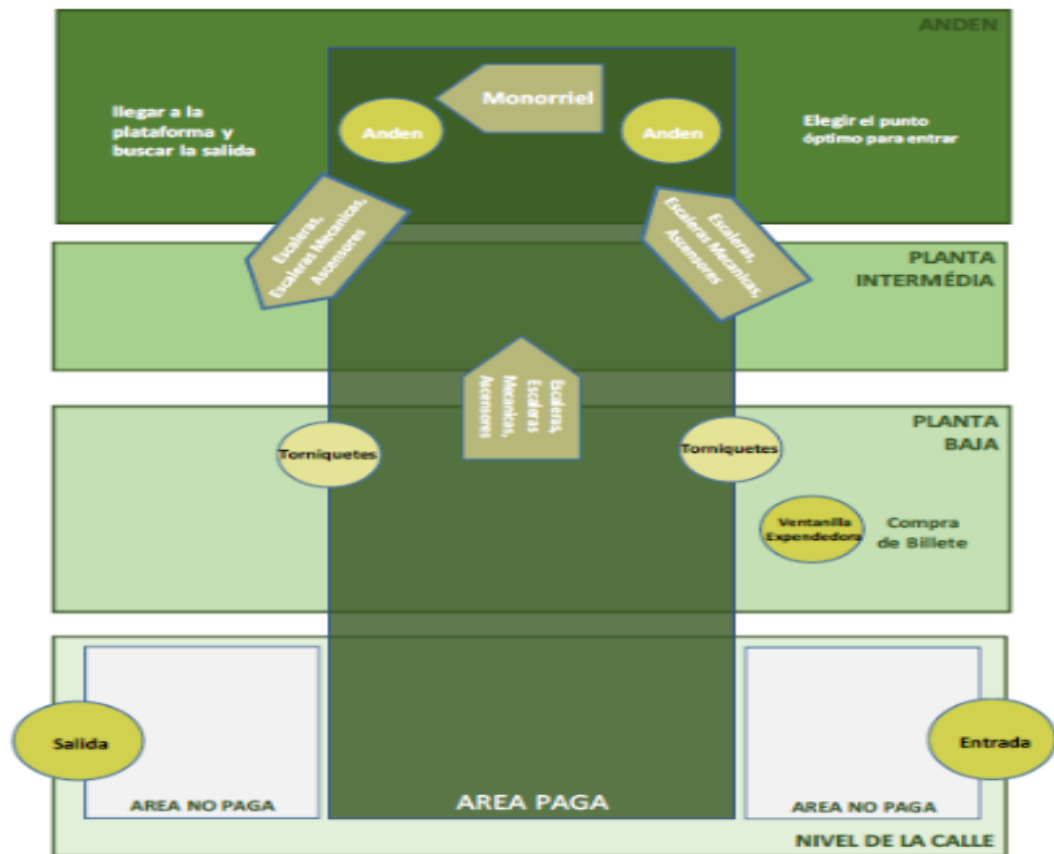


Figura N° 5.25 Recorrido del usuario del Monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.3.1.1 Estación Tipo 1

Esta se caracteriza por tener un andén lateral para la operación del tren en los tramos de una sola vía, en este tipo de estación, el andén podrá ser construido de uno o de otro lado de la vía, de acuerdo con la posición del Edificio de Acceso y Servicios. Son 16 estaciones de un total de 19, con este tipo de estación.



Figura N° 5.26 Perspectiva de estación tipo 1

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El nivel del andén se encuentra a una altura (mínima) de 10.60m y la viga de la vía a una altura de 10.18m, medidas a partir del nivel de la vía urbana. Las dimensiones del andén, incluyendo la zona externa de seguridad, las dimensiones del andén son de 52.92m de largo y 3.90m de ancho. La longitud para usuarios del andén corresponde a 49.32m. El área correspondiente al andén es definida por la ubicación de las puertas automáticas e integra la entrada del Edificio de Acceso y Servicios. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014).

En términos de dimensionamiento, el criterio adoptado para la definición del ancho mínimo es de 3.90m para un andén lateral presente en la siguiente figura:

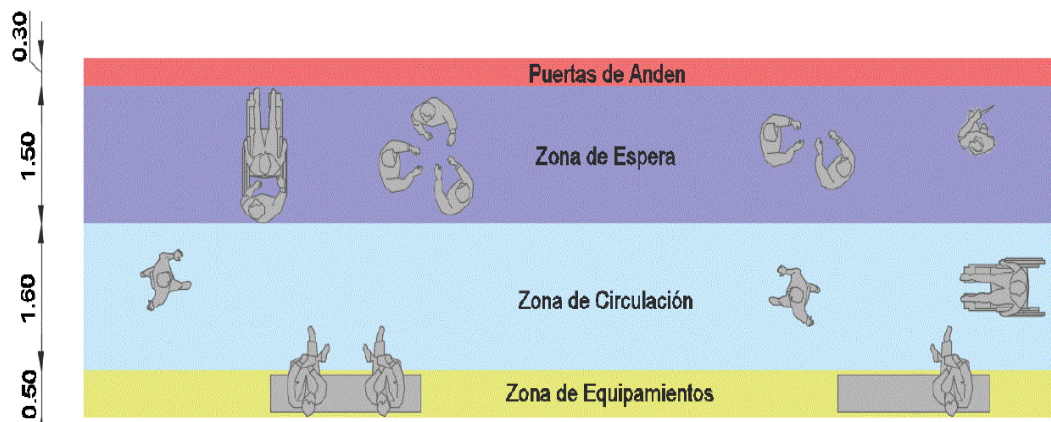


Figura N° 5.27 Espaciamiento del Anden de estación tipo 1

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión



Figura N° 5.28 Perspectiva del andén de estación tipo 1

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

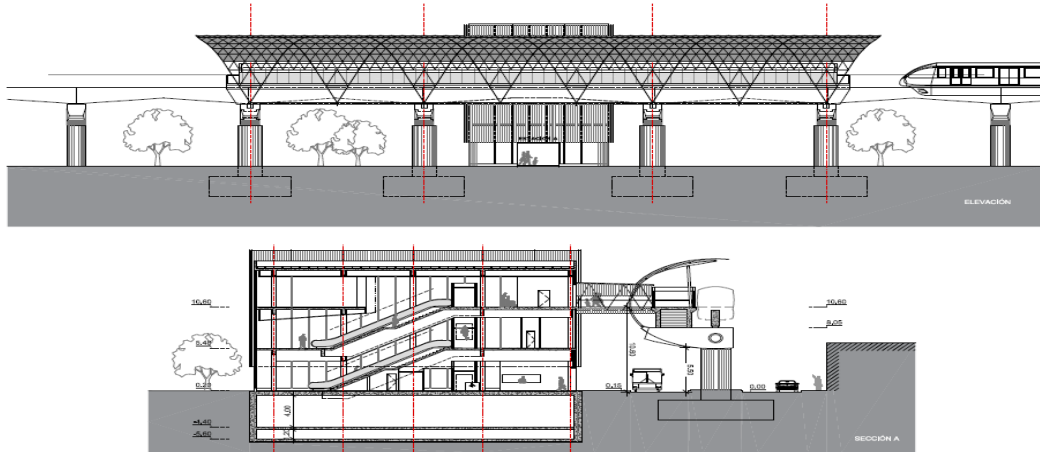


Figura N° 5.29 Vista en corte de la estación tipo 1

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

A continuación, se muestra el cuadro n°5.8, el cual muestra la ubicación de los servicios por cada nivel para la estación tipo 1

Cuadro N°5.8 Ubicación de los servicios de la estación tipo 1

Localización	Espacios
Sótano	Sala de Generador
	Sala de Transf. Serv. Aux. Sala
	Sala de Transf. Serv. Aux. Estación
	Sala de MT
	Sala de BT
	Sala de Bombas de Agua
	Sala de TPS
	Sala de Cisternas
Piso de Acceso	Área Disponible
	Sala de Vigilancia
	Boletería
	Sala de Control de Seguridad
	Cuarto de Valores
	Sala de Jefe de Estación
	Refectorio
	Vest. Hombre
	Vest. Mujeres
	Sala de Primeros Auxilios
	S.H. Discapacitados
	S.H. Hombres
	S.H. Mujeres
Sala de Depósito de Basura	
Área Disponible	
Piso Intermedio	Sala de Comunicaciones
	Sala de Señalización
	Sala de Baterías
Plataforma de Embarque	Plataforma
	Área Disponible

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.3.1.2 Estación tipo 2

Este tipo de estación se caracteriza por tener andén un central en vía doble, comprende un nivel intermedio bajo el andén, o mezanine, para asegurar una

adecuada distribución a los accesos verticales que conectan al andén, desde el edificio de acceso y lo servicios. Este tipo de estación, está presente en las estaciones: Aeropuerto y Metro.



Figura N° 5.30 Perspectiva de estación tipo 2

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El nivel del andén se encuentra a una altura (mínima) de 11.58m y la viga de la vía a una altura de 11.13m, medidas a partir del nivel de la vía urbana. Las dimensiones del andén son de 56.00m de largo por 6.85m de ancho, siendo 52.92m la longitud efectiva del andén para los usuarios. El área correspondiente al andén es definida por la ubicación de las puertas automáticas e integra el sistema de los accesos verticales compuesto por escaleras fijas, mecánicas y elevadores que conectan al mezanine. A un nivel inferior al andén se ha previsto un nivel técnico (bajo andén), de construcción ligera, que se desarrolla a lo largo de toda la plataforma de la estación. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014). En términos de dimensionamiento, el criterio adoptado para el ancho mínimo útil es de 6.85m para un andén lateral presente por la siguiente figura:

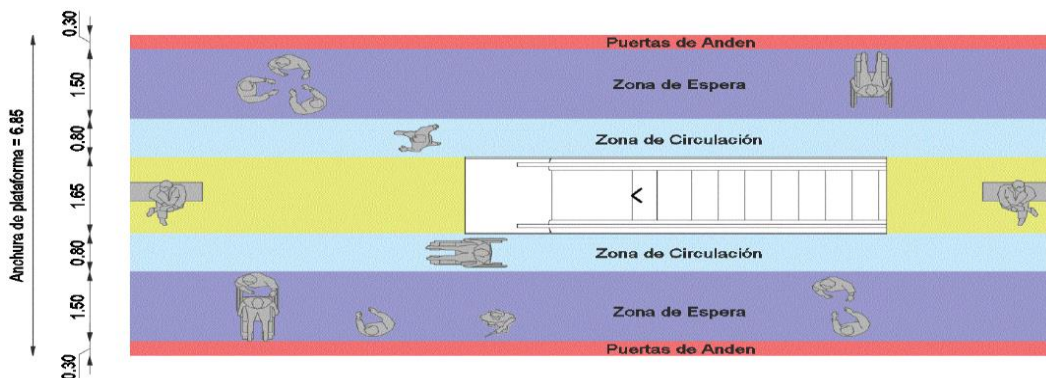


Figura N° 5.31 Espaciamiento del Anden de estación tipo 2

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión



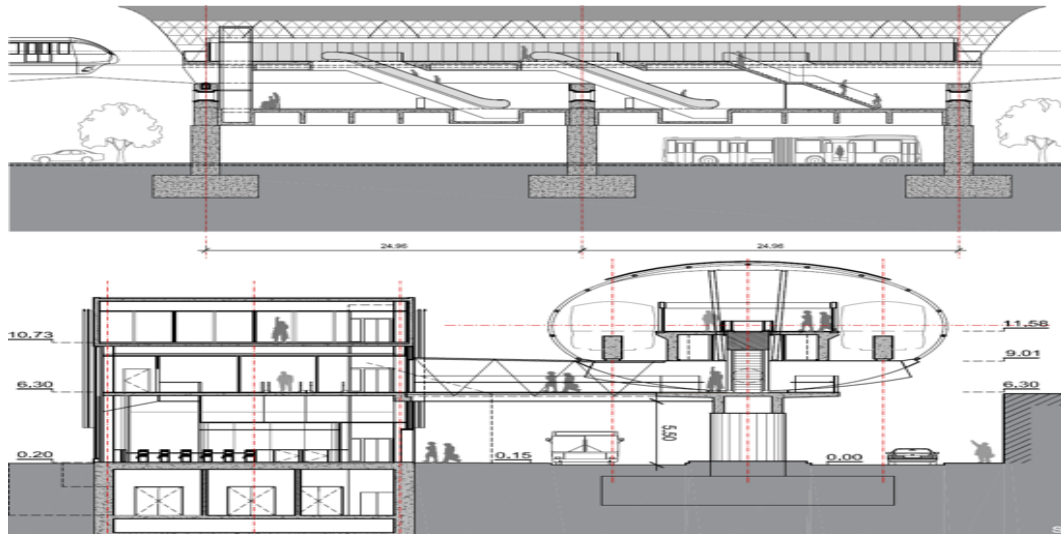


Figura N° 5.32 Elevación de la estación tipo 2

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

A continuación se muestra el cuadro n°5.9, el cual muestra la ubicación de los servicios por cada nivel para la estación tipo 2

Cuadro N°5.9 Ubicación de los servicios de la estación tipo 2

Localización	Espacios
Sótano	Sala de Generador
	Sala de Transf. Serv. Aux. Sala
	Sala de Transf. Serv. Aux. Estación
	Sala de MT
	Sala de BT
	Sala de Bombas de Agua
	Sala de TPS
Piso de Acceso	Sala de Cisternas
	Boletería
	Sala de Control de Seguridad
	Cuarto de Valores
	Sala de Jefe de Estación
	S.H. Hombres
	S.H. Mujeres
Mezanine	Sala de Depósito de Basura
	Sala de Comunicaciones
	Sala de Señalización
	Sala de Baterías
	Sala de Primeros Auxilios
	S.H. Discapacitados
	S.H. Hombres
Piso de personal	S.H. Mujeres
	Refectorio
	Vest. Hombre
	Vest. Mujeres
	Refectorio
	Área Disponible

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### 5.3.1.3 Estación tipo 3

Esta se caracteriza por tener dos andenes laterales en la vía doble, en esta tipología se ha previsto una pasarela que conecta los dos edificios de acceso y servicios, a un nivel intermedio, permitiendo al pasajero cambiar de plataforma y cruzar de un lado al otro sin tener que atravesar la línea del ferrocarril a nivel de la calle, este tipo de estación solo está presente en la estación Clínica.

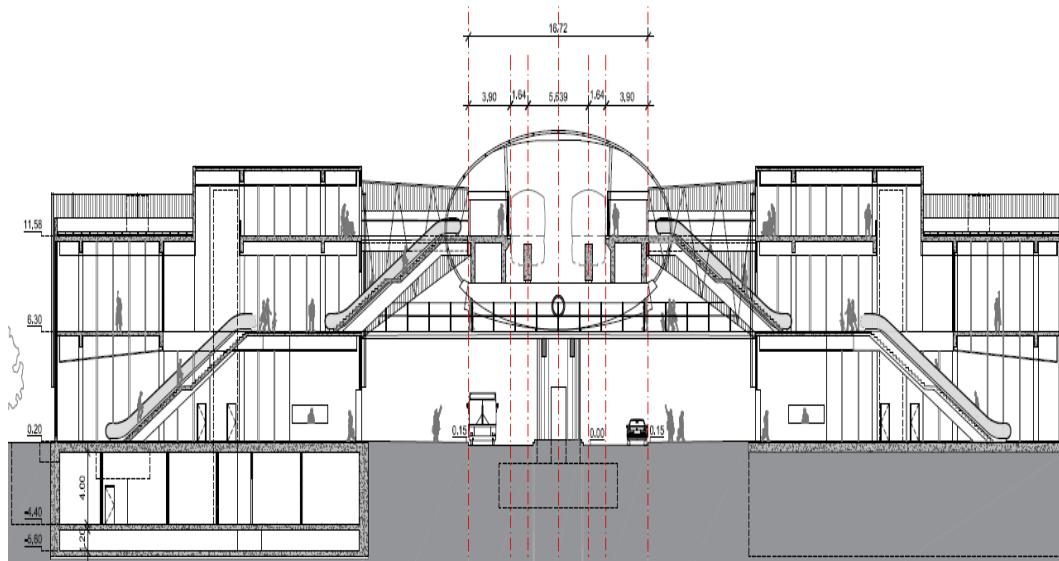


Figura N° 5.33 Corte de la estación tipo 3

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El nivel del andén se encuentra a una altura (mínima) de 11.58m y la viga de la vía a una altura de 11.13m, medidas a partir del nivel de la vía urbana. Las dimensiones de los andenes, incluyen la zona externa de seguridad, es de 56,00m de largo por 3.90m de ancho, siendo 52.92m el largo útil del andén para los usuarios. Así resulta una dimensión entre ejes de la viga de la vía de 5.64m. El área correspondiente al andén es definida por la ubicación de las puertas automáticas e integra el sistema de los accesos verticales compuesto por escaleras fijas, mecánicas y elevadores. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014). A un nivel inferior al andén se ha previsto un nivel técnico (bajo andén), de construcción ligera, que se desarrolla a lo largo de toda la plataforma de la estación. En términos de dimensionamiento, el criterio adoptado para la definición del ancho mínimo útil es de 3.90m para un andén lateral presente por la siguiente figura:

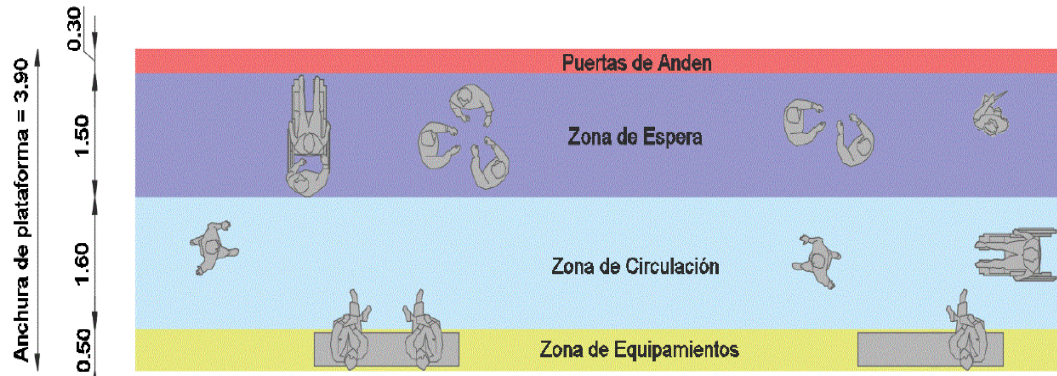


Figura N° 5.34 Espaciamiento del Andén de estación tipo 3

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

A continuación se muestra el Cuadro N°5.10, el cual muestra la ubicación de los servicios por cada nivel para la estación tipo 3

Cuadro N°5.10 Ubicación de los servicios de la estación tipo 3

Localización	Espacios
Sótano	Sala de Generador
	Sala de Transf. Serv. Aux. Sala
	Sala de Transf. Serv. Aux. Estación
	Sala de MT
	Sala de BT
	Sala de Bombas de Agua
	Sala de TPS
	Sala de Cisternas
	Área Disponible
Piso de Acceso	Boletería
	Sala de Control de Seguridad
	Cuarto de Valores
	Sala de Jefe de Estación
	S.H. Hombres
	S.H. Mujeres
	Sala de Depósito de Basura
Piso Intermedio	Sala de Comunicaciones
	Sala de Señalización
	Sala de Baterías
	Sala de Primeros Auxilios
	S.H. Discapacitados
	S.H. Hombres
	S.H. Mujeres
	Refectorio
	Vest. Hombre
	Vest. Mujeres
Área Disponible	

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

#### 5.3.1.4 Patio de Maniobras

Es dimensionado para el estacionamiento, mantenimiento y la reparación de la flota de material rodante, se ubicó entre las estaciones Mercado y Aeropuerto, en la parte norte de acuerdo al trazo del monorriel.

El acceso contiene dos intercambiadores de tres posiciones que permiten a los trenes acceder a cuatro vías de estacionamiento, una vía para lavado de trenes, y una vía destinada a la zona de talleres, un intercambiador de vigas localizado al final del área de estacionamiento, permite el cambio vehículos sin necesidad de grandes movimientos de trenes, para el lavado, limpieza y mantenimiento de vehículos en el área de estacionamiento, en resumen en el patio taller se realizar las siguientes actividades:

- Mantenimiento Preventivo y Correctivo
- Mantenimiento Pesado
- Servicio de Bogies
- Línea de estacionamiento para vehículos de manutención e inspección de vías. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)

La ilustración abajo muestra esquemáticamente la distribución del Patio/ Taller.

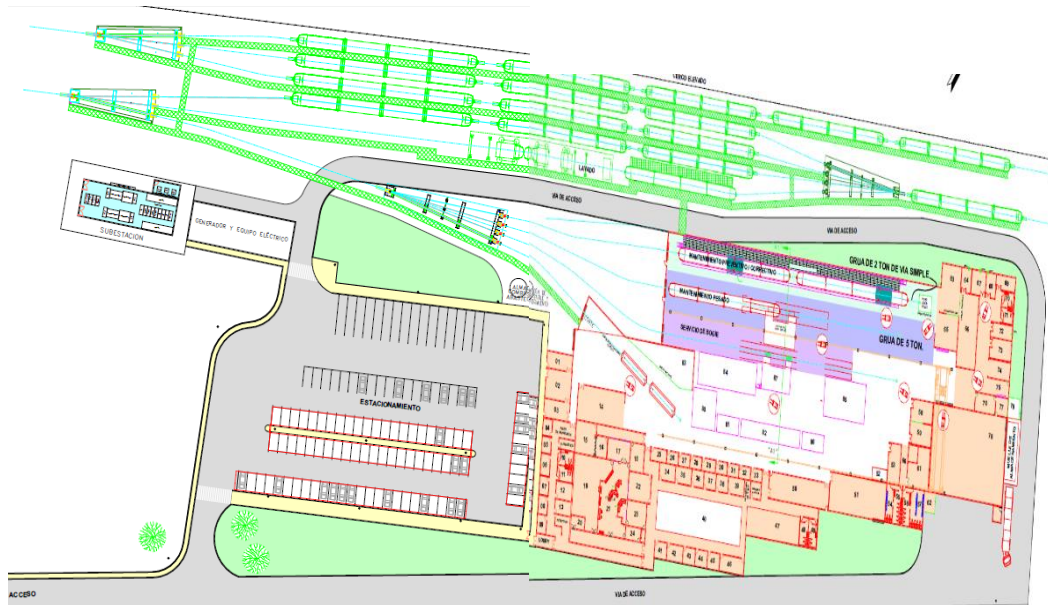


Figura N° 5.35 Distribución del patio taller del monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

Cuadro N°5.11 Zonas del patio taller del monorriel

	ACCESO A PATIO TALLER
	CERCO PERIMETRICO DE PATIO TALLER
	CERCO METALICO DE SEGURIDAD
	AREA DE OFICINAS
	AREA MANTENIMIENTO
	VEREDA
	VIA VEHICULAR
	PASARELA
	AREA VERDE
	SARDINEL
	ALUMBRADO (POSTES)

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión



### 5.3.2 Línea 1 del Metro de Lima

En las estaciones de pasajeros el diseño tanto arquitectónico como urbanístico considera el funcionamiento integral del sistema, por lo tanto, se han considerado las siguientes pautas para el diseño de las estaciones:

- Definiciones de la volumetría y distribución interna de las estaciones de pasajeros como primera definición, basada en las necesidades de la estación de pasajeros.
- Pre dimensionamiento de las estaciones de pasajeros, andenes, escaleras, zona paga y zona no paga, utilizando los cálculos de demanda de pasajeros basados en el estudio de demanda.
- Ubicación y definición espacial de las estaciones de pasajeros en su entorno urbano. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

#### 5.3.2.1 Marco Legal de inserción de la Línea 1

El área de inserción de las estaciones se encuentra condicionada por las Ordenanzas N° 975 y N° 1101 y el Decreto Legislativo N° 418 que autorizan la franja correspondiente al derecho de vía del Tren Eléctrico. En general esta franja tiene un ancho de 18 y 22 metros, de los cuales se estiman: 8 metros para el viaducto y 10 para otras infraestructuras requeridas. La franja no establece límite en altura.

El artículo 3ro. del Decreto Legislativo N° 418 concede a la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico la posibilidad de, mediante Resolución Suprema, señalar otras dimensiones que se pudieran requerir del uso de la vía pública. Para ello se deberá coordinar previamente con la Dirección de Desarrollo Urbano de la Municipalidad de Lima, se ha considerado también:

- Reglamento Nacional del Sistema Eléctrico de Transporte de Pasajeros en vías férreas que formen parte del Sistema Ferroviario Nacional; aprobado por Decreto Supremo N° 039-2010-MTC.
- Ley N° 28735, Ley que regula la atención de las personas con discapacidad, mujeres embarazadas y adultos mayores en los Aeropuertos, Aeródromos, Terminales Terrestres, Ferroviarios, Marítimos y Fluviales y Medios de Transporte.
- El Reglamento Nacional de Edificaciones R.N.E.

Las dimensiones básicas requeridas en las Especificaciones Técnicas Básicas se muestran en el siguiente cuadro resumen:

Cuadro N°5.12 Dimensiones de una estación de Pasajeros, Línea 1

Elemento	Dimensiones requeridas en ETB	Según proyecto
Longitud de andenes, mínimo	120 m	122.20 m
Ancho de andenes laterales, mínimo	4,00 m	5.00 m
Desnivel entre tope del riel y andén - Altura de andén	1,05 m	1,05 m
Separación máxima entre borde de andén y vagones (para estación en recta)	10 cm.	10 cm.
Separación máxima entre borde de andén y vagones para estación en curva)	15 cm.	No aplica
Gálbo mínimo entre tope de riel y estructura sobrepasante	4,6 m.	4.6 m.
Gálbo mínimo entre calzada y estructuras sobrepasante(en zona urbana)	5,2 m.	No aplica
Gálbo mínimo entre calzada y estructuras sobrepasante(en autopistas)	5,5 m.	No aplica
Pendiente máxima del perfil en estaciones	0,50%.	0.50 %
Radio de curvatura horizontal mínimo (para estación en curva)		No aplica

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 5.3.2.2 Parámetros de diseño en las estaciones

El emplazamiento de cada una de las estaciones permite obtener las siguientes ventajas:

- Menor impacto urbano, las estaciones se ubican bajo el viaducto existente y la intervención de las edificaciones nuevas será mínima, no afectará las vías ni áreas aledañas.
- Optimización del tiempo de construcción, menor tiempo de implementación.
- El proyecto contempla la reubicación de las redes de servicios públicos, que se vean afectados por la construcción de la estación.

El acceso para discapacitados, cumple la normatividad vigente del RNE. Norma A.120 con las siguientes consideraciones de acuerdo al Art. 3 del RNE:

- Accesibilidad a todos los ambientes públicos, como zona no paga y paga, a ambos lados de cada andén, zonas de ingreso y servicios.
- Se cuenta con dos ascensores de acceso a los andenes, con elementos de reconocimiento táctil (tablero en braille). El dimensionamiento de los ascensores será según lo indicado en el RNE norma A.120, la cabina mínima será de 1.40 X 1.20, para lo cual se ha previsto una caja de ascensores de 2.20 x 1.85 m.

- Se han contemplado “Rutas accesibles” señales visuales y sonoras, señales foto luminiscentes de emergencia para la circulación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

La ruta de acceso, se ha logrado conectar los ambientes públicos accesibles de manera fácil e inmediata, desde la zona pública, zona de acceso, zona no paga, zona paga, andén, incluyendo acceso a servicios y rutas de escape, rutas de evacuación.

Las estaciones cuentan con señalización y señales de acceso, rutas de escape, rutas de evacuación con señales visuales y/o sonoras, señales de emergencia.

El espacio público del sistema contempla ambientes de baño para personas con discapacidad diferenciados por sexo en cada uno de los servicios higiénicos, cumpliendo con las condiciones establecidas en la Norma A.120 del RNE. Según la norma esta medida no deberá ser menor a 1.50 de ancho x 2.00 de profundidad para el espacio de inodoros y con un espacio de 75 x 1.20 m para lavatorios.

#### *5.3.2.3 Descripción general de las estaciones.*

Las estaciones presentan 2 áreas diferenciadas según su función:

Área de pasajeros: este sector comprende todos los espacios necesarios para realizar el embarque y/o desembarque de los usuarios al tren, considerando los ambientes de operatividad y servicio.

Área técnica: Destinada a la implementación de los sistemas electromecánicos para la operación integral del sistema.

El diseño volumétrico de las estaciones está realizado mediante elementos cerrados y elementos virtuales, permitiendo la definición espacial de ésta en el primer nivel, evitando en lo posible tener un volumen de concreto cerrado.

En la zona de andenes se ha planteado un volumen ligero compuesto por estructura metálica y una cobertura exterior de planchas de aluzinc y, en el caso de las Estaciones de Pasajeros El Ángel y Presbítero Maestro una cobertura de policarbonato. En cuanto al diseño volumétrico de las coberturas, se ha optado por un diseño elíptico con el fin de lograr una homogeneidad a lo largo del eje del viaducto. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012).

En este sistema de las 26 estaciones, 7 son estaciones a nivel de terreno y antiguas, que se construyeron en la primera etapa del proyecto y que en la construcción del tramo 1 estas tuvieron que ser modernizadas. Las 19 estaciones restantes son elevadas fueron construidas en los tramos 1 y 2, los diseños de estas estaciones son típicas a excepción de la Estación Martinete, cuya edificación

es particular por las características del entorno. A continuación, en el cuadro n°5.13 se lista a las estaciones.

Cuadro N°5.13 Estaciones de la Línea 1 del Metro

Tramos de Ejecución	Estaciones	Observación	
<b>TRAMO 1 (Antigua Infraestructura - Viaducto a Nivel)</b>	E. Villa el Salvador	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
	E. Parque Industrial	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
	E. Pumacahua	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
	E. Villa María	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
	E. María A.	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
	E. San Juan	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
	E. Atoncongo	Se realizó mejoramiento	Estación a Nivel
<b>TRAMO 1 (Nueva Infraestructura - Viaducto Elevado)</b>	E. Jorge Chávez	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Ayacucho	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Cabitos	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Angamos	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. San Borja Sur	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. La cultura	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Nicolás Arriola	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Gamarra	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Miguel Grau	Construcción Nueva	Estación Elevada
<b>TRAMO2</b>	E. El Ángel	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Presbítero M	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Caja de Agua	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Pirámides del Sol	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Los Jardines	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Los Postes	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. San Carlos	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. San Martín	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Santa Rosa	Construcción Nueva	Estación Elevada
	E. Bayóvar	Construcción Nueva	Estación Elevada

Fuente: Elaboración Propia

En las 7 estaciones antiguas se realizaron actividades como Techado de los andenes, reparación de los cercos perimétricos, reparación y ampliación de las escaleras de acceso, modernización de los sistemas electromecánicos, reparaciones y cambios de los sistemas sanitarios y de agua contra incendio, cambio de los cerámicos, pintado y otras actividades complementarias de acabados.



Figura N° 5.36 Estación típica de la Línea 1

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

#### 5.3.2.4 Características del Área de Pasajeros

El acceso a las estaciones de pasajeros, así como a las instalaciones de las mismas están proyectadas a nivel de la vía, contando con un segundo nivel sólo para la zona de andenes. El diseño y cálculo de los accesos peatonales de las estaciones de pasajeros están en función a la demanda de usuarios de cada una de ellas. Las zonas de acceso, boleterías y demás ambientes de las estaciones han sido dimensionadas, tanto para la operación normal como para casos de evacuación por emergencias. Además, La principal característica de la estación típica es que se ubica dentro del derecho de vía de 18.00m, según la ordenanza N° 975 y 1101, la figura n° 5.37 y figura n° 5.38 muestran el área de pasajeros de una estación típica.

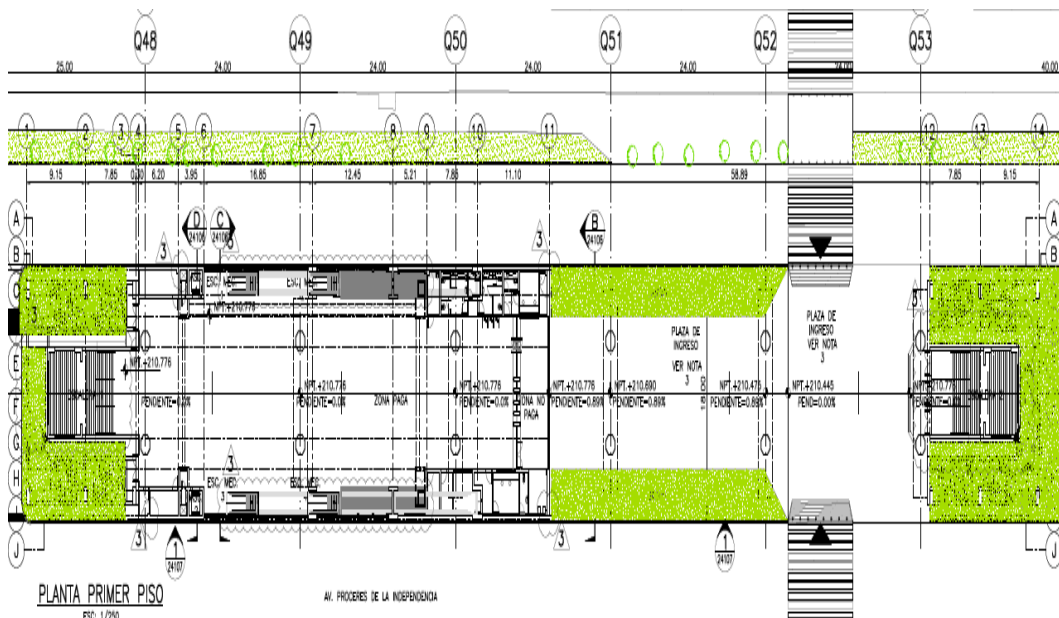


Figura N° 5.37 Vista en planta del Área de Pasajeros

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

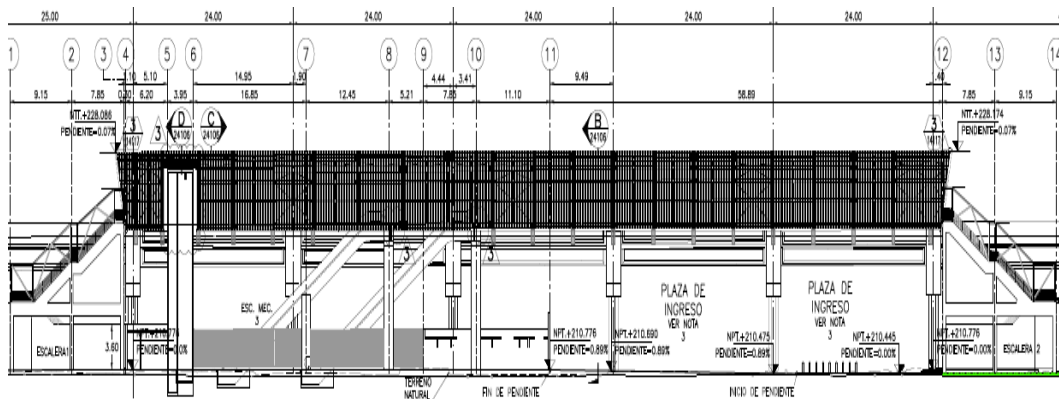


Figura N° 5.38 Vista Lateral del Área de Pasajeros

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

Las estaciones están conformadas por una serie de edificaciones, ubicadas por debajo del viaducto elevado por donde circula el tren. Cada área de pasajeros está conformada por estos ambientes.

- Zona exterior de acceso y puerta principal
- Línea de Torniquetes
- Boletería
- Zona de máquinas expendedoras de boletos
- Zona de teléfonos públicos
- Sala de Jefe de Estación
- Sala de Seguridad
- Cuarto Tópico
- Sala de Tableros Eléctricos
- Cuarto de Equipos de Telecomunicaciones
- Cuartos de limpieza y basura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

Estos ambientes tienen alturas menores a 4m, en la zona exterior están estructurados mediante muros de concreto armado 15cm de espesor y en la zona interior muros de albañilería confinada, que soportan losas de concreto armado de 12cm de espesor. Estos muros proporcionarán la rigidez y resistencia ante acciones laterales de sismo.

El ingreso general y la circulación vertical principal (escaleras de concreto) se encuentra en uno de los extremos de las estaciones y las escaleras de emergencia se ubicarán en el extremo opuesto de los andenes, las cuales presentan un diseño similar a las escaleras públicas con un cerramiento en el primer nivel.

Este diseño típico de estación de pasajeros le permite ser ubicada en un cruce vial importante, pudiendo ubicar el ingreso desde cualquiera de las esquinas.

Asimismo, se ha uniformizado los ambientes de boletería con baños públicos y de jefe de seguridad con jefe de estación en módulos de igual longitud y características similares con el fin de facilitar el procedimiento constructivo y su correcto funcionamiento.

Las estructuras de las estaciones son independientes a la estructura del viaducto, para lo cual están separadas mediante una junta sísmica. Esta junta es variable dependiendo de la ubicación. En el primer nivel, las juntas entre piso y columna del viaducto son de 5 cm. En el nivel de Mezanine, como el caso de la estación Presbítero Maestro, las juntas entre columna de viaducto y losa es de 15 cm. En el caso de andén, los anchos de juntas varían de acuerdo a la altura de la Estación y están indicadas en los planos.

Las cimentaciones de las edificaciones consistirán en cimientos corridos, mientras que, para las estructuras de mayores dimensiones como escaleras de concreto, escaleras mecánicas y ascensores, la cimentación empleada será del tipo de zapata aislada. Para los elementos en voladizo (ascensor y apoyos de las escaleras mecánicas) se ha considerado el caso crítico de los momentos de volteo sísmicos para dimensionar las cimentaciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012).

Las escaleras mecánicas y los ascensores se ubican hacia los costados de los andenes, disminuyendo su ancho útil en pequeños tramos con la finalidad de respetar el ancho de estación que permita incorporarse dentro del derecho de vía establecido, como se observa en la figura n° 5.39.

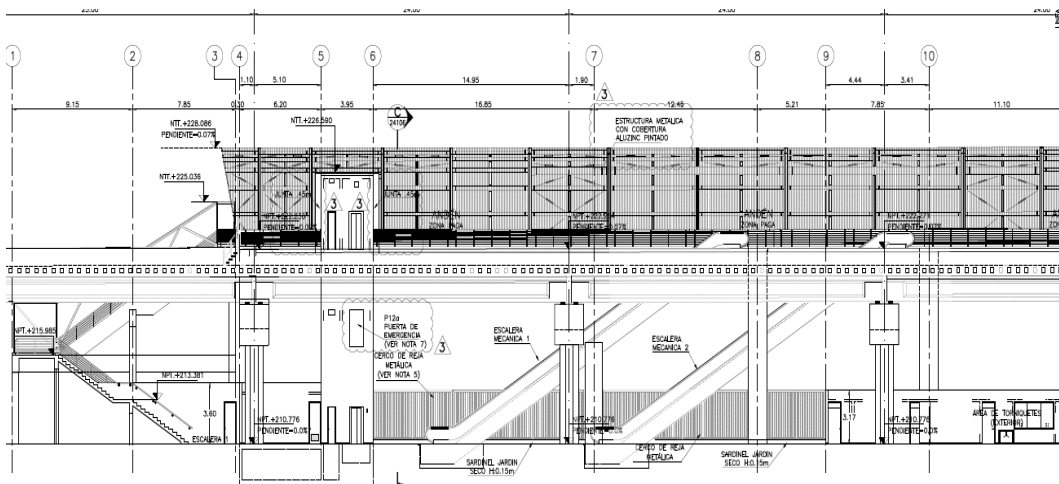


Figura N° 5.39 Escalera 1, caja de ascensor, y escaleras mecánicas.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 5.3.2.5 Características del Área Técnica

La ubicación del área técnica se ha planteado a nivel de vía, bajo el viaducto elevado, ocupando la sección central de la avenida, para lograr la eficiencia de las instalaciones. Se ha planteado un acceso vehicular desde la avenida principal, con un control de seguridad, hacia un patio de maniobras interior, ver figura n° 5.40

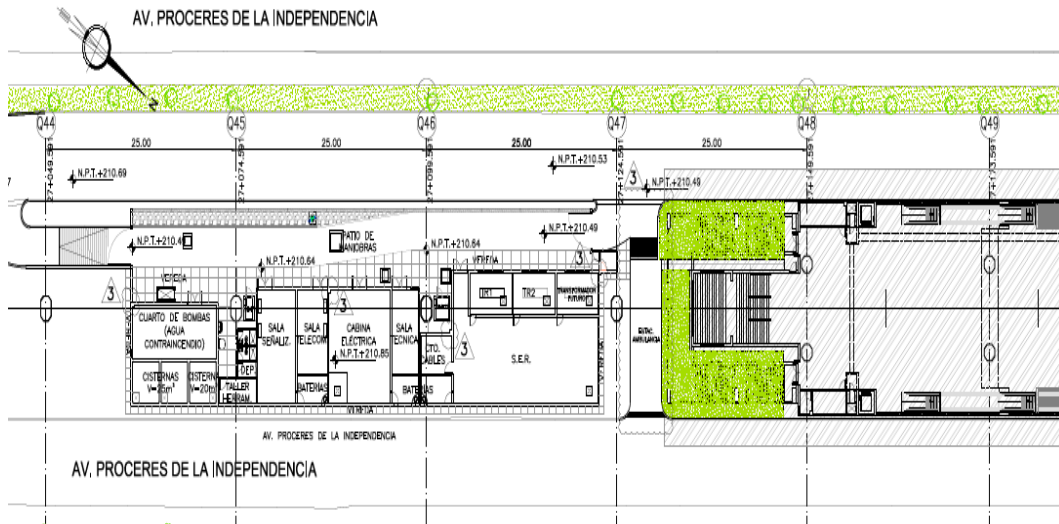


Figura N° 5.40 Vista en planta de Ubicación Área Técnica.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

Las áreas técnicas de las estaciones de pasajeros están ubicadas lo más cerca posible del área de pasajeros de la estación, de esta manera se facilita la integración de los sistemas electromecánicos, asimismo se crearon ductos de comunicación, denominados shaft ubicados en las áreas técnicas y que conectarán el primer nivel de la estación con el viaducto. A continuación, se lista las salas técnicas.

- Cabina Eléctrica
- Sala de Telecomunicaciones
- Sala de Rectificación
- Sala de Señalización
- Sala de Baterías
- Sala de Bombas Contra incendios
- Sala Técnica
- Cuarto de Vigilancia
- Vías de acceso vehicular y Peatonal

La ubicación de las diferentes salas técnicas descritas y así como las dimensiones de las mismas, están determinadas por los requerimientos electromecánicos del



sistema basados en estudios, normas y simulaciones del sistema eléctrico del Tren. Con el objetivo de obtener el mejor funcionamiento de los sistemas electromecánicos se diseñaron 4 tipos de áreas técnicas diferenciadas en los tipos de sistemas electromecánicos contenidos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

El siguiente cuadro n°5.14 indica los tipos de áreas técnicas según los ambientes que las conforman.

Cuadro N°5.14 Tipos de Áreas Técnicas en estaciones

TIPOLOGÍA	AMBIENTES
TIPO 1	SER
	Cabina Eléctrica
	Sala de Telecomunicaciones
TIPO 2	Sala de Señalización
	Cabina Eléctrica
	Sala de Telecomunicaciones
TIPO 3	Sala de Señalización
	Cabina Eléctrica
TIPO 4	Sala de Telecomunicaciones
	SER
	Cabina Eléctrica
	Sala de Telecomunicaciones

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

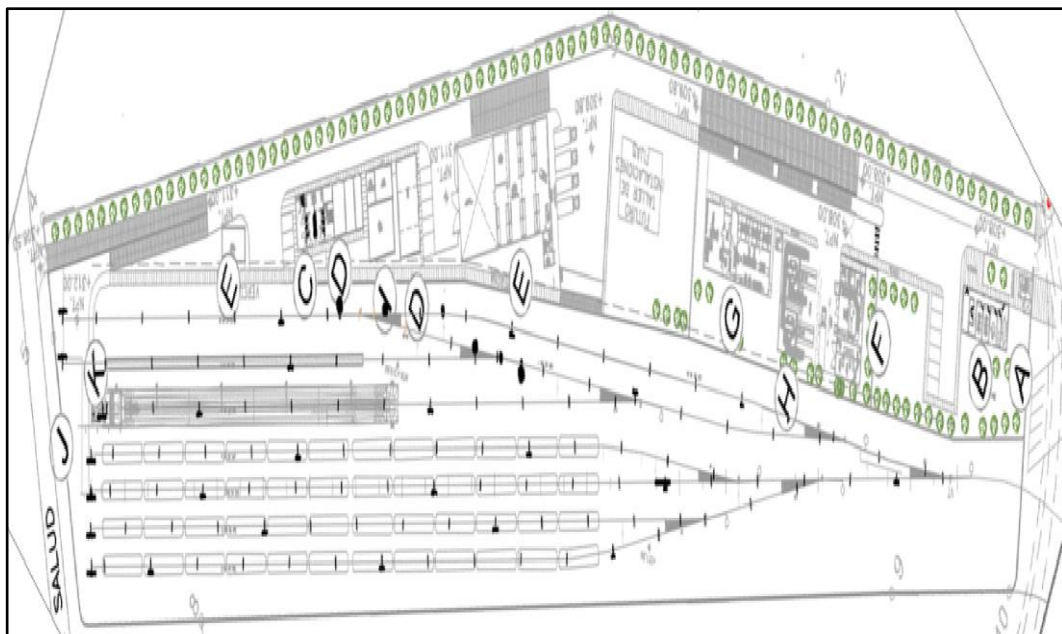
### 5.3.2.7 Patio de Maniobras

El Patio de Maniobras es una estación ferroviaria que cumple la función de ordenación de los trenes, está conformado por un sistema de vías férreas, instalaciones y edificaciones de uso diverso. La línea 1 del metro de lima cuenta con dos patios de maniobras, el primero se ubica en el distrito de villa el salvador, fue construido inicialmente en la primera etapa de construcción en los años 80, pero fue ampliado y modernizado en la construcción del tramo 1 de la línea 1. El segundo patio de maniobras se ubica en el distrito de San Juan de Lurigancho y se ejecutó en la construcción del tramo 2 de la línea 1.

En el patio taller del Tramo 1, se realizó la construcción de dos edificios de taller, el primero de reparaciones mayores de material rodante y el segundo de instalaciones fijas, en ambas edificaciones se realizaron trabajos de placas, columnas y vigas de concreto armado, tabiquería de ladrillo, cobertura de metal cubierta con planchas de acero zincada tipo diente de sierra, puertas de metal, ventanas con marcos de metal y con vidrio, además del mejoramiento o ampliación de las instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, y red de agua contra incendio. Para la construcción del taller de reparaciones mayores de material

rodante se dispuso de un área de 8.400 m<sup>2</sup>, junto al taller de mantenimiento corriente de material rodante (existente) y para el edificio taller de instalaciones fijas se dispuso de un área libre de 660 m<sup>2</sup>. En el Patio taller del Tramo 2, cuenta con un área de 36,292.85m<sup>2</sup> y presenta dos zonas bien definidas Zona de Maniobras y Zona de Edificaciones. En la zona de Maniobras se encuentran las vías férreas para Estacionamientos, Fosa de Inspección, Zona de lavado. En la zona de Edificaciones se plantea la Caseta de vigilancia, Oficinas Administrativas, Facilidades Diversas y Vestuarios, Almacén, Subestación y Cabina Eléctrica, Cisternas y Cuarto de Bombas, Caseta de zona de Lavado y Caseta de Sistema de Aire Comprimido. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) La figura n° 5.41 y el cuadro n°5.15 muestran la distribución del patio de maniobras del tramo 2

Figura N° 5.41 Patio de maniobras Línea 1 tremo 2



Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

Cuadro N°5.15 Zonas del patio de maniobras

ZONA	MODULO	AREA
ZONA 1: AREA DE EDIFICACIONES	BLOQUE <b>A</b> : CASETA DE CONTROL	27.70m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>B</b> : OFICINAS ADMINISTRATIVAS	125.10m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>C</b> : FACILIDADES DIVERSAS Y VESTUARIOS (DOS NIVELES).	424.96m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>E</b> : ALMACEN	789.63m <sup>2</sup>
	BLOQUES <b>F Y H</b> : SUBESTACION ELECTRICA 60/20KV	393.80m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>G</b> : CABINA ELECTRICA	118.12m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>I1</b> : SISTEMA DE AGUA DOMESTICA	55.00m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>I2</b> : SISTEMA DE AGUA CONTRAINCENDIO	150.00m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>J</b> : CENTRAL AIRE COMPRIMIDO.	114.75m <sup>2</sup>
	BLOQUE <b>K</b> : ZONA DE LAVADO (DOS NIVELES)	381.65m <sup>2</sup>
ZONA 2: AREA DE MANIOBRA DE TRENES	FOSA DE INSPECCION (TECHADO)	828.96m <sup>2</sup>
	ANDENES DE SERVICIO 2 LINEAS	528.00m <sup>2</sup>

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

En el Anexo 2, se amplía un resumen sobre la composición del sistema electromecánico tanto para el monorriel y para la Línea 1 del metro de Lima.

## 5.5 ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO

### 5.5.1 Secuencia de Construcción.

En esta sección se mostrará la secuencia de construcción entre los dos sistemas descritos anteriormente, mostrando hasta que nivel cumplen las mismas etapas de construcción civil, cabe resaltar que el Sistema monorriel y tren sobre viaducto elevado son similares en obras civiles, y que su diferencia más resaltante esta entre ellas está la capacidad de transporte de usuarios y la tecnología electro mecánica. Además, para elaborar el presente análisis se tomará como base los siguientes puntos:

- El módulo típico con pilotes del tramo 2 de la Línea 1 del metro de Lima, ya que como etapas constructivas desde la cimentación hasta el montaje de vigas es lo más similar al Monorriel.
- El estudio del sistema tipo Monorriel para la Ciudad de Arequipa fue desarrollado por las empresas Queiroz Galvao y Bombardier para Pro Inversión, Las empresas mencionadas tienen la experiencia de haber construido el primer monorriel de Sudamérica en la ciudad de Sao Paulo en Brasil (Línea 17 del metro). Y de esta obra como un complemento se mostrará a imágenes de su construcción y así tener una manera didáctica que represente la idea de cómo sería una futura construcción del monorriel de Arequipa, o la propuesta de monorriel para la línea 6 del metro de Lima o que este sistema se pueda implantar como medio de transporte en alguna ciudad del Perú.
- Por la similitud en las estructuras civiles de la vía del monorriel y del metro elevado, también se tomará la experiencia de la construcción de la Línea 1 y aplicarlo para el monorriel, solo para obras civiles y edificaciones.
- Se describirá todo el macro proceso de ambos sistemas a nivel de planeamiento de construcción de obra, comparando las fases similares y mostrando también las que son propias de cada sistema.

#### 5.5.1.1 Obras civiles Similares

##### A.-Identificación y Liberación de Interferencias

Los dos sistemas en análisis tienen el trazo a través de avenidas, donde no se planifico implantar un viaducto elevado, entonces esto hizo que para ambos casos

mientras crecían las ciudades también era necesario brindar de más servicios a la población. Entonces cuando se hizo el trazo para el monorriel y la línea 1, se toparon con interferencias a la construcción, estas interferencias pueden ser Aéreas y/o subterráneas, en las Interferencias aéreas podemos encontrar cableados aéreos, estos pueden ser Líneas de Alta, media y baja tensión, redes de telefonía o fibra óptica. En las interferencias subterráneas, específicamente debajo o muy cercanas a la ubicación de las zapatas, es donde se podría encontrar redes de agua y desagüe, redes de gas, incluso redes subterráneas de Alta, media y baja tensión y también redes de comunicaciones.

Entonces para poder ejecutar las obras civiles del metro, es necesario, realizar el retiro de las interferencias, a continuación, la figura n° 5.42, se muestra el flujo para la gestión del retiro y reubicación de interferencias de la obra del tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima, el cual podría ser aplicado en una eventual obra del Monorriel de Arequipa.

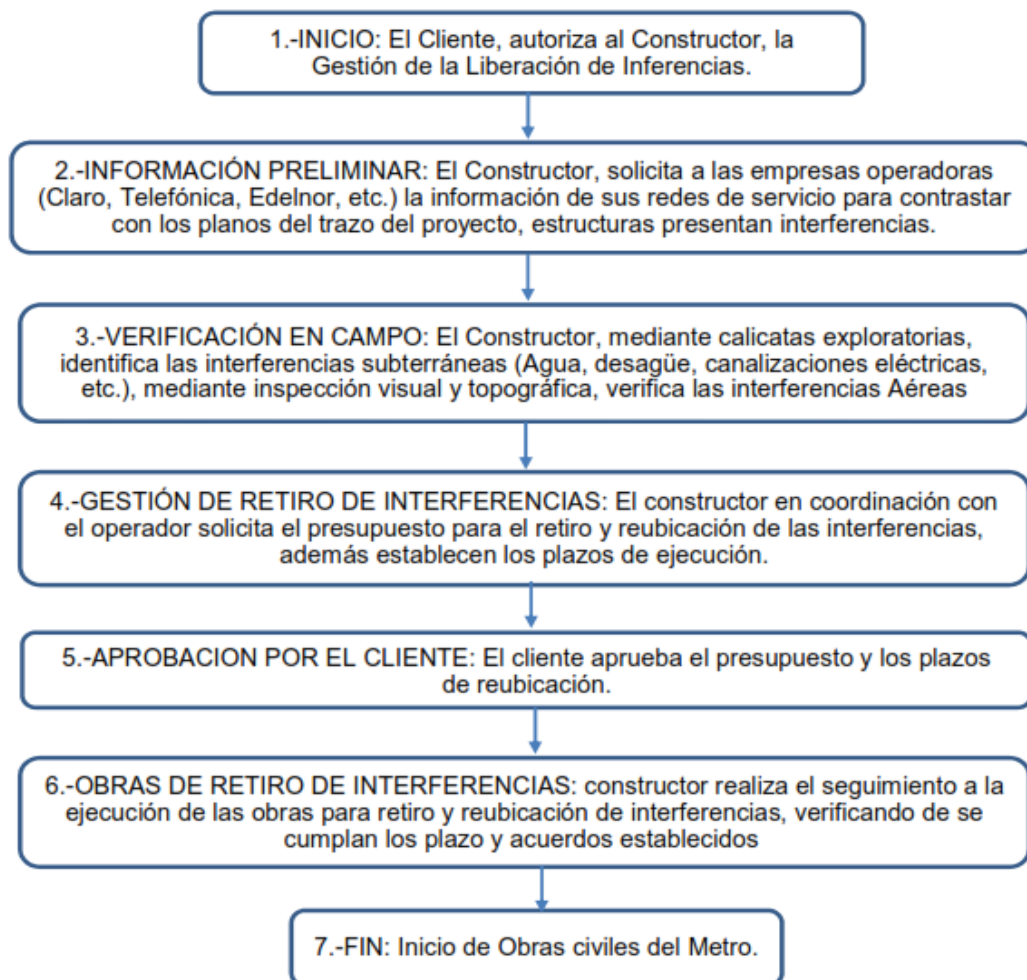


Figura N° 5.42 Flujo de Gestión de Interferencias

Fuente: Expediente Técnico Línea 1 del Metro de Lima, Tramo 2

### A.1 Monorriel de Arequipa

La figura n° 5.43, muestra una extracción del trazo del monorriel y la ubicación de la estación clínica, en la avenida villa hermosa en Arequipa, donde observaremos las interferencias aéreas y las posibles expropiaciones.



Figura N° 5.43 Trazo y ubicación de estación clínica del monorriel

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

En la figura n° 5.43, observa también la ubicación de la estación clínica, donde vemos que las proyecciones de estos se encuentran sobre terreno y construcciones existentes, el cual pasaría a ser expropiados. En la siguiente figura n° 5.44 se observa las interferencias aéreas, observamos Líneas aéreas de Media tensión y baja tensión, estructuras metálicas para paneles publicitarios, semáforos, señales del tren, retiro de árboles. Además, en la parte central de la avenida es el eje de ubicación de las zapatas y posiblemente exista redes subterráneas de servicios.



Figura N° 5.44 Interferencias Aéreas Av. Villa hermosa Arequipa

Fuente: Google earth



## A.2 Línea 1 del metro de Lima

A continuación, se muestra la figura n° 5.45, que muestra alguna de las interferencias Av. Proceras de la Independencia en San Juan de Lurigancho previo a la construcción del Tramo 2 de la Línea 1. Se observan las interferencias aéreas como la línea de transmisión de 60 Kv de Edelnor, los cruces peatonales, las pérgolas y parque que existían en la parte central de la Av. Próceres de la independencia



Figura N° 5.45 Interferencias Aéreas Tramo 2 Línea 1

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

La figura n° 5.46, muestra un plano de interferencias del tramo de construcción R del tramo 2 en la Av. Próceres de la independencia en San Juan de Lurigancho, el cual corresponde a la misma zona de la figura anterior.

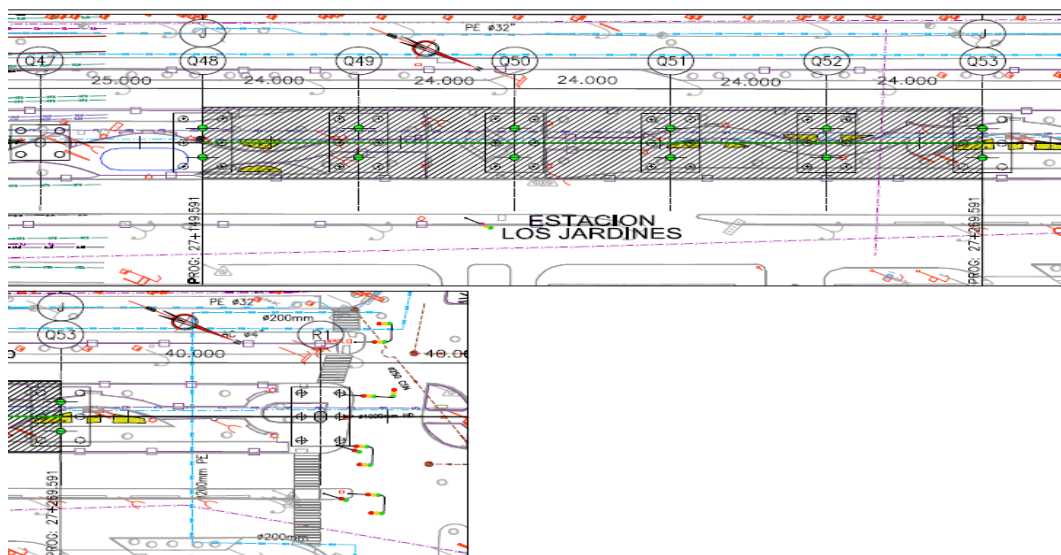


Figura N° 5.46 Planos de Interferencias en el Tramo 2 de la Línea 1.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

En las siguientes imágenes observamos que mediante excavaciones o calicatas de exploración se identificaban las interferencias subterráneas, luego estas eran representadas en esquemas para luego gestionar el retiro o reubicación ante la empresa dueña del servicio. Este procedimiento también sería aplicable para una futura construcción del sistema tipo monorriel.

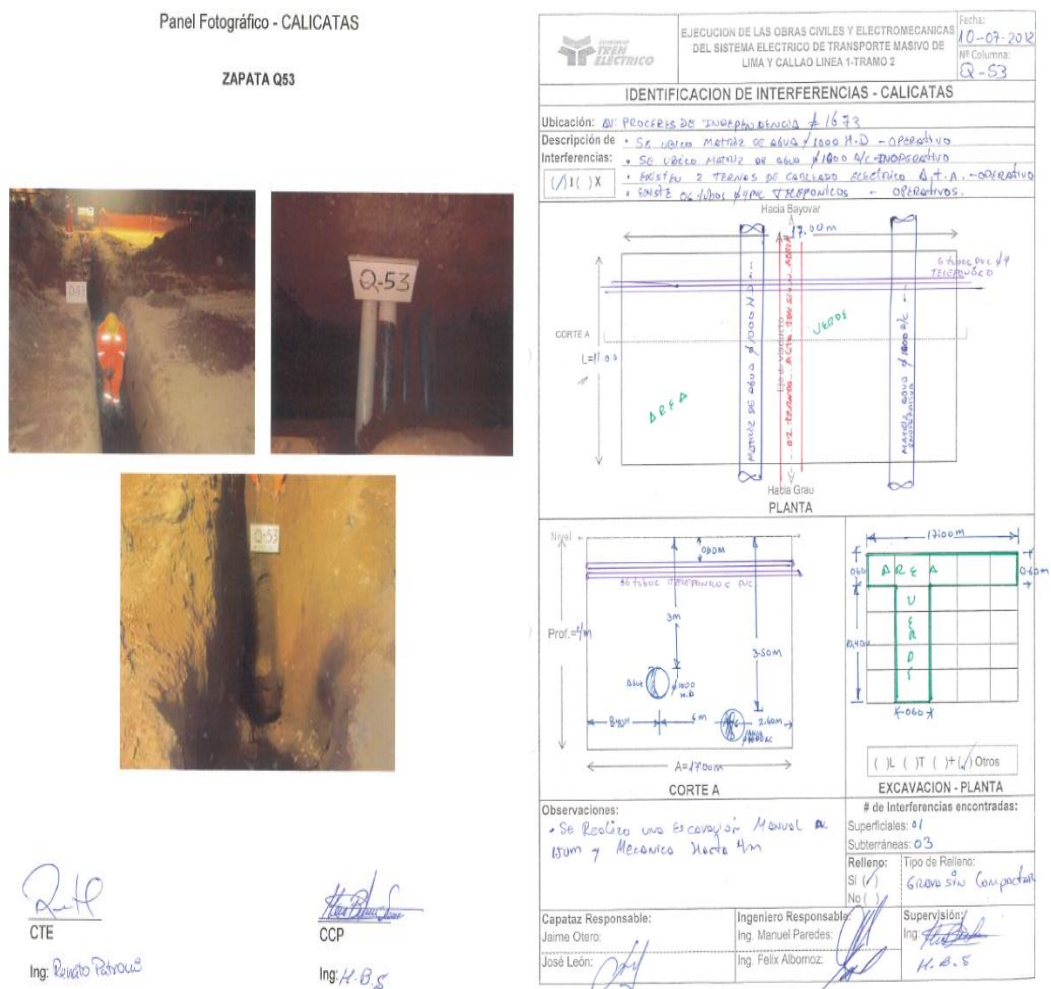


Figura N° 5.47 Esquema de identificación de Interferencias

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### B.-Ejecución de Pilotes, excavación y solado en zapatas.

En el tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima, como los suelos del sector C tienen mucho desprendimiento y sobre todo los que están cerca de río Rímac tiene nivel freático alto, se optó por usar el procedimiento de ejecución del CPI-4, que es un tipo de pilote perforado y hormigonado “in situ” de con camiseta recuperable (entubado) con extracción de tierras. Este procedimiento también se podría usar para el Monorriel de Arequipa, pues presenta suelos de arena con grava y sobre todo en las zonas cercanas a río chili.

Primero se posiciona la pilotea, luego se coloca la camiseta y la herramienta de perforación, entonces pilote empieza a ser perforado desde la superficie, y en paralelo se va realizando la armadura del pilote, una vez que se terminen ambas actividades, se iza y coloca la armadura y luego se realiza el colado del concreto, hasta una altura de 1.50m por encima del nivel de fondo de zapata.



Figura N° 5.48 Ejecución de pilotes

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2 y Obras del monorriel de Sao Paulo

La figura n° 5.48, muestra que para ambos sistemas, en la ejecución de pilotes tienen la misma secuencia de ejecución, a la izquierda observamos la ejecución de pilotes de la obra de la Línea 1 en el tramo 2, y a la derecha observamos la ejecución de pilotes para la obra del monorriel de Sao Paulo.

Una vez que el concreto del pilote llegue a la resistencia especificada, se procede a realizar el trazo y replanteo de los ejes de la zapata y se inicia la excavación de



la zapata, culminado la excavación se procede con el perfilado de los taludes y la estabilización mediante la aplicación de lechada de cemento, se procede a realizar el descabezado del pilote, finalizando esta actividad se procede a verificar la cota de fondo de la zapata y se procede a colocar el solado para la Zapata. (Alosilla Olvea , 2015)



Figura N° 5.49 Excavación de Zapata y Descabezado de Pilote

Fuente: Obras Línea 1 Tramo 2 – Metro de Lima

Las actividades mostradas en la figura n° 5.49, son las mismas metodologías constructivas que se aplicarían en una eventual construcción del monorriel.

#### C.- Ejecución de Zapatas y Columnas

Esta actividad se inicia con el trazo y replanteo de la zapata sobre el solado, luego se procede a bajar el acero y se da inicio al armado del acero de zapata, con el acero previamente dimensionado y habilitado, y se realiza el armado del acero de una zapata típica, (ver figura n° 5.50), este mismo procedimiento constructivo también es aplicable al monorriel. En el tramo 2 de la Línea 1, el armado de acero se realizó con 4 cuadrillas de obreros, donde cada cuadrilla comprende 0.2 capataz + 1.0 Operario+1.0 Oficial +1.0 Peón, y esta produce un rendimiento de 2000 Kg/día (Alosilla Olvea , 2015)



Figura N° 5.50 Acero para zapata

Fuente: Obras Línea 1 Tramo 2 – Metro de Lima

El acero de las columnas, se realiza junto al armado del acero de zapatas, y así terminen juntas, y así luego con una grúa izar y colocar la armadura de acero de columna sobre el acero de la zapata (ver figura n° 5.51). Para el izado se puede usar una grúa de 115 tn o 250 tn, el uso de la grúa depende del tamaño, peso y la condición del lugar, este mismo procedimiento constructivo también es aplicable al monorriel. En el tramo 2 de la Línea 1, el armado de la columna se realizó con 3 cuadrillas, donde la cuadrilla está compuesta por 0.2 capataz +1.0 Operario +1.0 Oficial +1.0 Peón, produciendo un rendimiento de 1800 kg /día. (Alosilla Olvea , 2015)



Figura N° 5.51 Acero de columna

Fuente: Obras Línea 1 Tramo 2 – Metro de Lima

El vaciado de concreto en zapatas, para realizar esta actividad primero es necesario realizar las siguientes actividades: colocar los niveles de vaciado, limpieza de la estructura con sopletes, se verifica la temperatura del concreto, Medir el slump del concreto (verificar según las especificaciones de diseño), tomar las muestras para las probetas y se comienza a realizar el vaciado de concreto.



Figura N° 5.52 Concreto en Zapata

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2 y Obras del monorriel de Sao Paulo

La colocación del concreto se realiza tomando las siguientes consideraciones: evitar la segregación de la mezcla, la altura de colocación del concreto menor a 1.5 m, para consolidar la mezcla es necesario vibradores de inmersión de 2" y 3",

además, como se está realizando vaciando concreto masivo, este hace que genere mayor calor de hidratación y genera que se eleve la temperatura del concreto, hay que tener en cuenta la temperatura del medio ambiente y controlar la temperatura del concreto desde el inicio, durante el proceso de vaciado y fraguado. Finalizado el vaciado de concreto, se espera un promedio de 30 minutos y se realiza el curado del concreto, empleando curador químico Sika Antisol S, el cual se aplicó en 2 capas. En el tramo 2 de la Línea 1, el vaciado de concreto se realizó una cuadrilla de 0.2 Capataz + 2.0 Operadores + 2.0 Operarios + 6.0 Peones, generando un rendimiento de 120 m<sup>3</sup>/día.

Encofrado de columnas, son diseñados y construidos de modo que resistan el empuje del concreto al momento del vaciado. Primero se realiza el habilitado del encofrado, con la verificación de las formas del encofrado y que estén de acuerdo a los planos indicados. Se colocan los octavos en las aristas y los bordes, se realiza la limpieza del encofrado, luego, en las zonas de juntas del encofrado se coloca el sellador para que no se escape el concreto y finalmente se procede a aplicar desmoldante para evitar la adherencia del concreto y conservar el encofrado y darle varios usos, este mismo procedimiento constructivo también es aplicable al monorriel, como se observa en la figura n° 5.53, a la izquierda el encofrado usado en la Línea 1 del tramo 2 y a la derecha el encofrado usado en el monorriel de Sao Paulo. El encofrado usado en la línea 1 del Metro de Lima, fue el sistema Modular NEVI, cara vista y el izaje de los encofrados se realizó con una grúa terex de capacidad de 35 tn. (Alosilla Olvea , 2015)



Figura N° 5.53 Encofrado de columna

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2 y Obras del monorriel de Sao Paulo

El vaciado de concreto de columnas, primero se verifica la verticalidad de la columna, y se marca la cota de vaciado, y se procede a la colocación del concreto. Para columnas cuya altura es menor a 6 m el vaciado se realizó en una etapa, para columna con alturas mayores a 6m y menores a 9 m, el vaciado se realizó



en 2 etapas, y para alturas mayores a 9 m se realizó en 3 etapas. Durante el proceso de vaciado del concreto se lleva a cabo los controles respectivos, verificación del slump, la temperatura (Por ser un vaciado de concreto Masivo) y toma de muestras para roturas de probetas. La muestra que se toma es 1 m<sup>3</sup> de concreto por cada 50 m<sup>3</sup> de concreto colocado, se toman sacan 4 probetas las cuales 2 se rompen a los 7 días y 2 a los 28 días. Después de desencofrar la columna, se realiza el curado con curador químico SIKA antisol S, este mismo procedimiento constructivo también es aplicable al monorriel, como se puede observar en la figura n° 5.54, las columnas de la izquierda son de la Línea 1 y de la derecha son del monorriel de Sao Paulo. En el tramo 2 de la Línea 1, el vaciado de concreto se realizó con una cuadrilla conformada 0.2 capataz + 2.0 Operadores + 2.0 Operarios + 2.0 Peones, generando un rendimiento de 80 m<sup>3</sup>/día. (Alosilla Olvea , 2015)



Figura N° 5.54 Bi Columnas finalizadas

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2 y Obras del monorriel de Sao Paulo

#### E.- Vigas Cabezal

Esta actividad se realiza después que se culminó el relleno sobre la zapata, primero se procede con la nivelación del terreno para el posicionamiento del sistema de soporte de la viga cabezal (Sistema Brío). Utilizando un camión grúa de 16 tn y una grúa de 35 tn, sobre el sistema brío se colocan lis paneles prefabricados que sirven de soporte al fondo del cabezal Una vez colocado el fondo del cabezal, se realiza la instalación de los andamios para permitir el acceso del personal, luego se verifica el alineamiento, la cota de fondo y se realiza el trazo, y se realiza el armado del acero de la viga cabezal. Luego, se iza y coloca del encofrado lateral (previamente habilitado), empleando una grúa, finalizado este proceso, se verifica los niveles y alineamientos y se procede a realizar el vaciado del concreto de la viga cabezal, como en los casos anteriores, este

procedimiento constructivo es aplicable al monorriel, como lo observamos en la figura n° 5.55 (a la izquierda la Línea 1 y a la derecha el monorriel de Sao Paulo). Para el caso de la Línea 1, se usaron encofrados de fondo conformado por riostras MK-120, vigas ulmaflex y fenólicos, para los encofrados laterales un encofrado modular con paneles COMAIN, además para el armado de acero se realizó con 03 cuadrillas, cada cuadrilla está compuesta por 0.2 capataz + 1.0 Operario+1.0 Oficial +1.0 Peón, generando un rendimiento de 2000 kg / día. Y para el vaciado de concreto se usó una cuadrilla de 0.2 capataz + 2.0 Operadores + 2.0 Operarios y 6.0 Peones, produciendo 90 m<sup>3</sup>/día, realizando los mismos controles de calidad mencionados anteriormente. (Alosilla Olvea , 2015)



Figura N° 5.55 Fondo de encofrado, acero y concreto en viga cabezal

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2 y Obras del monorriel de Sao Paulo

#### F.- Montaje de Vigas Prefabricadas

Línea 1 del metro de Lima, en esta obra las vigas longitudinales, son fabricadas en la planta de prefabricados, de donde las vigas típicas y menores a 30 metros son pretensadas y transportadas a su vano de montaje. Es esta obra también se fabricaron vigas postensadas, por lo general las longitudes de estas vigas tienen longitudes mayores a 30 m y mayor peralte, estas vigas postensadas, por su gran longitud era complicado su transporte, así que ellas se fabricaban lo más cerca posible al vano donde se tenía que realizar el montaje.

En el caso del monorriel, las vigas longitudinales tienen dos etapas de tensado, estas vigas son pre tensadas (primer tensado) y concretadas en la planta de prefabricados, pero no se realiza el postensado (segundo tensado), El postensado se realiza cuando la viga está totalmente montada, en la etapa de monolitización.

En los dos sistemas, se realizan montajes de vigas prefabricadas, para el cual siguen el siguiente procedimiento: En la planta de prefabricados con el uso de grúas pórtico, las vigas son colocados a los camiones cama baja para el transporte de las vigas hacia el lugar de montaje. En la zona del montaje, sobre una plataforma de madera se posicionan las grúas, donde cada grúa se posiciona dentro del radio de operación, el cual es obtenido de acuerdo a una tabla de operaciones, donde el radio de operación para cada grúa es determinado en función al peso de la viga y la altura del montaje, luego delimitando el área de seguridad y haciendo los protocolos respectivos se procede a realizar el montaje. (Benavides, 2012). La siguiente figura n° 5.56 muestra las grúas pórticos en la planta de prefabricados y el montaje de vigas (a la izquierda la Línea 1 tramo 2 y a la derecha el monorriel de Sao Paulo)



Figura N° 5.56 Montaje de vigas prefabricadas

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2 y Obras del monorriel de Sao Paulo



### 5.5.1.2 Obras civiles solo del monorriel

#### A.- Monolitización

Es la unión entre las vigas, los pilares y el diafragma (Estructura de unión entre vigas montadas), en el monorriel, la unión de estas estructuras en cada cuatro vanos, conforman una estructura monolítica e hiperestática, llamado también modulo hiperestático, generándose así juntas de construcción entre cada módulo y colocándose tapa juntas metálicas, para el mejor tránsito de los trenes.

El proceso constructivo de la monolitización se realiza en las siguientes etapas.

A.1 Preparación de parte superior de la viga cabezal o parte superior de los pilares. En esta etapa se instalan, se instalan los aceros de refuerzo, las barras Dywidag verticales, las vainas para el postensado de las barras Dywidag Horizontales, se encofra, y vierte el concreto, como se observa en la figura n° 5.57. (Szmidke, 2015)



Figura N° 5.57 Preparación de la parte superior del pilar

Fuente: Fechamento entre vigas guías na, Smike, 2015

#### A.2 Primera etapa del cierre de vigas.

Después de realizado el montaje y aseguramiento de vigas prefabricadas, se inicia con la primera etapa de cierre o unión de vigas de vías del monorriel, primero se

coloca el acero de refuerzo, (se traslapan o se unen mediante empalmes mecánicos los aceros que vienen expuestos en las vigas prefabricadas), estos aceros se amarran con las barras dywidag verticales, se complementa con extensiones las vainas horizontales, dejando las mangueras para la inyección de lechada de concreto (se realizara en la etapa final), se realiza el encofrado y se procede con el vertido del concreto, cuya resistencia a la compresión es la misma que las vigas ( $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ ), como se observa en la figura n° 5.58. (Szmidke, 2015)



Figura N° 5.58 1ra etapa de cierre de vigas

Fuente: Fechamento entre vigas guias na, Smike, 2015

### A.3 Segunda etapa de cierre de vigas.

En esta etapa se completa el acero de refuerzo necesario, según diseños, por lo general estos refuerzos se terminan en la primera etapa ya que en la segunda etapa abarca más la instalación todos aquellos elementos que corresponden para los sistemas electromecánicos (electro ductos, Cross-bond, SPDA, señalización y los insertos metálicos), se realiza el encofrado y se procede con el vertido del concreto, cuya resistencia a la compresión es la misma que las vigas ( $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ ), ver figura n° 5.59. (Szmidke, 2015)

Observación: Como se explicó al inicio de esta sección existen dos tipos de cierres de vigas (en zonas intermedias y en extremos donde acaban los módulos), es importante recalcar que esta segunda etapa de vaciado de concreto para aquellos cierres de vigas ubicado en las Juntas de los módulos, solo se realizaran después del postensado longitudinal.





Figura N° 5.59 2da etapa del cierre de vigas

Fuente: Fechamento entre vigas guías na, Smike, 2015

#### A.4 Postensado Transversal y Longitudinal

Primero se realiza el postensado transversal, esta actividad se inicia con la colocación de las barras dywidag, en las vainas horizontales instalados en las primeras etapas, una vez colocado estas barras, realiza el postensado, cuando el concreto llegue como mínimo a un 85% de la resistencia a la compresión.

Segundo se realiza el postensado longitudinal, esta actividad solo se realiza en las zonas de juntas de módulos y antes de la segunda etapa de cierre de viga, se realiza de esta manera, ya que el postensado longitudinal abarca todo el módulo de los 4 vanos de vigas. Esta actividad se inicia haciendo pasar los cables de acero a través de las vainas longitudinales, para luego aplicar la fuerza de tensado con el gato hidráulico y realizar la segunda etapa de cierre de vigas (pero solo en la zona de junta de módulos, pues en las zonas intermedias esta actividad ya se realizó). (Szmidke, 2015).



Figura N° 5.60 Postensado y cierre de modulo

#### A.5 Tercera etapa de cierre de viga.

Esta actividad solo se basa en el vaciado de concreto en la zona lateral externa de los cierres de viga, cuyo objetivo es proteger las puntas de las barras Dywidag transversales.

#### B.- Montaje de Pasarelas de Evacuación.

Esta actividad se realiza en las siguientes etapas:

Primero se realiza el montaje de los caballetes de acero ubicados cada 3 m, los cuales van atornillados y empotrados a las vigas prefabricadas.

Se realiza el montaje de las pasarelas y pasamanos, estas van atornilladas a los caballetes. Tercero, para una mayor seguridad, se instala una malla de protección contra caídas debajo de los caballetes para impedir que los pasajeros caigan al suelo bajo ninguna circunstancia. (Szmidke, 2015)





Figura N° 5.61 Pasarelas de evacuación

Fuente: Obras del monorriel del Sao Paulo

### 5.5.1.3 Obras Solo de la Línea 1 del Metro

#### A.- Montaje de Pre losas y Losa de Tableros

A.1 Las pre losas, son prefabricadas de concreto armado con espesor  $e=0.08$  m, el cual en la cara superior presenta una superficie rugosa, con aproximadamente 6 mm de rugosidad, estas pre losas funcionan como un encofrado de fondo y lateral para el vaciado de la losa de la vía del tablero del viaducto, las pre losas se fabricaron de dos tipos, en pre losas centrales y pre losas laterales, estas pre losas son izadas y colocadas sobre las vigas prefabricadas. (Benavides, 2012)

#### A.2 Losa de los Tableros.

Una vez colocadas y aseguradas la pre losas, primero se realiza el sellado de pre losas, donde con mortero fresco se tapa todos aquellos vacíos donde se pueda escapar la mezcla, luego se comienza con la colocación y armado del refuerzo del acero de la losa in situ, luego se procede a vaciar el concreto cuya resistencia a la compresión es  $280 \text{ kg/cm}^2$ . (Benavides, 2012)

La figura figura n° 5.62 muestra las losas prefabricadas, ya instaladas en la zona de la tercera vía, del tramo 2 de la Línea 1, además muestra la armadura del acero de la losa y al fondo observamos las losas ya con concreto.



Figura N° 5.62 Losas prefabricadas y acero de losa de viaducto

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC.

## B.- Ejecución de Vigas Diafragmas

La viga diafragma cumple la función de dar continuidad a los cabezales intermedios y dar rigidez torsional a los cabezales extremos. Con la ayuda de maquinarias de elevación, la construcción de esta estructura comienza con el montaje e instalación de la plataforma de soporte, para que el personal pueda realizar sus labores con mayor facilidad y seguridad. Luego se realiza el armado del acero según la indicación del diseño, se coloca el encofrado y se realiza el vaciado de concreto con  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ , Luego por los lados laterales, se coloca las barras Dywidag, se realiza el postensado de estas barras y luego se realiza el segundo vaciado con un concreto, en las partes laterales de la viga, con el objetivo de cubrir las tuercas de los extremos de las barras. La figura n° 5.63 a la izquierda muestra la plataforma de soporte, el encofrado y las barras dywidag ya incrustadas, y a la derecha se muestra el diafragma ya con los concretos terminados en primera y segunda etapa. (Benavides, 2012)



Figura N° 5.63 Diafragmas de viaducto

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC

## C.- Montaje de Borde Típico, Canaletas Laterales y Centrales.

Esto tres elementos son de concreto armado y son fabricados en la planta de prefabricados, y transportado a la zona del viaducto, donde serán instaladas.

Para el caso del borde típico, primero se realiza el montaje y esta estructura, y se coloca en los extremos laterales de las losas típicas, a lo largo del viaducto, provisionalmente primero anclados con unos tensores. (Benavides, 2012) (Tensores de color amarillo, ver figura n° 5.64).

Para el caso de las Canaletas Laterales, estas estructuras de concreto, de la plata de prefabricado vienen en un extremo con unos ganchos de acero, los cuales al momento de instalarlo en el viaducto, estos ganchos son amarrados a los ganchos dejados en los extremos de la losa de la vía y a los ganchos extremos dejados en el bode típico, entonces estos tren ganchos se unen y se complementa con el mas

acero longitudinal, se encofra y se vierte el concreto, resultando la unión del borde típico la canaleta, y estos amarrados a la Losa.

Para el caso de las canaletas centrales, estas se instalan en el eje del viaducto, vienen totalmente fabricados de la planta de concreto, y solo con colocados mediante un mortero de concreto.

La figura n° 5.64, a la izquierda muestra los bordes típicos montados y colocados, asegurados temporalmente por unos tensores, a la derecha observamos las canaletas laterales junto a los bordes típicos ya aseguradas con el concreto, cuando la resistencia del concreto sea mayor al 85% del  $f'c$ , los tensores pueden ser retirados, también observamos las canaletas centrales ya instaladas.

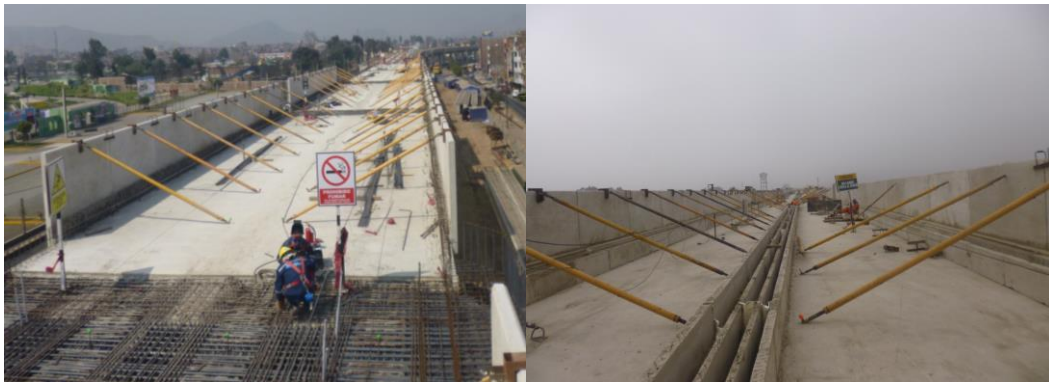


Figura N° 5.64 Borde típico, Canaletas Laterales y Centrales

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC.

#### D.- Instalación de Vía férrea.

Una vez terminado todo el viaducto, y verificado que la vía no debe tener imperfecciones en su diseño, niveles y acabados, se procede a realizar la instalación de la vía férrea, realizándose el siguiente procedimiento constructivo.

- Se instala la manta de roca, junto con el geo compuesto, (ver figura n° 5.65)
- Se izan e instalan los durmientes, (ver figura n° 5.65)
- Se izan y se fijan los rieles sobre los durmientes, (ver figura n° 5.65).
- Se realizan las uniones de los rieles mediante soldadura a electro fusión (este es una actividad critica, el cual tiene que ser supervisada para que cumpla los controles necesarios de temperatura y acabado)
- Pre lanzamiento de balasto, teniendo ya nuestro material de balasto acopiado en una zona debidamente ubicada, entonces mediante una faja transportadora se traslada a una locomotora con vagones debidamente diseñada para el transporte y colocación del balasto (vagones hopper), esta actividad se realizará cuantas veces sea necesarios según los resultados de la verificación topográfica y de la corrección geométrica. (ver figura n° 5.65)

- Verificación del alineamiento y nivel de la vía férrea, Mediante un equipo topográfico especializado (Track-lifting slewing Machicne Geismar Rv-100), se realiza las verificaciones geométricas, esta actividad será realizada las veces que sea necesario, según como va nivelando la bateadora.
- Corrección Geométrica, con la Bateadora, el cual es un equipo especializado, cuya función es acomodar los rieles y los durmientes, en el balasto, con el objetivo de que la vía férrea quede totalmente alineada y nivelada, según las indicaciones dadas por la verificación topográfica, esta actividad se realizara las veces que sea necesario hasta alcanzar los requerimientos de las especificaciones técnicas. (Soto, 2015)



Figura N° 5.65 Vía férrea del tren eléctrico

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC.

Para el caso de la Línea 1 en el tramo 2, en algunas estructuras se mencionaron las actividades de acero y concreto, donde se indica que se usaron ciertas composiciones de cuadrillas con su respectivo rendimiento diario de producción, y además también se menciona el número de cuadrillas usadas, de estos datos, en una eventual construcción del monorriel para la ciudad de Arequipa u otro proyectado, se podría usar las mismas composiciones de cuadrillas, pero no necesariamente el mismo número de cuadrillas, ya que este último esta, sujeto a las metas, tiempos y costos propuestos por el constructor, los cuales se analizaran en las siguientes secciones.



## 5.5.2 Programación de la Construcción.

### 5.5.2.1 Cantidad de elementos de la obra civil

#### A.- Monorriel de Arequipa.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con las cantidades por número de elementos a construir en cada tramo.

Cuadro N°5.16 Cantidades de estructuras del Monorriel

TRAMOS		Km de Inicio	Km de Llegada	Tramo (m)	N° de Pilotes	N° de Zapatas	N° de Columnas	N° de Cabezales y pórticos	N° de Vigas	Diafragmas
Una Via	Tramo 1	Km 0+402.985	Km 0+634.664	232	50	13.00	17	4	11	4
Via doble	Tramo 2	Km 0+634.664	Km 1+698.208	1064	100	47.00	67	64	74	18
	Tramo 3	Km 1+698.208	Km 4+301.316	2603	200	97.00	123	123	176	24
	Tramo 4	Km 4+301.316	Km 5+166.736	865	80	36.00	47	45	62	11
	Tramo 5	Km 5+166.736	Km 6+105.377	939	76	34.00	43	4	30	11
Una Via	Tramo 6	Km 6+105.377	Km 7+152.645	1047	86	39.00	49	4	36	11
	Tramo 7	Km 7+152.645	Km 7+702.217	550	52	22.00	27	4	19	6
	Tramo 8	Km 7+702.217	Km 9+865.590	2163	172	82.00	105	5	78	24
	Tramo 9	Km 9+865.590	Km 10+368.993	503	52	22.00	28	6	18	6
	Tramo 10	Km 10+368.993	Km 10+839.500	471	58	25.00	32	7	20	7
	Tramo 11	Km 10+839.500	Km 11+987.885	1148	98	45.00	56	5	41	12
	Tramo 12	Km 11+987.885	Km 12+866.801	879	86	39.00	52	7	34	14
	Tramo 13	Km 12+866.801	Km 13+535.345	669	70	31.00	40	8	26	8
	Tramo 14	Km 13+535.345	Km 14+194.132	659	62	27.00	34	4	24	8
	Tramo 15	Km 14+194.132	Km 14+809.382	615	58	25.00	32	4	22	8
	Tramo 16	Km 14+809.382	Km 16+189.834	1380	116	54.00	67	4	51	14
	Tramo 17	Km 16+189.834	Km 16+960.628	771	70	31.00	41	4	28	11
	Tramo 18	Km 16+960.628	Km 18+160.877	1200	106	49.00	61	4	46	13
	Tramo 19	Km 18+160.877	Km 19+005.340	844	82	37.00	48	6	32	12
	Tramo 20	Km 19+005.340	Km 20+902.736	1897	150	75.00	95	15	62	20
		Patio / Taller				220	110	154	0	109
			<b>TOTAL</b>	<b>20499</b>	<b>2044</b>	<b>940</b>	<b>1218</b>	<b>327</b>	<b>999</b>	<b>242</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

A continuación, se muestra un cuadro resumen con el metrado total por tipo de estructura de las obras civiles del monorriel.

Cuadro N°5.17 Resumen de metrados del Monorriel

Descripción		Cantidad	Encofrado (m2)	Acero (Tn)	Concreto (m3)
Via Doble	Pilotes	358.00	0.00	466.47	3,961.55
	Zapatas	179.00	7,434.41	326.28	2,770.95
	Columnas	240.00	14,158.17	2,022.90	4,342.71
	Viga Cabezal	0.00	6,569.96	383.04	2,083.74
	Viga Pórtico	0.00	327.80	18.20	117.60

Descripción		Cantidad	Encofrado (m2)	Acero (Tn)	Concreto (m3)
	Viga Longitudinal	298.00	17,086.84	1,093.57	4,158.80
	Monolitizacion			206.49	674.43
Vía Simple	Pilotes	1,154.00	0.00	1,531.11	13,003.05
	Zapatas	577.00	30,378.82	1,114.18	9,462.22
	Columnas	750.00	46,940.87	7,069.92	13,423.77
	Viga Cabezal		1,661.06	97.05	538.93
	Viga Pórtico		2,120.77	112.84	763.34
	Viga Longitudinal	530.00	57,569.89	4,236.62	13,897.43
	Monolitizacion			367.25	1,199.50
Estaciones	Pilotes	296.00	0.00	383.24	3,254.69
	Zapatas	74.00	5,526.72	300.11	2,548.67
	Columnas	74.00	6,779.03	1,610.88	2,065.35
	Viga Cabezal		5,241.96	527.19	2,238.59
	Viga Pórtico	0.00	0.00	0.00	0.00
	Viga Longitudinal	62.00	4,804.55	304.25	1,122.51
	Monolitizacion			42.96	140.32
Patio Taller	Pilotes	220.00	0.00	292.98	2,488.14
	Zapatas	110.00	7,334.25	225.54	1,915.40
	Columnas	154.00	1,154.40	374.25	319.68
	Viga Cabezal	0.00	0.00	0.00	0.00
	Viga Pórtico	0.00	0.00	0.00	0.00
	Viga Longitudinal	109.00	11,003.12	682.89	2,550.60
	Monolitizacion			75.53	246.69
Total	Pilotes	2,028.00	0.00	2,673.80	22,707.43
	Zapatas	940.00	50,674.19	1,966.10	16,697.24
	Columnas	1,218.00	69,032.47	11,077.95	20,151.51
	Viga Cabezal	0.00	13,472.99	1,007.27	4,861.26
	Viga Pórtico	0.00	2,448.57	131.04	880.94
	Viga Longitudinal	999.00	90,464.40	6,317.33	21,729.34
	Monolitizacion	0.00	0.00	692.23	2,260.94
			<b>226,092.62</b>	<b>23,865.72</b>	<b>89,288.66</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

### B.- Línea 1 del Metro de Lima.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con las cantidades por número de elementos a construir en cada tramo.

Cuadro N°5.18 Cantidad de estructuras del Tren

Tramos de Construcción según Exp. Técnico	Km de Inicio	Km de Llegada	Tramo (m)	N° de Pilotes	N° de Zapatas	N° de Columnas	N° de Cabezales	N° de Vigas	N° de Vanos de Pre losas	N° de Vanos de Tableros	N° Diafragmas	N° de Vanos de Bordes	N° de Vanos de Canaletas	N° de vanos de Canaletas		
															Tramo Construido	
J+Cola de vía	8+960	10+845.7	1620													
Tramo 1 de Obra	K	10+845.7	11+558.7	713	-	34	34	30	120	30	35	30	35	35		
	L	11+558.7	12+665.18	1106	-	48	48	46	216	54	57	48	47	47		
	SC	12+665.18	14+214.79	1550	Tramo semi construido											
	C1	14+214.79	15+063.45	849	-	13	13	42	188	47	47	41	41	41	41	
	C2	15+063.45	15+513.45	450	-	0	0	24	96	24	24	24	24	24	24	
	C3	15+513.45	16+383.66	870	-	40	40	40	180	45	45	40	41	41	41	
	C4	16+383.66	16+733.66	350	-	0	0	19	72	18	18	19	18	18	18	
	C5	16+733.66	16+976.96	243	-	10	10	10	44	11	11	10	11	11	11	
	E	16+976.96	18+107.66	1131	-	51	51	47	200	50	56	50	50	50	50	
	F	18+107.66	19+357.56	1250	-	58	58	58	268	65	65	59	59	59	59	
G	19+357.56	20+660.87	1303	-	60	60	60	294	66	66	60	60	60	60		



Tramos de Construcción según Exp. Técnico	Km de Inicio	Km de Llegada	Tramo (m)	N° de Pilotes	N° de Zapatas	N° de Columnas	N° de Cabezales	N° de Vigas	N° de Vanos de Pre losas	N° de Vanos de Tableros	N° Diafragmas	N° de Vanos de Bordes	N° de Vanos de Canaletas	N° de vanos de Canaletas
G1	20+660.87	21+158	889	-	40	40	40	180	45	45	39	39	39	39
Tramo 2 de Obra	M	21+158	22+353	1195	-	30	30	140	30	35	31	30	30	30
	N	22+353	22+888	535	-	18	18	16	80	15	23	18	18	18
	O	22+888	24+521	1633	98	48	48	45	188	48	53	47	48	48
	P	24+521	25+930	1409	-	54	54	54	236	54	59	54	54	54
	Q	25+930	27+310	1380	212	53	53	53	262	53	58	53	53	53
	R	27+310	28+593	1283	208	49	49	49	216	49	54	49	49	49
	S	28+593	30+038	1445	162	54	54	49	192	48	48	49	50	54
	T	30+038	31+416	1378	-	53	53	53	232	53	53	53	53	53
	U	31+416	32+460	1044	-	41	41	39	172	38	43	39	41	41
	V+Cola de vía	32+460	33+960	1500	-	51	51	49	212	50	55	51	53	53
Resumen	Tramo 1		12,324	-	354	354	416	1,858	455	469	420	504	504	504
	Tramo 2		12,802	680	451	451	437	1,930	438	481	444	449	453	439

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramos 1 y 2

A continuación, se muestra un cuadro resumen con el metrado total por tipo de estructura de las obras civiles de la Línea 1 del Metro de Lima en sus dos tramos.

Cuadro N°5.19 Resumen de metrados del Tren

Descripción	und	Metros	Acero (Tn)	Encofrado (m2)	Concreto
PILOTES	Tramo 1	-	-	-	-
	Tramo 2	634.00	12,194.00	6,639.63	25,607.40
ZAPATAS	Tramo 1	354.00	-	6,346.20	11,777.17
	Tramo 2	451.00	-	10,649.75	6,552.71
COLUMNAS	Tramo 1	420.00	-	2,749.36	16,755.82
	Tramo 2	526.00	-	4,197.13	28,802.19
VIGAS CABEZAL	Tramo 1	416.00	-	2,326.18	19,555.11
	Tramo 2	436.00	-	4,527.49	25,009.19
VIGAS PREFABRICADAS	Tramo 1	1,858.00	-	3,631.56	151,314.98
	Tramo 2	1,930.00	-	5,605.54	233,564.33
TABLEROS	Tramo 1	463.00	-	2,783.32	25.20
	Tramo 2	432.00	-	3,919.03	36.42
DIAFRAGMAS	Tramo 1	398.00	-	562.65	9,736.93
	Tramo 2	438.00	-	699.32	13,638.70
PRE LOSAS	Tramo 1	17,960.00	-	-	3,583.47
	Tramo 2	26,282.00	-	-	4,575.59
BORDES TÍPICOS	Tramo 1	6,274.03	-	-	3,852.72
	Tramo 2	7,810.00	-	-	4,795.92
CANALETAS	Tramo 1	-	12,096.17	-	-
	Tramo 2	-	11,489.24	-	-

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramos 1 y 2

C.-A continuación, se presentan los siguientes cuadros comparativos entre los dos sistemas en evaluación. El cuadro n°5.20 muestra el resumen de las cantidades totales de acero, encofrado y concreto, el cuadro n°5.21 muestra una relación entre las cantidades totales de acero, encofrado y concreto cada sistema, el cuadro n°5.22 muestra en promedio las cantidades totales de acero, encofrado y concreto por cada kilómetro construido, el cuadro n°5.23 muestra la relación de proporcionalidad entre las cantidades de acero, encofrado y concreto que hay entre cada sistemas por cada kilómetro construido.

Cuadro N°5.20 Comparativo global de metrados

DESCRIPCIÓN		Long (Km)	Acero (Tn)	Encofrado (m2)	Concreto (m3)
Metro de Lima	Tramo 1	9.15	19,709	257,630	112,853
	Tramo 2	12.80	37,879	366,024	200,845
Total Metro de Lima		<b>21.954</b>	<b>57,588</b>	<b>623,654</b>	<b>313,698</b>
Total Monorriel		<b>20.499</b>	<b>23,866</b>	<b>226,093</b>	<b>89,289</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

Cuadro N°5.21 Proporción de cantidades entre cada sistema

Descripción	Relación de Acero	Relación de Encofrado	Relación de Concreto
Tramo 1/Monorriel	0.83	1.14	1.26
Tramo 2/Monorriel	1.59	1.62	2.25
Total Metro de Lima/Monorriel	<b>2.41</b>	<b>2.76</b>	<b>3.51</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

Cuadro N°5.22 Metrados totales por Kilometro construido

DESCRIPCIÓN		Acero (Tn/km)	Encofrado (m2/km)	Concreto (m3/km)
Metro de Lima	Tramo 1	2,153	28,143	12,328
	Tramo 2	2,959	28,596	15,691
Total Metro de Lima		<b>2,623</b>	<b>28,407</b>	<b>14,289</b>
Total Monorriel		<b>1,164</b>	<b>11,029</b>	<b>4,356</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

Cuadro N°5.23 Proporción de cantidades por kilómetro construido

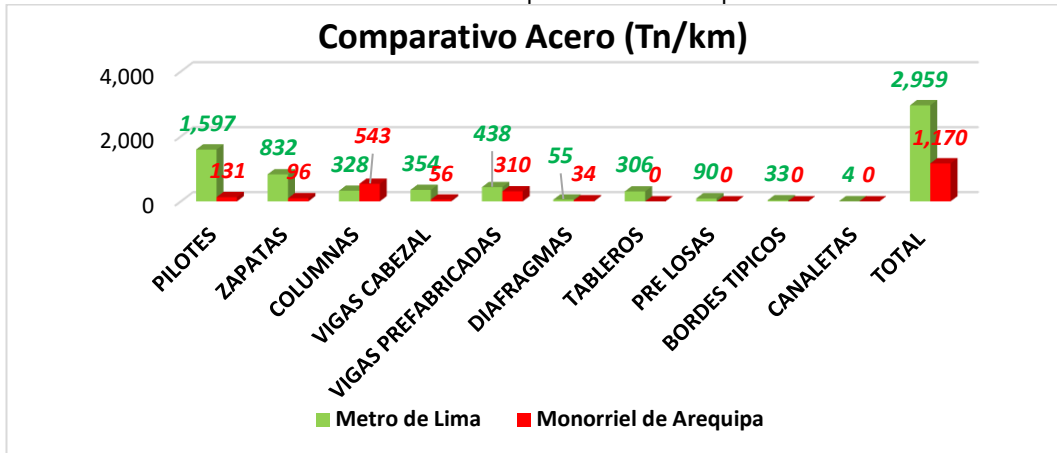
DESCRIPCIÓN	Relación de Acero por Kilometro	Relación de Encofrado por Kilometro	Relación de Concreto por Kilometro
Tramo 1/Monorriel	1.85	2.55	2.83
Tramo 2/Monorriel	2.54	2.59	3.60
Total Metro de Lima/Monorriel	<b>2.25</b>	<b>2.58</b>	<b>3.28</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

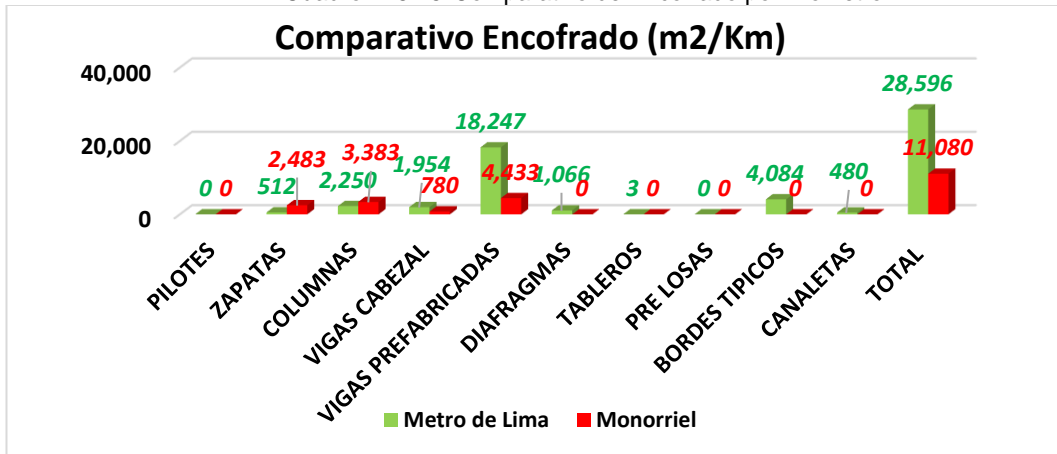
Los siguientes cuadros comparan las cantidades promedio por kilómetro a para el Monorriel de Arequipa y la Línea 1 del Metro de Lima.

Cuadro N°5.24 Comparativo de Acero por kilometro



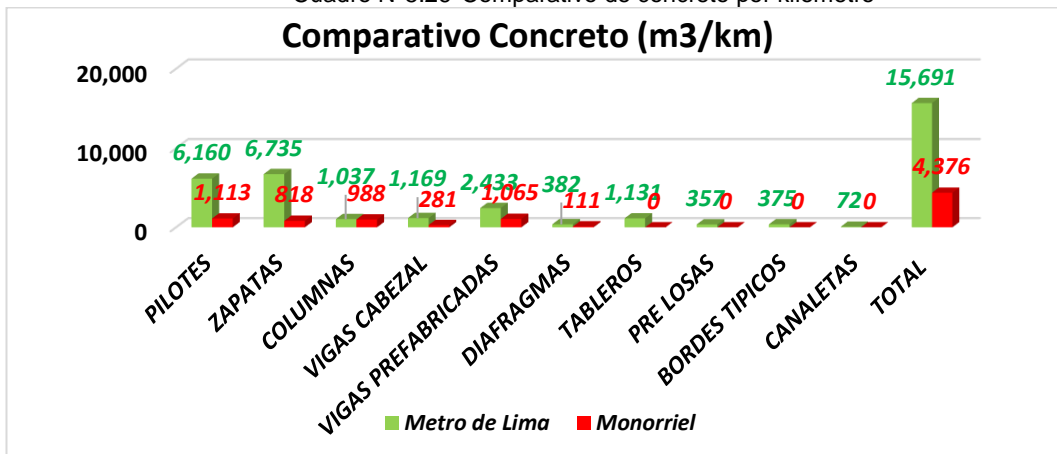
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Cuadro N°5.25 Comparativo de Encofrado por kilometro



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Cuadro N°5.26 Comparativo de concreto por kilometro



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1





la Línea 1 del metro de Lima tramos 1 y 2. (En el anexo 3, se muestran estos cronogramas). Además, también se mostrarán cuadros con indicadores unitarios. Los cronogramas contractuales, mostrados en el anexo 3, para los tres casos, visto desde un sistema macro, están estructurados de la siguiente manera.

1. Expediente de Técnico. - El cual está compuesto por plazos de entrega de los estudios de ingeniería (EDI), relacionados a los tramos de obra como se indica en el expediente técnico, estos EDIs son elaborados por el constructor y revisados y validados por el supervisor. Las fechas de termino de estos EDIs, son Hitos contractuales para el inicio de las obras civiles y electromecánicas para cada tramo de obra relacionado.
2. Liberación de Interferencias y expropiaciones. - En los tres casos estas actividades estas relacionadas a la entrega de terreno y con responsabilidad directa del cliente, cuyos términos son Hitos contractuales para el inicio de las obras civiles y electromecánicas para cada tramo de obra relacionado. Sin embargo, para el caso de la Línea 1, el cliente y el constructor firman un convenio donde el constructor se encargaba de realizar las gestiones de liberación de interferencias (valorizando los gastos generales incurridos) y el cliente autorizaba los pagos a los presupuestos por la liberación de las interferencias. Este acuerdo realizado, garantizaba el cumplimiento de los plazos establecidos. Para el caso del Monorriel de Arequipa este proyecto no llego a la fase de elaboración del expediente técnico y ni ejecución de obra, pero se deja la propuesta bajo el esquema tradicional que la liberación de interferencias y expropiaciones es de la total responsabilidad del cliente.
3. Ejecución de Obras Civiles y electromecánicas. -En los tres casos el inicio de la ejecución de estas actividades, estas supeditadas a los Hitos Contractuales, relacionados a los EDIs, Liberación de Interferencias y Expropiaciones de Terrenos. La ejecución de las obras civiles y Electromecánicas se encuentran estructurados de la siguiente manera:
  - a. Obras Preliminares y Provisionales.
  - b. Obras civiles de Viaducto. – Comprende el tiempo para la ejecución de Pilotes, Zapatas, Columnas, Vigas Cabezal, Montaje de Vigas Prefabricadas, Diafragmas (Esto tanto para el Monorriel y el Metro Elevado), comprende también Montaje de Pre losas, Losa del Tablero, Montaje de Bordos Típicos, Montaje e Instalación de

- canaletas de concreto (Estos últimos solo para el caso del Metro Elevado)
- c. Estaciones de pasajeros y Patio de Maniobras. - Para el caso de los cronogramas del Monorriel de Arequipa y el Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima, los plazos indicados incluyen Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Sanitarias, Eléctricas y Electromecánicas. Para el caso del Tramo 1 de la Línea 1 del Metro de Lima, los plazos indicados solo comprenden las actividades de Arquitectura y Estructuras, e Instalaciones Sanitarias, las demás actividades se encuentran en Obras electromecánicas y Reparación y adecuación de las estaciones antiguas.
- d. Obras Electromecánicas. - Comprenden a todas aquellas actividades que hacen que funciones todo el sistema electromecánico como son: Alimentación Eléctrica, Señalización y Automatización, Telecomunicaciones, Sistemas y equipos Auxiliares, Control de Pasajeros, Equipamiento del Patio de Maniobras y Vía Férrea (Solo para el caso de la Línea 1 del Metro de Lima).

A continuación, se muestra el cuadro n°5.27, es resumen comparativo de los tiempos de ejecución de los dos sistemas, según los cronogramas contractuales.

Cuadro N°5.27 Resumen de cronogramas contractuales

RESUMEN DE LOS CRONOGRAMAS CONTRACTUALES					
N°	Descripción	Monorriel	Metro - Tramo 1	Metro - Tramo 2	Ruta Crítica
		Duración (días calendario)			
	PLAZO DE OBRA	1461	611	900	
1.1	Expediente Técnico	184	303	300	No
1.2	Liberación de Interferencias y Expropiaciones	554	390	630	Si
1.3	Viaducto Elevado	609	351	660	Si
1.4	Estaciones de Pasajeros	882	279	405	No
1.5	Sistema Electromecánico	601	514	450	Si

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

#### Línea 1

Con la información del cuadro anterior se realizará un análisis de los indicadores contractuales solo de las actividades de Viaducto, y no de las Interferencias ni Expropiaciones, ya estas dependen de las gestiones del cliente, cuya duración contractual es una estimación proporcionado por las operadoras, además existe una probabilidad que se presente vicios ocultos, y el sistema electromecánico no es materia de estudio de este trabajo. Respecto a las estaciones estas se ejecutan

en paralelo a las obras lineales, en el cuadro n°5.28 se muestra el tiempo promedio de ejecución por cada estación y la velocidad de producción de las obras de viaducto. (para el caso del tramo 1 solo se consideró en promedio 9.1 km efectivos ya que esta obra presentaba zonas con estructuras construidas en los años 80).

Cuadro N°5.28 Indicador de ejecución contractual de Viaducto

Descripción	Unidad	Monorriel	Metro - Tramo 1	Metro - Tramo 2
Ejecución del Viaducto elevado por día	ml/día	33.5	25.9	19.4
Ejecución de 01 estación	días	360	182	270

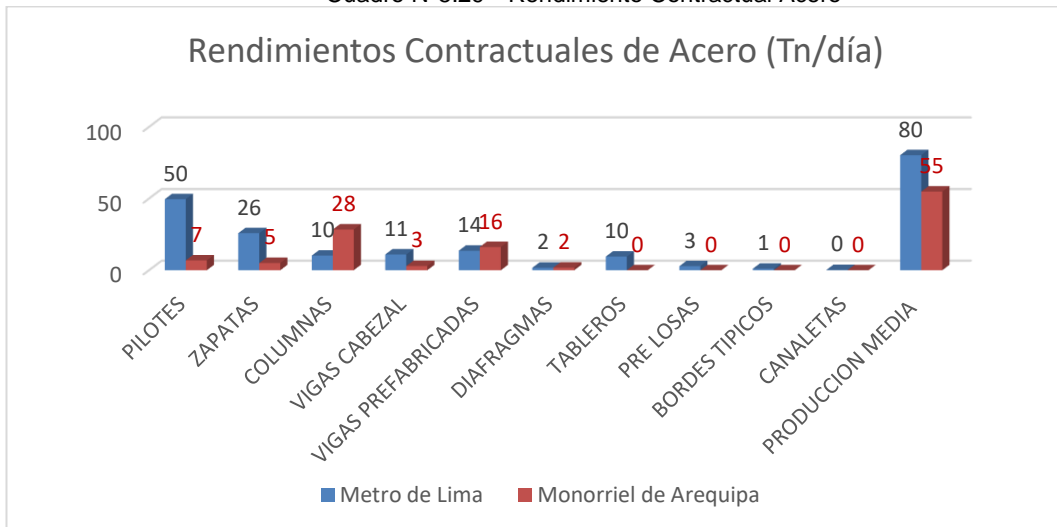
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

Los rendimientos de la ejecución del viaducto, mostrados en el cuadro anterior son los rendimientos mínimos el cual deberá cumplir el contratista para no caer en un probable atraso en una valorización, ya que para el Monorriel el Viaducto representa el 22% del costo a nivel de subtotal, para el tramo 1 de la Línea 1 del Metro de Lima el Viaducto llega a ser el 20% del costo a nivel de subtotal y para el tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima el Viaducto llega a ser el 27% del costo a nivel de subtotal.

A continuación, se presenta los siguientes cuadros comparativos del rendimiento de acero, encofrado y concreto, para el caso del Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima con el Monorriel, no se incluye los rendimientos para el tramo 1 de la Línea 1, ya que este tuvo en distintos tramos, diferentes estructuras ya construidas. Estos rendimientos son en días útiles, que aseguran el cumplimiento contractual. (sábados y domingos representan la contingencia de obra)

Cuadro N°5.29 Rendimiento Contractual Acero

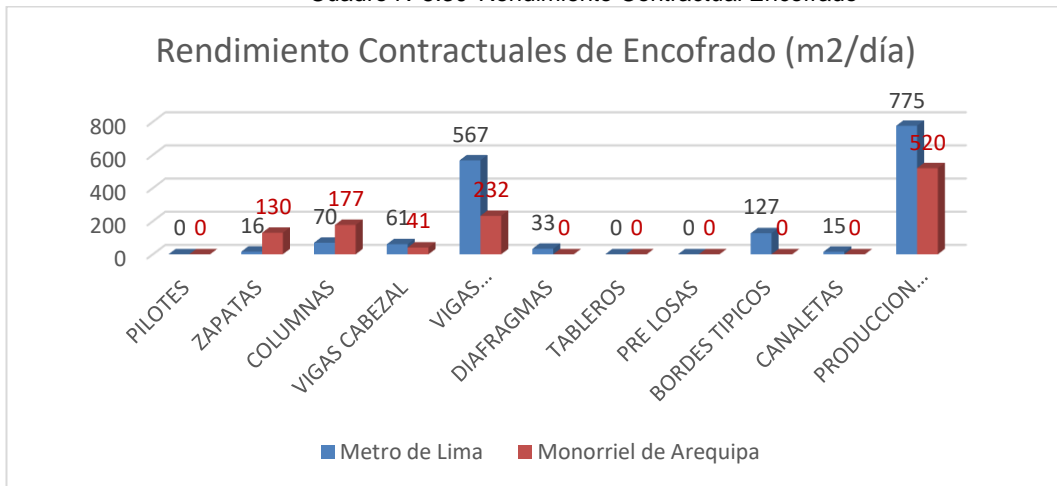


Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

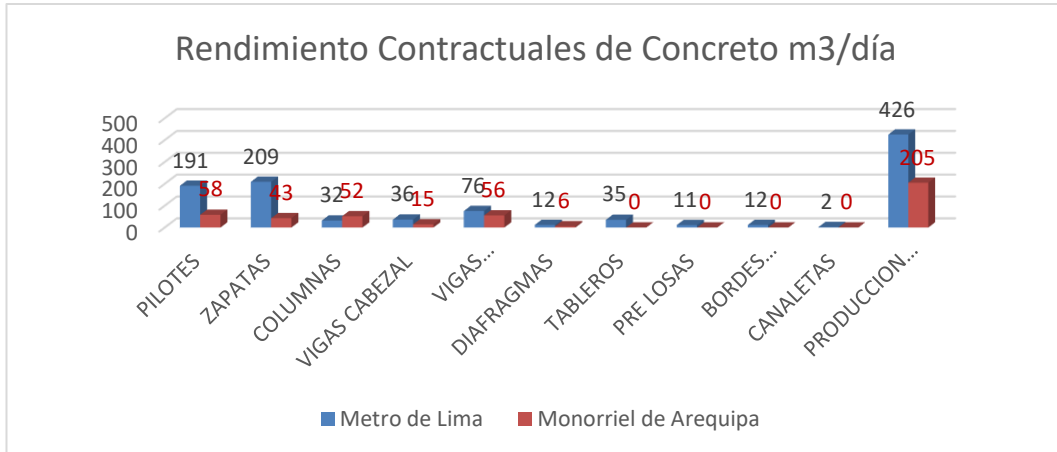


Cuadro N°5.30 Rendimiento Contractual Encofrado



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Cuadro N°5.31 Rendimiento Contractual Concreto



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

#### 5.5.2.4 Diagrama Tiempo - Camino

Es la representación gráfica del planeamiento de ataque para la ejecución de la obra, es utilizado en ciertas constructoras de acuerdo al sistema de gestión usan. Este diagrama, es representado como cronograma de ejecución interna de obra y viene a ser la representación gráfica de las metas propuestas por el constructor, cuyo objetivo es acabar la obra antes de la fecha de término contractual, cumpliendo los estándares de calidad y seguridad. (En el anexo 3 se visualiza el diagrama Tiempo – Camino que se realizó para la ejecución de las obras del Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima, así también se presenta la propuesta de Tiempo – Camino para una eventual ejecución de obras del Monorriel)

### 5.5.2.5 Velocidad de Producción.

A.- Monorriel de Arequipa, Según el Diagrama Tiempo Camino (ver anexo 3), representa la meta propuesta por el constructor, para una futura ejecución del sistema en mención, de este grafico se obtienen los siguientes análisis.

a). -Como primer análisis entre el cronograma contractual (ver anexo 3) y El diagrama Tiempo Camino (ver anexo 3, Cronograma interno), del Monorriel de Arequipa, se identificó que se plantea terminar la obra con 290 días de anticipación a la fecha fin contractual, que representa una contingencia del 20 %, como aseguramiento del cumplimiento de la obra como lo observamos en el siguiente cuadro.

Cuadro N°5.32 Buffer de ejecución de obra, Monorriel.

Descripción	Inicio de Obra	Fin de Obra	Duración	Diferencia de termino
Cronograma Contractual	1/5/2015	30/4/2019	1461	290 días, y contingencia 20%
Diagrama Espacio Tiempo (Cronograma Interno)	1/5/2015	15/7/2018	1171	

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

b). -Del diagrama Tiempo Camino, se realizó el análisis del rendimiento de las actividades indicadas en dicho gráfico, donde se observa, que, para cumplir las metas trazadas, las actividades tienen que ejecutarse a un rendimiento de 55 ml/día (días calendario) y como se observa en el cuadro N° 5.33.

Cuadro N°5.33 Resumen del Diagrama Tiempo Camino, Monorriel.

Descripción		D (ml)	Inicio	Fin	Duración	Rendimiento	
Obras civiles	Inicio de Gestión de Liberación de Interferencias	20406	03/08/15	08/08/16	372	55	ml/día
	Perforación de Pilotes	20406	30/01/16	04/02/17	372	55	ml/día
	concreto de zapata	20406	14/02/16	19/02/17	372	55	ml/día
	montaje de vigas pre fabricadas	20406	23/03/16	29/03/17	372	55	ml/día
	Fin de instalación de Pasarela de Evacuación	20406	31/03/16	06/04/17	372	55	ml/día
Obras Electromecánicas	Fin de Alimentación Eléctrica		26/11/16	02/12/17	372		
	Equipos de Comunicaciones		26/12/16	01/01/18	372		
	Señalización, Control Automático de Trenes y Equipos SCADA		25/01/17	31/01/18	372		

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

c). -El análisis realizado anteriormente sirve como base para establecer los rendimientos necesarios para cada tipo de estructura civil, para obtener estos indicadores es necesario tener las siguientes consideraciones.

- Es necesario recalcar que el rendimiento hallado anteriormente está en función a días calendarios, y para realizar la programación de interna de obra es necesario hacerlo en días útiles (de lunes a viernes), ya que los días sábado y domingo representan la contingencia de obra.
- Se realiza la conversión de 372 días calendarios, que equivale a 265 días útiles.
- Se realiza la división de las cantidades de elementos y metrados de vigas prefabricadas (Ver cuadro N° 5.33), entre la duración útil.

Resultando los siguientes rendimientos ver cuadro N°5.34

Cuadro N°5.34 Rendimiento de estructuras del Monorriel.

Descripción	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	Und/día	m2/día	Kg/día	m3/día	ml/día
Pilotes	8	0.0	10,075.2	85.6	87.4
Zapatatas	4	190.9	7,408.5	62.9	0.0
Columnas	5	260.1	41,743.0	75.9	0.0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	1	60.0	4,289.3	21.6	0.0
Viga Longitudinal	4	340.9	23,804.5	81.9	0.0
Monolitización	4	37.35	2,608.4	8.5	0.0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

Es necesario indicar que el cuadro anterior proviene de la división de las cantidades totales a ejecutar, el cual incluye elementos de vía elevada, vía sobre estaciones y vía sobre patio de maniobras, y son rendimientos promedios para toda la obra.

d). -El trazo planteado para el monorriel de Arequipa consta de dos tramos, uno con doble vía y el segundo con una sola vía, por eso es necesario establecer los rendimientos por separado. Para cada tramo se establecerá el rendimiento necesario para cumplir las metas fijadas, tomando en cuenta que el montaje de vigas es aquella actividad que marca la velocidad de producción de la obra, bajo esta premisa del cuadro N° 5.33 usamos el rendimiento del montaje de viga prefabricada y se obtiene lo resultados que se muestran en los siguientes cuadros. El cuadro N° 5.35, muestra los metrados a ejecutar por cada tipo de elemento estructural, para el tramo con vía doble, también incluye los metrados de las vías de las estaciones comprendidas en este tramo.

Cuadro N°5.35 Metrados para vía doble, Monorriel

	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	und	m2	Tn	m3	ml
Pilotes	398	0	518	4,401	5,252
Zapatas	189	8,408	382	3,244	0
Columnas	250	15,235	2,251	4,761	0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	232	8,018	518	2,699	0
Viga Longitudinal	312	18,325	1,171	4,447	0
Monolitizacion	53	3,383	216	706	0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro N° 5.36, muestra los rendimientos mínimos que se necesitan para ejecutar el tramo con vía doble, esto garantiza cumplir las metas trazadas.

Cuadro N°5.36 Rendimientos en vía doble, Monorriel

	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	Und/día	m2/día	Kg/día	m3/día	ml/día
Pilotes	6.0	0.0	6,252.9	53.1	63.4
Zapatas	3.0	101.4	4,608.5	39.1	0.0
Columnas	3.0	183.8	27,157.6	57.4	0.0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	3.0	96.7	6,255.4	32.6	0.0
Viga Longitudinal	4.0	221.1	14,131.1	53.7	0.0
Monolitizacion	2.0	40.8	2,608.4	8.5	0.0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro N° 5.37, muestra los metrados a ejecutar por cada tipo de elemento estructural, para el tramo con una sola vía, también incluye los metrados de las vías de las estaciones comprendidas en este tramo.

Cuadro N°5.37 Metrados para vía simple, Monorriel

	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	und	m2	Tn	m3	ml
Pilotes	1,410	0	1,863	15,818	15,740
Zapatas	641	34,932	1,359	11,538	0
Columnas	814	52,643	8,453	15,070	0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	95	7,904	620	3,043	0
Viga Longitudinal	578	61,136	4,463	14,732	0
Monolitizacion	195	5,486	401	1,308	0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro N° 5.38, muestra los rendimientos mínimos que se necesitan para ejecutar el tramo con una sola vía, esto garantiza cumplir las metas trazadas.

Cuadro N°5.38 Rendimientos en vía simple, Monorriel

	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	Und/día	m2/día	Kg/día	m3/día	ml/día
Pilotes	10	0.0	12,130.3	103.0	102.5
Zapatas	5	227.5	8,848.2	75.1	0.0
Columnas	5	342.8	55,050.7	98.1	0.0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	1	51.5	4,036.9	19.8	0.0
Viga Longitudinal	4	398.2	29,067.7	95.9	0.0
Monolitizacion	2	35.7	2,608.4	8.5	0.0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro N° 5.39, muestra los metrados a ejecutar por cada tipo de elemento estructural, para las vías de los coches dentro del Patio de Maniobras.

Cuadro N°5.39 Metrados para vías en Patio de Maniobras.

	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	und	m2	Tn	m3	ml
Pilotes	220	0	293	2,488	2,200
Zapatas	110	7,334	226	1,915	0
Columnas	154	1,154	374	320	0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	0	0	0	0	0
Viga Longitudinal	109	11,003	683	2,551	0
Monolitizacion	6	1,217	76	247	0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

El cuadro N° 5.40, muestra los rendimientos mínimos que se necesitan para ejecutar el tramo con vía doble, esto garantiza cumplir las metas trazadas.

Cuadro N°5.40 Rendimientos en Patio de Manobras, Monorriel.

	Número de elementos	Encofrado	Acero	Concreto	Longitud (ml)
	Und/día	m2/día	Kg/día	m3/día	ml/día
Pilotes	12	0.0	10,118.1	85.9	76.0
Zapatas	6	253.3	7,789.1	66.1	0.0
Columnas	6	39.9	12,925.0	11.0	0.0
Viga Cabezal +Viga Pórtico	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Viga Longitudinal	4	380.0	23,583.7	88.1	0.0
Monolitizacion	1	42.0	2,608.4	8.5	0.0

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

e). -Los análisis realizados anteriormente, permiten representar gráficamente la velocidad de producción, a nivel de planeamiento de obra, el cual se observa en los siguientes gráficos para un ciclo del tren de actividades.



Las figuras 5.68, representa el tren de actividades para el tramo de construcción de doble vía, donde un ciclo de construcción se realiza en 45 días útiles y contempla 27 actividades de obras civiles y la figura 5.69, representa el tren de actividades para el tramo de construcción con una sola vía.

B.- Metro de Lima Línea 1, esta obra se realizó en dos etapas constructivas (tramo 1 y tramo 2), de los cuales el tramo 1 está compuesto por tramos construidos (fue mejorado y actualizado), tramos semi construidos y tramos nuevos. A diferencia el tramo 2, es una obra nueva en su totalidad, además contempla más vanos típicos de viaducto y estaciones, por estas últimas características se realizará el análisis de velocidad de producción del tramo 2 de la Línea 1 del metro de Lima.

A diferencia del monorriel, el Metro de lima es una obra construida, de cual se utilizarán los rendimientos reales de ejecución de obra (específicamente del tramo 2), según el grafico que se muestra en anexo 3 (Diagrama Tiempo Camino), representa la meta propuesta por el consorcio constructor, para la ejecución de las obras civiles y electromecánicas del tramo, este grafico en mención, se usó como base para realizar el control de la obra y cumplir las metas propuestas.

a). -Análisis entre el cronograma contractual (Anexo 3) y El diagrama Tiempo Camino (Anexo 3, Cronograma interno), del tramo 2 de la Línea 1 del Metro, El cronograma contractual inicialmente indicaba un plazo de ejecución de obra de 900 días calendarios con fecha de término el 14/01/2014, pero a consecuencia de las ampliaciones de plazo presentadas, el plazo contractual se incrementó en 235 días, y nueva fecha de término de obra el 4 de setiembre 2014. El constructor planeo terminar la obra el 01/04/2014 con 156 días de anticipación a la fecha fin contractual, que representa una contingencia de 14 %, como aseguramiento del cumplimiento de la obra como lo observamos en el siguiente cuadro.

Cuadro N°5.41 Buffer de ejecución de obra, Tren.

Descripción	Inicio de Obra	Fin de Obra	Duración	Diferencia de termino
Cronograma Contractual	28/7/2011	4/9/2014	1135	156 días, y Contingencia del 14%
Diagrama Espacio Tiempo (Cronograma Interno)	28/7/2011	1/4/2014	1171	

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2, MTC



b). -El diagrama Tiempo Camino, es una fotografía de cómo se tuvo que atacar la obra a consecuencia de las interferencias y problemas típicos de una ejecución. se realizó el análisis del rendimiento de las actividades indicadas en dicho gráfico, como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro N°5.42 Resumen del diagrama Tiempo Camino, Tren.

Descripción		D (ml)	Inicio	Fin	Duración	Rendimiento	
Obras Cíviles	Pilotes	4157	01/10/12	13/02/13	135	30.79	ml/día
	Inicio de Excavaciones	12800	01/06/12	31/05/13	364	35.16	ml/día
	Fin de Zapatas	12800	15/06/12	21/06/13	371	34.50	ml/día
	Fin de columnas	12800	21/06/12	15/07/13	389	32.90	ml/día
	Fin de Cabezales	12800	08/07/12	07/08/13	395	32.41	ml/día
	Montaje de vigas y pre losas Prefabricadas	12800	08/09/12	21/08/13	347	36.89	ml/día
	Fin de Canaletas y borde típico	12800	08/12/12	31/10/13	327	39.14	ml/día
Obras Electromecánicas	Inicio de vía férrea(Colocación de manta, Balasto, Durmientes)		21/01/13	15/11/13	298		
	Fin de vía férrea (alivio de tensiones, Nivelación y regularización final)		16/03/13	08/12/13	267		
	Fin de Catenaria		16/04/13	15/01/14	274		
	Fin de Señalización y Automatización		21/04/13	21/01/14	275		
	Fin de instalaciones eléctricas		01/05/13	31/01/14	275		

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2, MTC

c). -El análisis realizado anteriormente sirve como base para obtener los rendimientos reales que se dio para cada tipo de estructura civil, para obtener estos indicadores es necesario tener las siguientes consideraciones.

- El rendimiento obtenido anteriormente está en función a días calendarios, y para tener los rendimientos reales de obra es necesario hacerlo en días útiles (de lunes a viernes), ya que los días sábado y domingo representan nuestro Buffer de obra.
- Se realiza la división de las cantidades de elementos y metrados, entre la duración útil (Ver cuadro N° 5.43), resultando los rendimientos ver cuadro N°5.44

Cuadro N°5.43 Metrados tramo 2 del Tren.

Descripción	Duración útil	und	Vanos	Metros Lineales	Acero (Tn)	Encofrado (m2)	concreto (m3)
<b>PILOTES</b>	96	634		12,194	6,640	-	25,607
<b>ZAPATAS</b>	265	451		-	10,650	6,553	86,209
<b>COLUMNAS</b>	278	526		-	4,197	28,802	13,277
<b>VIGAS CABEZAL</b>	282	436		-	4,527	25,009	14,960

Descripción	Duración útil	und	Vanos	Metros Lineales	Acero (Tn)	Encofrado (m2)	concreto (m3)
VIGAS PREFABRICADAS	248	1,930		-	5,606	233,564	31,142
TABLEROS	248	432	432	-	3,919	36	14,473
DIAFRAGMAS	248	438		-	699	13,639	4,890
PRE LOSAS	248	26,282	432	-	-	-	4,576
BORDES TÍPICOS	234	7,810	449	-	-	-	4,796
CANALETAS	234	-	453	11,489	-	-	-
BALASTO	213		453				26,573
DURMIENTES	213	39,437	453				
RIELES	213		453	25,967			

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2, MTC

En el cuadro N° 5.44, muestra los rendimientos con que se ejecutó la obra del tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima.

Cuadro N°5.44 Rendimiento de estructuras del tren

Descripción	Duración	und	Vanos	Metros Lineales	Acero	Encofrado	Concreto
	Días	Und/día	Vanos/día	ml/día	kg/día	m2/día	m3/día
PILOTES	96.4	7	0	126.5	68,855.4	0.0	265.6
ZAPATAS	265.0	2	0	0.0	40,187.8	24.7	325.3
COLUMNAS	277.9	2	0	0.0	15,105.4	103.7	47.8
VIGAS CABEZAL	282.1	2	0	0.0	16,046.8	88.6	53.0
VIGAS PREFABRICADAS	247.9	8	0	0.0	22,616.0	942.3	125.6
TABLEROS	247.9	2	2	0.0	15,811.7	0.1	58.4
DIAFRAGMAS	247.9	2	0	0.0	2,821.5	55.0	19.7
PRE LOSAS	247.9	106	2	0.0	0.0	0.0	18.5
BORDES TÍPICOS	233.6	33	2	0.0	0.0	0.0	20.5
CANALETAS	233.6	0	2	49.2	0.0	0.0	0.0
BALASTO	212.9	0	2	0.0	0.0	0.0	124.8
DURMIENTES	212.9	185	2	0.0	0.0	0.0	0.0
RIELES	212.9	0	2	122.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2, MTC

d). -Los análisis realizados anteriormente, permiten representar gráficamente la velocidad de producción de un ciclo de construcción, mediante un tren de actividades a nivel de planeamiento de obra, y por cuestiones didácticas este se representa en unidades y en vanos, como se observa en la figura N° 5.70





### 5.5.2.6 Análisis Crítico del Tiempo de Construcción.

Según lo descrito sección de infraestructura y en la secuencia de construcción se ha verificado que la Línea 1 del Metro de Lima y el Monorriel de Arequipa, son dos sistemas de transporte público urbano masivo, que tienen estructuras de civiles, de viaducto en común que son similares, visto desde la parte constructiva, como lo observamos en el siguiente cuadro.

Cuadro N°5.45 Estructuras en común

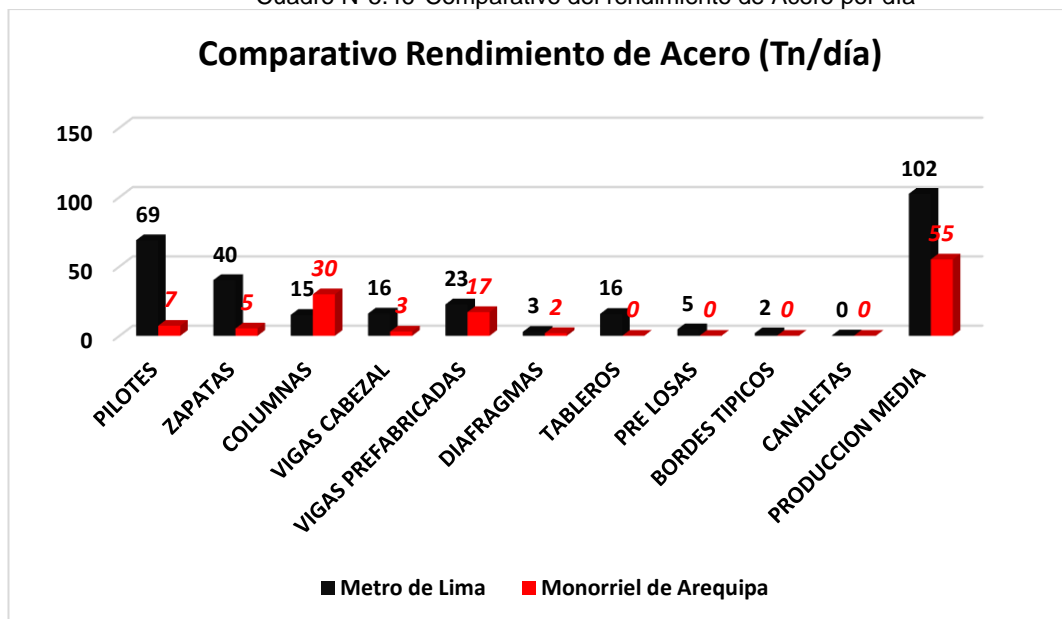
	MONORRIEL DE AREQUIPA	LÍNEA 1 DEL METRO DE LIMA
PILOTES	SI	SI
ZAPATAS	SI	SI
COLUMNAS	SI	SI
VIGAS CABEZAL	SI	SI
VIGAS PREFABRICADAS	SI	SI
DIAFRAGMAS	SI	SI
PASARELAS DE EVACUACIÓN	SI	NO
PRE LOSAS	NO	SI
LOSA DE TABLERO	NO	SI
BORDES TÍPICOS	NO	SI
CANALETAS DE CONCRETO	NO	SI

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1

Con los rendimientos obtenidos del tiempo camino, tanto del Monorriel de Arequipa y la Línea 1 del Metro de Lima, se obtuvo los siguientes cuadros comparativos para las actividades de acero, encofrado y concreto. En los cuadros se muestran las estructuras de las obras civiles de viaducto, las comunes y no comunes.

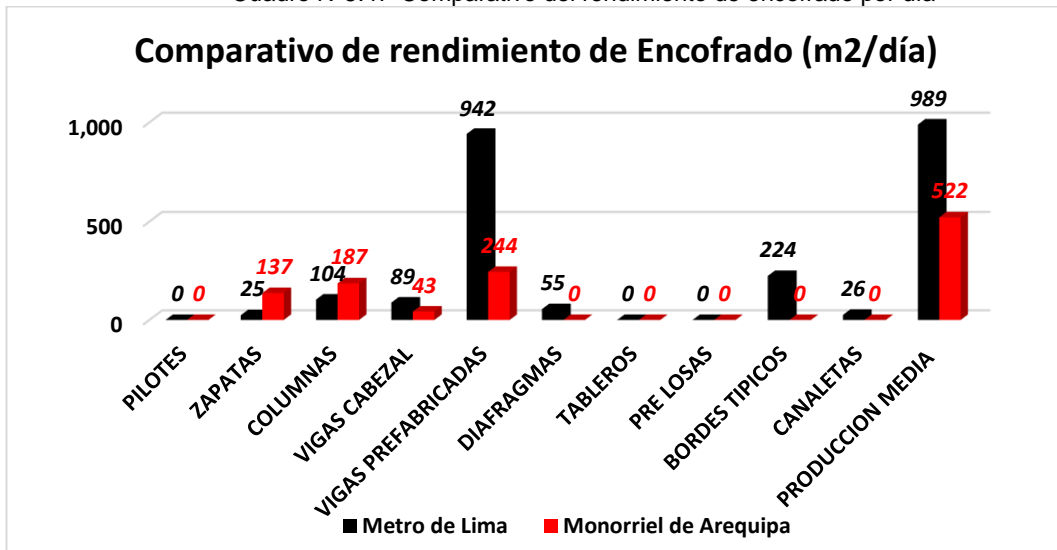
Cuadro N°5.46 Comparativo del rendimiento de Acero por día



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

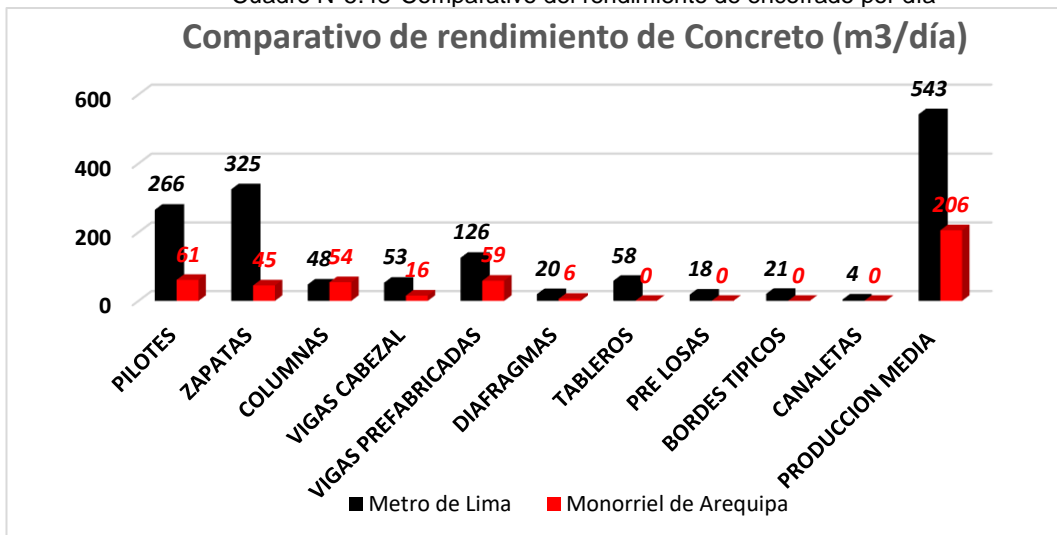
Línea 1

Cuadro N°5.47 Comparativo del rendimiento de encofrado por día



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Cuadro N°5.48 Comparativo del rendimiento de encofrado por día



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Entonces de acuerdo a los cuadros comparativos y a lo estudiado en las secciones anteriores, en relación al tiempo de construcción, se formulan las siguientes preguntas, seguido de sus respectivas.

1.- ¿El tiempo de construcción de las obras civiles para la vía del Monorriel de Arequipa, es menor al tiempo de construcción de las obras civiles para la vía de la Línea 1 del Metro de Lima?



Para responder esta pregunta, es necesario que las estructuras civiles comunes (como lo muestra el cuadro n°5.45), tengan las mismas cantidades de acero, encofrado y concreto, además presenten los mismos recursos para su construcción, bajo este escenario hacemos referencia a la sección 5.5.2.2 Secuencia de Construcción donde se obtiene lo siguiente:

- Construcción de un vano del Monorriel = 45 días útiles
- Construcción de un vano del Metro Elevado = 60 días útiles

Lo que nos indica que las obras civiles del monorriel se terminarían mucho más rápido.

2.- Si usáramos los rendimientos de las obras civiles para la vía del Monorriel de Arequipa, en las obras civiles para la construcción de la vía de la Línea 1 del Metro de Lima. ¿Qué sucedería con las duraciones para las actividades?

Usando los rendimientos de la programación interna, se realizó el siguiente cuadro comparativo. (N°1 = Duración inicial, N°2 = Duración con rendimientos de Monorriel)

Cuadro N°5.49 Metro con Rendimiento del Monorriel

Duración	Acero		Encofrado		Concreto	
	N° 1	N°2	N° 1	N°2	N° 1	N°2
<b>PILOTES</b>	96	919	96		96	417
<b>ZAPATAS</b>	265	2,004	265	48	265	1,910
<b>COLUMNAS</b>	278	140	278	154	278	244
<b>VIGAS CABEZAL</b>	282	1,472	282	581	282	964
<b>VIGAS PREFABRICADAS</b>	248	328	248	955	248	530
<b>DIAFRAGMAS</b>	248	374	248		248	800

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Verificamos que, si usáramos lo indicado en la pregunta, al desarrollar las actividades de la Línea 1 nos tardaríamos mucho más. a excepción del acero y concreto de columnas que sería más rápido, porque los rendimientos para las columnas en el monorriel son mayores. (Monorriel = 30 tn/día versus Línea 1 Tramo 2 = 15 tn/día)

3.- Si usáramos los rendimientos de las obras civiles de la Línea 1 del Metro de Lima, para las obras civiles de la construcción de la vía del Monorriel de Arequipa. ¿Qué sucedería con las duraciones para las actividades?

Usando los rendimientos de la programación interna, se realizó el siguiente cuadro comparativo (N°1 = Duración inicial, N°2 = Duración con rendimientos de Metro)

Cuadro N°5.50 Monorriel con Rendimientos del Metro

Duración	Acero		Encofrado		Concreto	
	N° 1	N°2	N° 1	N°2	N° 1	N°2
<b>PILOTES</b>	370	39	370	0	370	85
<b>ZAPATAS</b>	370	49	370	2,049	370	51
<b>COLUMNAS</b>	370	733	370	666	370	422
<b>VIGAS CABEZAL</b>	370	71	370	180	370	108
<b>VIGAS PREFABRICADAS</b>	370	279	370	96	370	173
<b>DIAFRAGMAS</b>	370	245	0	0	370	115

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

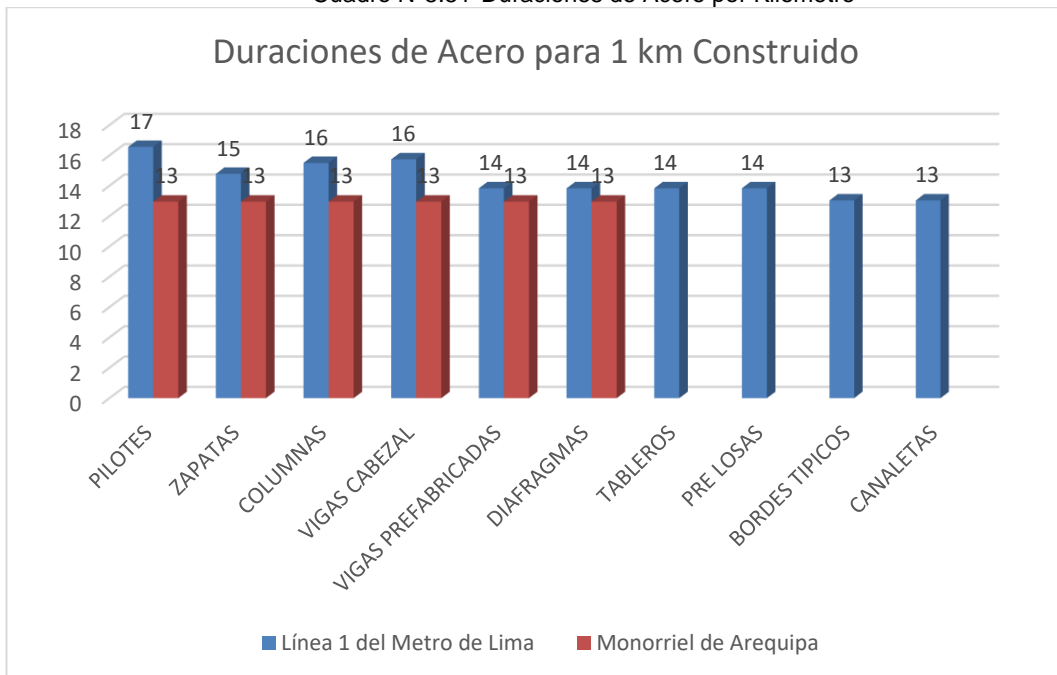
Línea 1

Verificamos que, si usáramos lo indicado en la pregunta, al desarrollar las actividades del Monorriel los realizaríamos mucho más rápido, a excepción del acero y concreto de columnas, que tardaríamos, porque tenemos mayor cantidad de Acero en el Monorriel. (Monorriel = 488.81 Kg/m<sup>3</sup> versus Línea 1 Tramo 2 = 314.01 Kg/m<sup>3</sup>)

4.-En un escenario de 1 km construido de obras civiles de viaducto, ¿Las duraciones de las estructuras en común del Monorriel, son menores a las duraciones del Metro?

Para responder a esta pregunta, usaremos los rendimientos obtenidos de los cronogramas internos y mostraremos el comparativo en los siguientes cuadros.

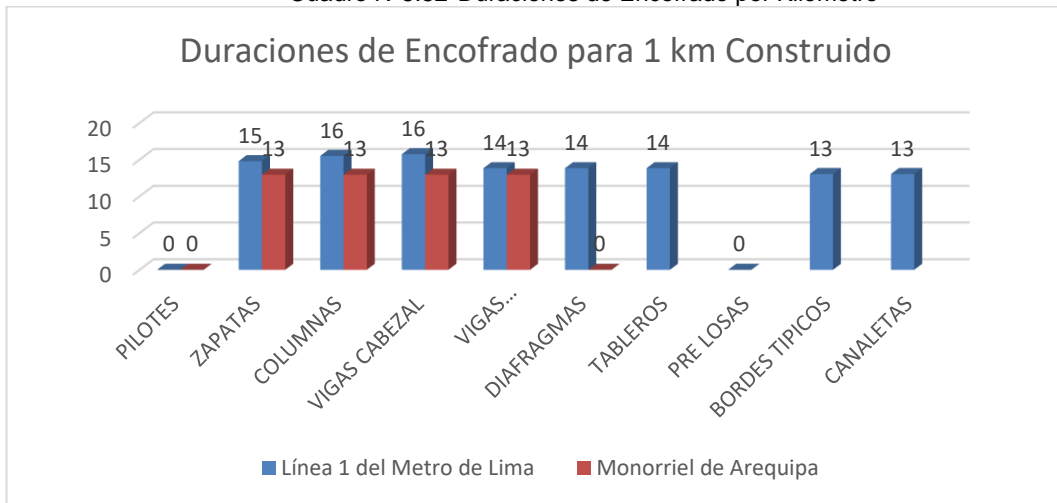
Cuadro N°5.51 Duraciones de Acero por Kilometro



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

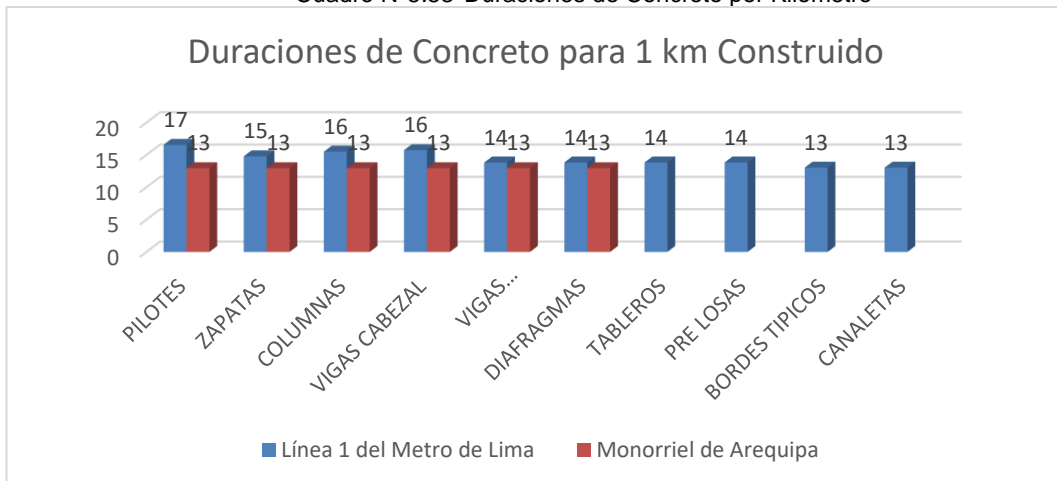
Línea 1

Cuadro N°5.52 Duraciones de Encofrado por Kilometro



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Cuadro N°5.53 Duraciones de Concreto por Kilometro



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Por lo tanto, de los resultados obtenidos se visualiza que las duraciones obtenidas por kilómetro construido del Monorriel de Arequipa, son menores a las duraciones obtenidas de la Línea 1 del Metro de Lima.

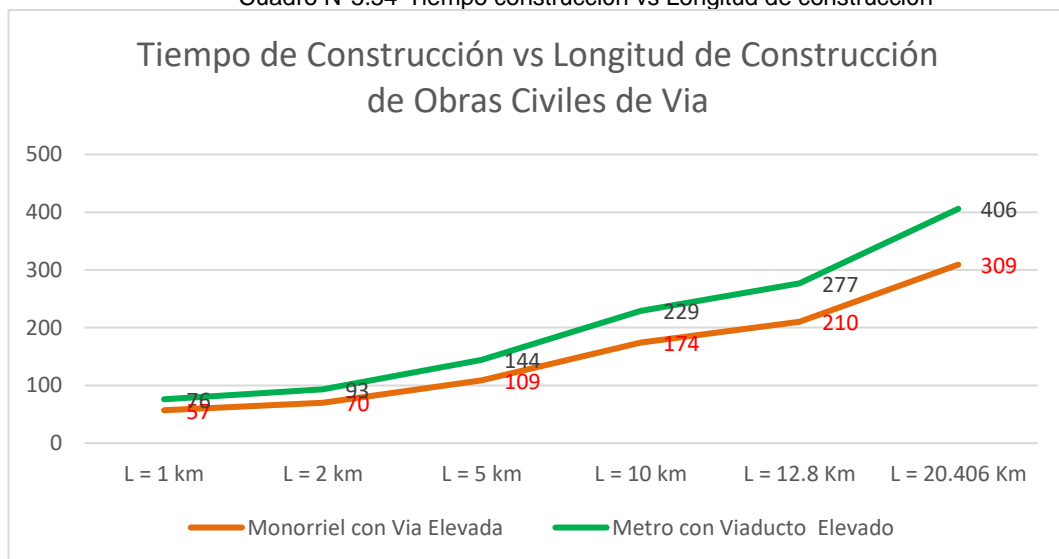
5.- En un escenario de 1 km construido de obras civiles de viaducto, ¿Cuál es la diferencia del tiempo de construcción?

Para responder a esta pregunta, usaremos las duraciones anteriores, identificando cuál de ellas es la que marca la velocidad de construcción del tren de actividades. Para el caso de la Línea 1, la duración más desfavorable es del acero de Pilotes con 17 días útiles (Duraciones reales de obra), y para el caso del Monorriel tiene una duración estándar de 13 días útiles. (Proviene del Tiempo- Camino).

Entonces con estas consideraciones se elaboró el cronograma de ejecución, para las obras civiles de vía para el Monorriel y el Metro elevado donde resulto las siguientes duraciones. (El cronograma elaborado, ver en el anexo 3 ultima figura),

- Para el Metro elevado = 76 días útiles, es el tiempo para construir solo 1 km de obra de viaducto elevado. Y de lo elaborado, se obtiene una ecuación lineal para el cálculo de la duración de la construcción de una cantidad kilómetros de viaducto elevado con características similares a la Línea 1 del Metro de Lima.  $Dx = 59 + 17X$ , es la ecuación, donde Dx es la duración (días útiles) de la construcción de X kilómetros.
- Para el Monorriel con vía elevada = 57 días útiles, es el tiempo para construir solo 1 km de obra de vía elevada. Y de lo elaborado, se obtiene una ecuación lineal para el cálculo de la duración de la construcción de una cantidad kilómetros de vía elevada con características similares al Monorriel de Arequipa,  $Dx = 44 + 13X$ , donde Dx es la duración (días útiles) de la construcción de X kilómetros.
- La diferencia de tiempo para la construcción de 1 km de obras civiles de viaducto elevado es de 19 días útiles, sin embargo, esta diferencia es variable. De lo estudiado de concluye, que, en un escenario ideal, cumpliéndose el tren de actividades, la construcción de las obras civiles del Monorriel con vía elevada, se realiza en menor tiempo, en comparación con las obras civiles para el viaducto del Metro elevado, como se puede visualizar en el siguiente cuadro. (Tiempo de construcción en días útiles y longitud de construcción en Kilómetros)

Cuadro N°5.54 Tiempo construcción vs Longitud de construcción



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1

Así también con los datos obtenidos de duración útil, realizamos y en función a los rendimientos del Monorriel de Arequipa y del Tramo 2 de la Línea 1, se obtiene que la construcción de las obras civiles del Monorriel es más rápida realizándose en un 76% de lo realizado para la Línea 1 del Metro de Lima.

### 5.5.3 Costos de ejecución de Obra.

#### 5.5.3.1 Costos globales de obra

A.- Presupuestos de ejecución, los siguientes cuadros muestran los presupuestos para los dos sistemas en estudio.

El cuadro N°5.55 muestra la propuesta del presupuesto de obra, para la ejecución de las obras civiles y electromecánicas, para el sistema tipo monorriel para la ciudad de Arequipa.

Cuadro N°5.55 Presupuesto de Ejecución, Monorriel

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PARCIAL (US \$)
1	ELABORACIÓN DE INGENIERÍA BÁSICA Y EXPEDIENTE TÉCNICO	Glb	1	37,564,251
2	OBRAS PRELIMINARES	Glb	1	14,840,206
3	VÍA DEL MONORRIEL	Glb	1	226,786,452
4	ESTACIONES DEL MONORRIEL	Glb	1	71,722,336
5	PATIO DE TALLER (Maniobras)	Glb	1	10,545,310
6	RED DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	Glb	1	60,176,410
7	EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO Y MATERIAL RODANTE	Glb	1	304,095,328
	<b>COSTO DIRECTO</b>			<b>725,730,293</b>
	GASTOS GENERALES	%	27%	199,494,927
	UTILIDADES	%	10.00%	72,573,029
	<b>SUB TOTAL OBRAS CIVILES Y SISTEMA ELECTROMECAÁNICAS</b>			<b>997,798,247.54</b>
	EXPROPIACIONES	Glb	1	14,995,516
	INTERFERENCIAS	Glb	1	12,198,331
	<b>SUB TOTAL</b>			<b>1,024,992,094</b>
	IGV	%	18%	184,498,577
	<b>TOTAL PRESUPUESTO DE OBRA</b>			<b>1,209,490,671</b>

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión.

El cuadro N°5.56, muestra el presupuesto inicial (sin adicionales) de la ejecución de las obras civiles y electromecánicas para la Línea 1 del metro de Lima – Tramo 1

Cuadro N°5.56 Presupuesto de obra, Línea 1 – tramo 1

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PARCIAL (US \$)
01	OBRAS PRELIMINARES	498,962

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PARCIAL (US \$)
02	VIADUCTO	80,006,104
03	ESTACIONES	22,893,214
04	OBRAS VARIAS	13,540,815
05	EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	116,924,212
06	ADECUACIÓN DE MATERIAL RODANTE	12,500,000
07	INTERFERENCIAS	11,570,988
08	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	1,657,399
09	OTROS PRESUPUESTOS	162,007
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO OBRA</b>	<b>259,753,700</b>
	<b>GASTOS GENERALES (37.2%)</b>	<b>96,628,376</b>
	<b>UTILIDAD (10%)</b>	<b>25,975,370</b>
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>382,357,447</b>
	<b>IGV 19%</b>	<b>72,647,915</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO OBRA</b>	<b>455,005,361</b>
<b>EXPEDIENTE TÉCNICO</b>		
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO ET</b>	<b>6,654,198</b>
	<b>GASTOS GENERALES (15%)</b>	<b>998,130</b>
	<b>UTILIDAD (10%)</b>	<b>665,420</b>
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>8,317,747</b>
	<b>IGV 19%</b>	<b>1,580,372</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO ET</b>	<b>9,898,119</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>464,903,481</b>

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramo 1, MTC

Es necesario indicar que el presupuesto final del tramo 1, de la Línea 1 del metro de Lima es de, \$ 471,062,349.71 el cual incluye los adicionales N°1 de \$ 1,172,458.67 y N°2 \$ 4,986,410.48 (costos que incluyen gastos generales, utilidad e IGV).

El cuadro N°5.57, muestra el presupuesto inicial según expediente técnico de la ejecución de las obras civiles y electromecánicas para la Línea 1 del metro de Lima – Tramo 2

Cuadro N°5.57 Presupuesto de obra, Línea 1 – Tramo 2

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PARCIAL (US \$)
<b>A</b>	<b>COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES Y EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÑICO</b>			
01	OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES	Glb	1.00	5,082,385
02	VIADUCTO ELEVADO	Glb	1.00	212,565,531
03	ESTACIONES DE PASAJEROS	Glb	1.00	39,867,408
04	PUENTE SOBRE EL RIO RÍMAC	Glb	1.00	22,543,294
05	PUENTE SOBRE EL PUENTE HUÁSCAR	Glb	1.00	18,253,709
06	PATIO DE MANIOBRAS	Glb	1.00	12,910,533

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PARCIAL (US \$)
<b>A</b>	<b>COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES Y EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO</b>			
07	OBRAS COMPLEMENTARIAS	Glb	1.00	16,425,118
08	EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO	Glb	1.00	108,033,611
	<b>COSTO DIRECTO:</b>			<b>435,681,590</b>
	GASTOS GENERALES:		37.20%	162,073,551
	UTILIDADES :		10.00%	43,568,159
	<b>SUB TOTAL:</b>			<b>641,323,300</b>
	IGV:		18.00%	115,438,194
	<b>SUBTOTAL OBRAS CIVILES Y EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO:</b>			<b>756,761,494</b>
<b>B</b>	<b>COSTO DIRECTO EXPEDIENTE</b>	Un	1.00	14,528,562
	GASTOS GENERALES:		15.00%	2,179,284
	UTILIDADES :		10.00%	1,452,856
	<b>SUB TOTAL:</b>			<b>18,160,702</b>
	IGV:		18.00%	3,268,926
	<b>SUBTOTAL EXPEDIENTE TÉCNICO</b>			<b>21,429,628</b>
<b>C</b>	<b>INTERFERENCIAS ESTIMADAS</b>	Un	1.00	111,290,453
	Costo de Administración de las Interferencias Estimadas		10.00%	11,129,045
	<b>SUBTOTAL INTERFERENCIAS</b>			<b>122,419,498</b>
	<b>TOTAL FINAL</b>			<b>900,610,620</b>

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 2, MTC

B.-Análisis comparativo de los costos, a continuación, se muestran los siguientes cuadros con los resultados de una comparación de los costos globales para ambos sistemas, y estos valores se muestran mediante el siguiente orden, Monorriel, Línea1 – Tramo 1, Línea 2 – Tramo 2

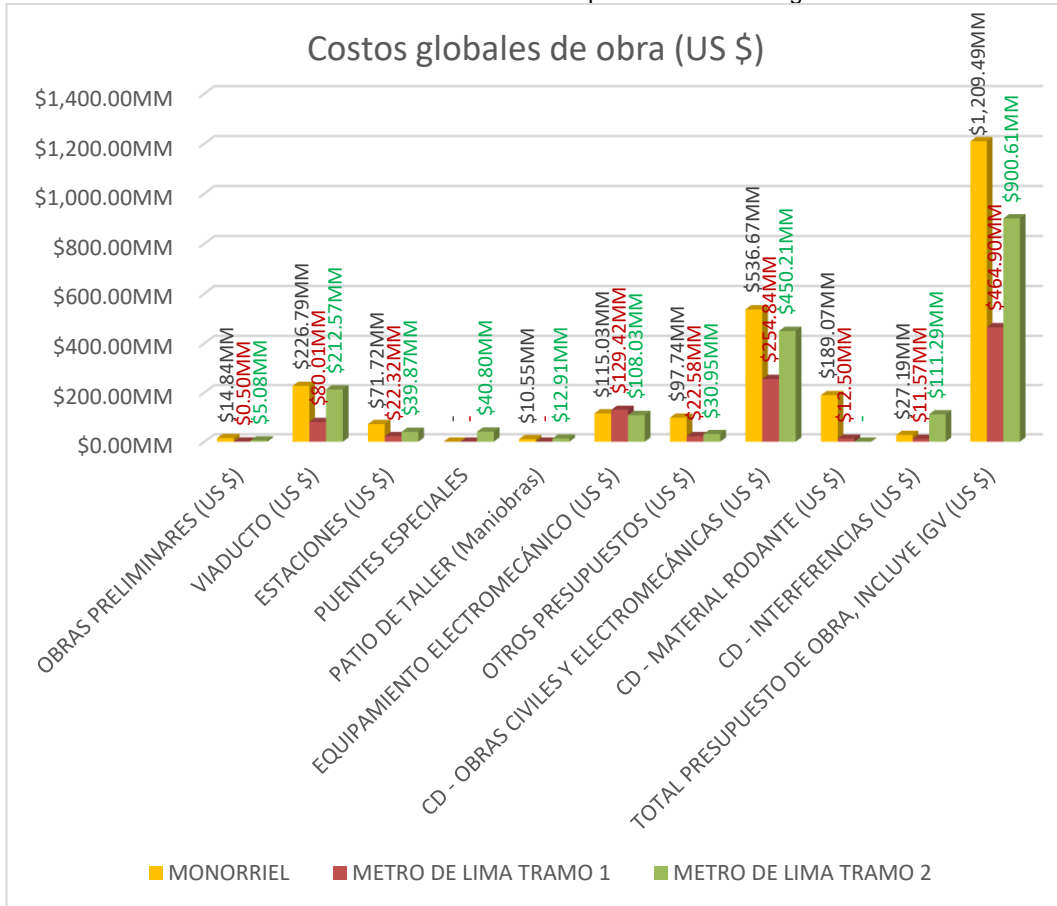
El cuadro N° 5.58, muestra el resultado de una comparación entre los costos directos totales por cada macro actividad y el presupuesto total que incluye IGV, para cada sistema, como se puede observar el presupuesto total y los costos directos de cada actividad (excepto las Interferencias) del monorriel, son mayores respecto al tramo 2 y este último mayor a los mostrados para el tramo 1, de la Línea 1.

Una simple conclusión dejaría entender que el sistema tipo monorriel es más caro, pero recordemos que el monorriel de Arequipa está compuesto por 26 estaciones y tiene una longitud de 20.4 km, en comparación de las 10 estaciones con 12.4 Km del tramo 2 y 10 estaciones con 9.15 km del tramo 1, de la Línea 1.



Respecto a las interferencias, para cada sistema no es posible determinar qué sistema tiene mayor valor, ya que este costo se establece de acuerdo a los estudios por sondeos físicos, calicatas, identificación visual e información de las operadoras, cuyo monto incluye el retiro y reubicación de la interferencia.

Cuadro N°5.58 Cuadro comparativo de costos globales



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

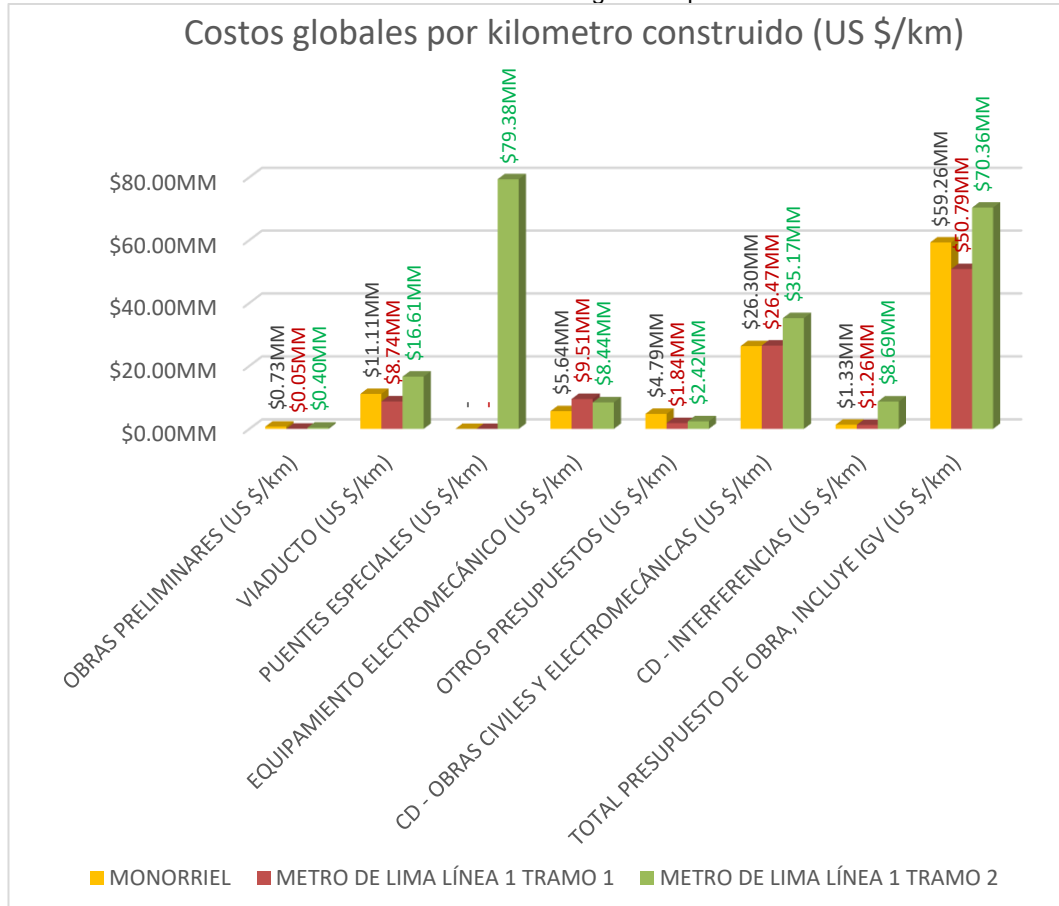
C.-Análisis comparativo de los costos globales por Kilometro construido y el valor promedio de una estación de cada sistema.

El cuadro N°5.59, muestra la estimación de los costos por kilómetro construido, de cada macro actividad (costo directo en US \$/km) y el presupuesto total (incluye gastos generales, utilidades e IGV en US \$/km).

C.1.-Para el caso de viaducto, se observa que los costos del tramo 1 de la Línea 1 son menores respecto al monorriel y este último menor a los mostrados para el tramo 2, de la Línea 1. Esto se debe porque el tramo 1 de la Línea 1, comprende tramos semi construidos, según expediente técnico son los tramos SC (construido desde zapatas hasta tableros, con 1.55 km), C1 (construido desde zapatas hasta columnas, con 0.55 km de longitud), C2 (construido desde zapatas hasta

columnas, con 0.45 km de longitud), C4(construido desde zapatas hasta columnas, con 0.35 km de longitud), son sectores semi construidos en los años 80 y estructuras cuyas dimensiones son de menores dimensiones en comparación a las estructuras del tramo 2 de la Línea 1.

Cuadro N°5.59 Costos globales por Kilometro



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

En el cuadro anterior N° 5.59, se observa también que los costos de las estructuras de la vía de este sistema son menores respecto al tramo 2, esto debido a que las dimensiones de las estructuras son menores en comparación con las estructuras del tramo 2, además el monorriel cuenta con menos estructuras para la conformación de su vía ( Pilotes, zapatas, columnas, viga cabezal, viga prefabricada, diafragmas), en comparación con el viaducto de la Línea 1 del metro de Lima (Pilotes, zapatas, columnas, viga cabezal, viga prefabricada, vigas cajón, losas prefabricadas, tableros, diafragmas, bordes típicos y canaletas).

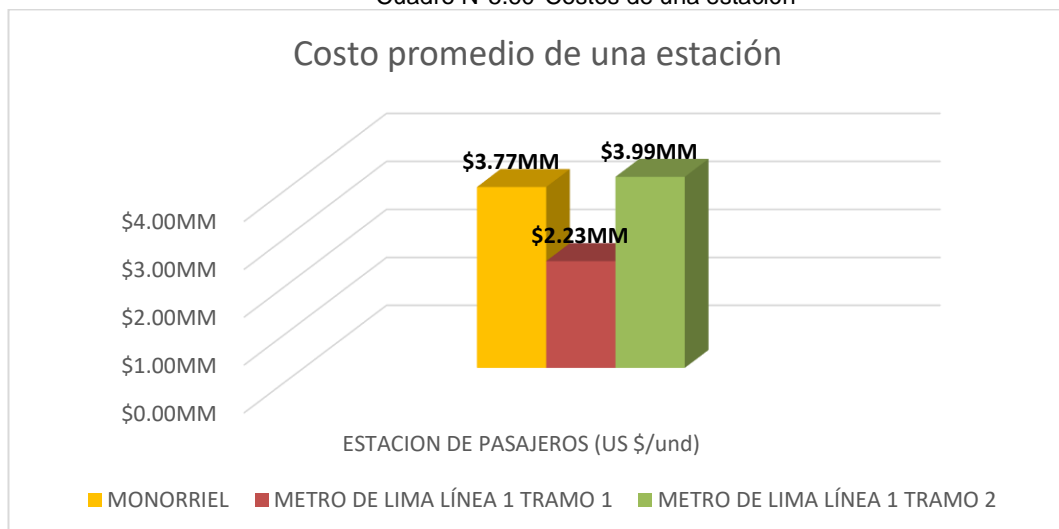
Para caso de los puentes especiales, Puente Rímac cuyo costo directo es US \$ 22,543,294 con 274 m de longitud y Puente Evitamiento cuyo costo directo es US \$ 18,253,709 con 240 m de longitud, estos tipos de estructuras especiales solo se

realizaron en el tramo 2 de la Línea 1, y que, al hacer la estimación de costo por kilómetro construido, (US \$40,797,003/0.514 km = US \$ 79.38 millones/km), resulta un valor mucho mayor respecto al presupuesto total por kilómetro construido (del tramo 2). Esto se debe a que el diseño de las Dovelas, comprende los concretos de alta resistencia ( $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'c=550$  kg/cm<sup>2</sup>), la alta densidad de Acero (169.973 Kg/m<sup>3</sup>), el alto costo del encofrado para dovelas sucesivas, además en este tramo se encuentran las estructuras con mayores dimensiones (pilotes, zapatas, columnas), que Justifican el alto consto por kilómetro construido.

C.2.-Para el caso de las estaciones.

El cuadro N° 5.60 muestra el comparativo del costo promedio total de una estación para ambos sistemas, se observa que el costo de la estación del tramo 2 del metro de Lima es mayor respecto al costo de la estación del monorriel, y este último es mayor al costo de la estación del tramo 1 del metro de Lima. Esto porque las estaciones del tramo 2, tienen mayor volumen de concreto estructural y están mejor equipadas, por ejemplo, en el tramo 2 todas las estaciones tienen escaleras mecánicas, a diferencia de las estaciones del tramo 1, donde solo las estaciones Grau y Javier Prado tienen escaleras mecánicas. Para el caso de las estaciones del monorriel, el mayor costo se encuentra en los acabados, y también cada estación está más equipada en comparación a las estaciones de la Línea 1 y 2 del metro de Lima, se ampliará esta información en el siguiente análisis.

Cuadro N°5.60 Costos de una estación

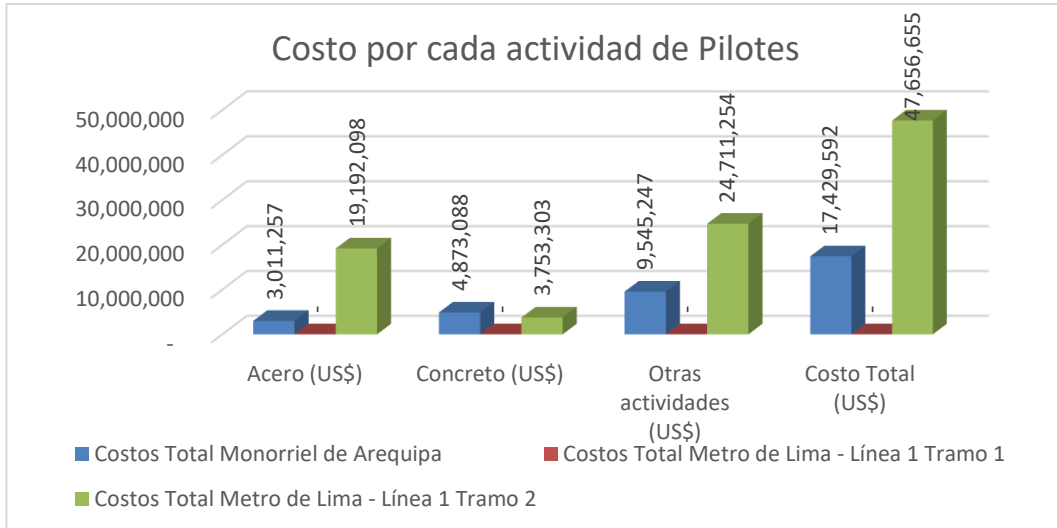


Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

### 5.5.3.2 Indicadores de costos de viaducto y estaciones.

A.-Pilotes, El cuadro N°5.61 muestra un comparativo del costo directo para las actividades de acero, concreto, otras actividades complementarias y el costo total de los pilotes por cada sistema.

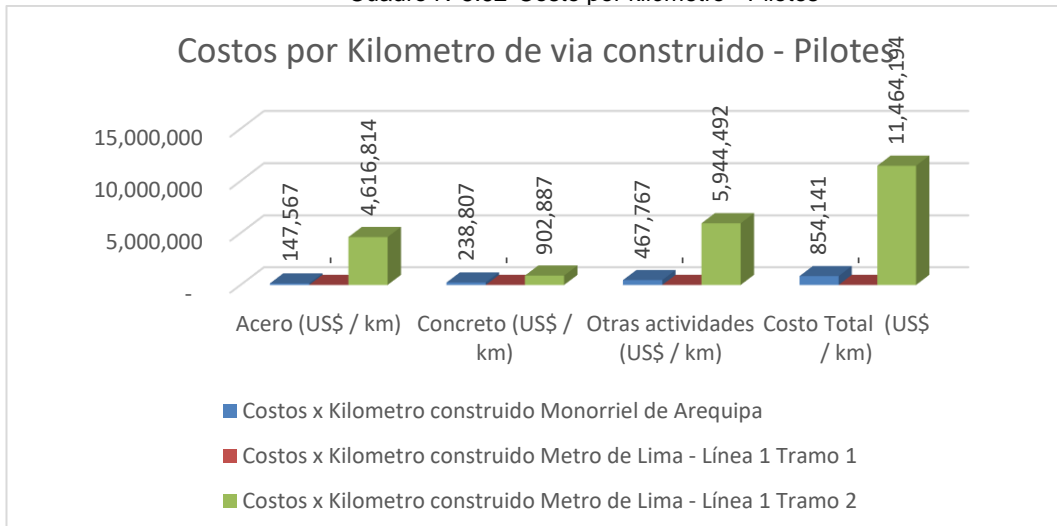
Cuadro N°5.61 Costo de actividades - Pilotes



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.62 muestra un comparativo del costo directo por Kilómetro de vía construido para las actividades de acero, concreto, otras actividades complementarias y el costo total de los pilotes por cada sistema.

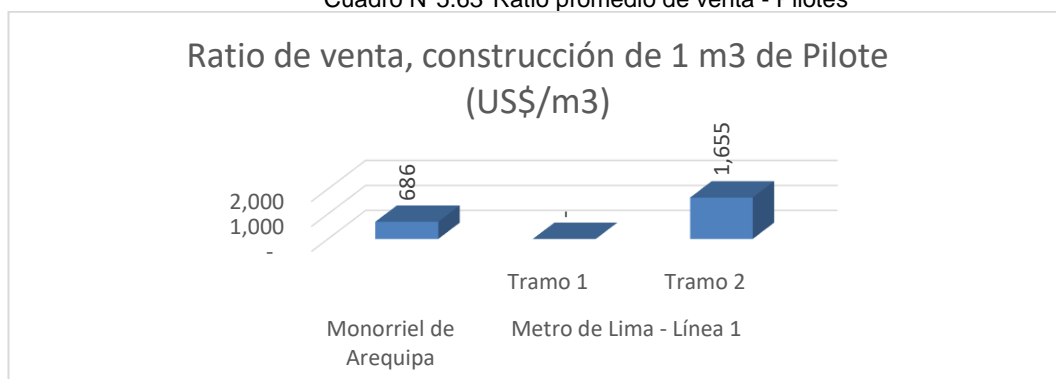
Cuadro N°5.62 Costo por kilómetro - Pilotes



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.63 muestra un cuadro comparativo de cuánto cuesta producir 1 m<sup>3</sup> de un pilote terminado, para ambos sistemas en estudio.

Cuadro N°5.63 Ratio promedio de venta - Pilotes



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Análisis de los cuadros N° 5.64, 5.65 y 5.66, mostrados anteriormente, se observa que los costos de los pilotes del monorriel son menores a los del tramo 2 de la Línea 1, esto se debe a que las cantidades de acero y concreto del tramo 2 son mayores, (a pesar que los pilotes del monorriel tienen mayor longitud), esto se verifica al obtener el valor del ratio de acero por volumen de concreto y ratios de acero y concreto por metro lineal de Pilote, cuyos valores para monorriel son menores en comparación con el tramo 2 de la Línea 1, como se observa en el siguiente cuadro N° 5.64

Cuadro N°5.64 Comparativos de metrados - Pilotes

Descripción	Unidad	Monorriel de Arequipa	Línea 1 Metro de Lima - Tramo 2
Cantidad	und	2028.00	680.00
Longitud	ml	26670.80	13713.00
Acero	tn	2661.98	7466.73
Concreto	m <sup>3</sup>	25424.51	28797.30
Ratio de Acero por metro cubico	Kg/m <sup>3</sup>	104.70	259.29
Ratio de Acero por metro lineal de Pilote	Kg/ml	99.81	544.50
Ratio de Concreto por metro lineal de Pilote	m <sup>3</sup> /ml	0.95	2.10
Promedio Acero por kilómetro de Vía	Tn/km	130.45	1796.18
Promedio concreto por kilómetro de Vía	m <sup>3</sup> /km	1245.93	6927.42

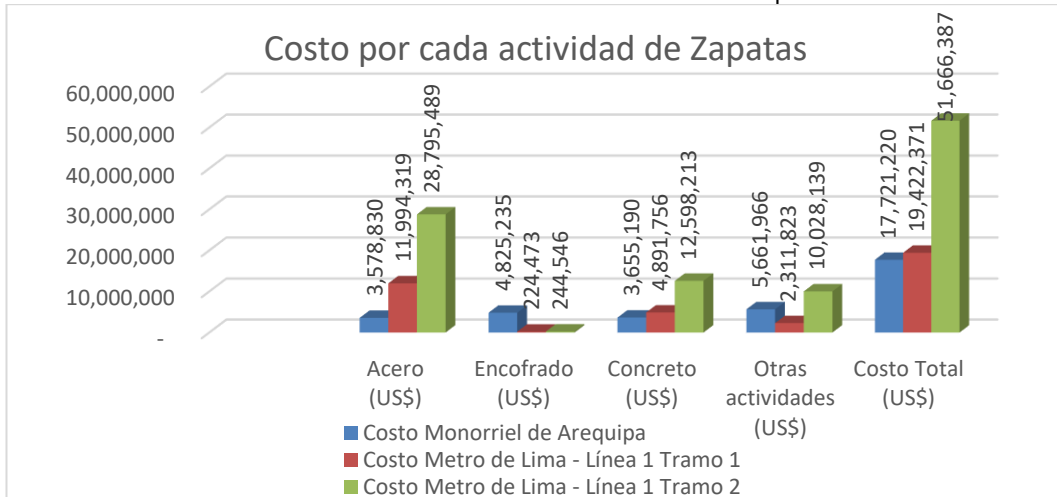
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Las actividades complementarias en los pilotes comprenden el movimiento de tierras para la conformación y nivelación de terreno para el posicionamiento de los

equipos de perforación de pilotes, además también comprende la actividad de descabezado de pilotes y ensayo de pilotaje.

B.-Zapatas, el cuadro N°5.65 muestra un comparativo de los costos totales para las actividades de acero, encofrado, concreto, y otras actividades, además se muestra el costo de venta de toda la ejecución de las zapatas por cada sistema. Estos valores son costos directos de obra.

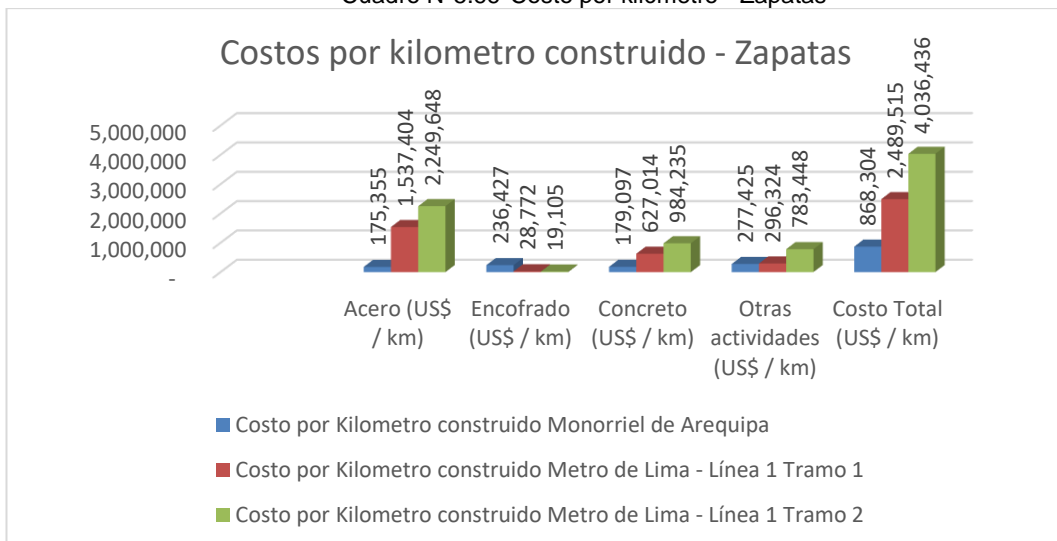
Cuadro N°5.65 Costo de actividades - Zapatas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.66 muestra un comparativo del costo directo por Kilometro construido para las actividades de acero, encofrado, concreto, otras actividades complementarias y el costo de venta promedio para ejecución de zapatas en un kilómetro de obra.

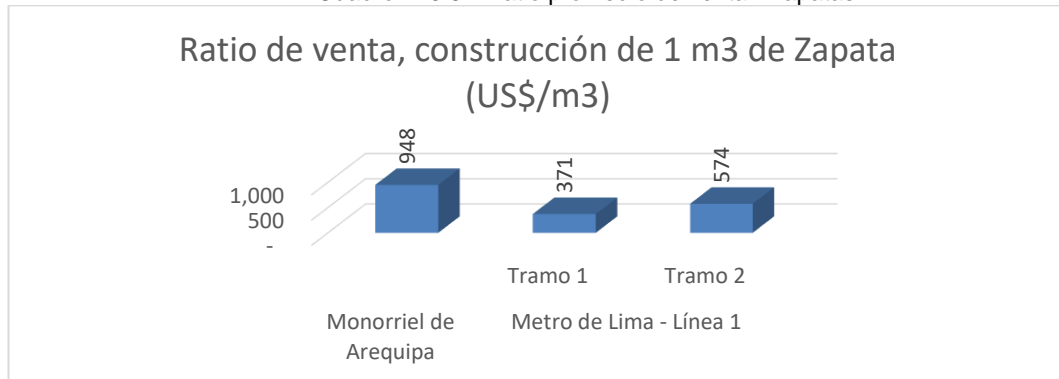
Cuadro N°5.66 Costo por kilómetro - Zapatas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.67 muestra un cuadro comparativo de cuánto cuesta producir 1 m<sup>3</sup> de zapata terminada, para ambos sistemas en estudio.

Cuadro N°5.67 Ratio promedio de venta - Zapatas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según el cuadro N° 5.65, la ejecución de las zapatas a nivel de costo total del tramo 2 tiene mayor valor en comparación con las del monorriel y este último a su vez, tiene mayor costo que el tramo 1, pero si hacemos la evaluación por kilómetro construido como se muestra en el cuadro N° 5.66, el orden cambia y las zapatas del monorriel son las que tienen menor costo total en comparación con las zapatas del tramo 1 y este a su vez tiene menor costo que las zapatas del tramo 2.

Esto se debe porque las zapatas del monorriel tienen menor volumen de concreto y menores dimensiones en comparación con las zapatas del tramo 1 y tramo 2, (ver cuadro N° 5.68). Aunque el monorriel tenga mayor número de zapatas y la actividad de encofrado de zapata en el monorriel tiene mayor metrado y por ende mayor costo, en comparación con el encofrado de las zapatas de los tramos 1 y 2, (ver cuadro N° 5.68), Lo descrito anteriormente, no tiene mucha incidencia en el costo total por Kilometro construido.

Según el cuadro N° 5.68, muestra el análisis comparativo del ratio de venta de 1 m<sup>3</sup> construido de zapata, se observa el ratio del monorriel tiene mayor valor, que el ratio del tramo 2 y este último tiene mayor valor que el ratio del tramo 1. Esto porque para el monorriel se consideró encofrado para todas las zapatas, a diferencia de los tramos 1 y 2, donde solo se consideran en algunas zonas, como se verificar en el siguiente cuadro N° 5.68



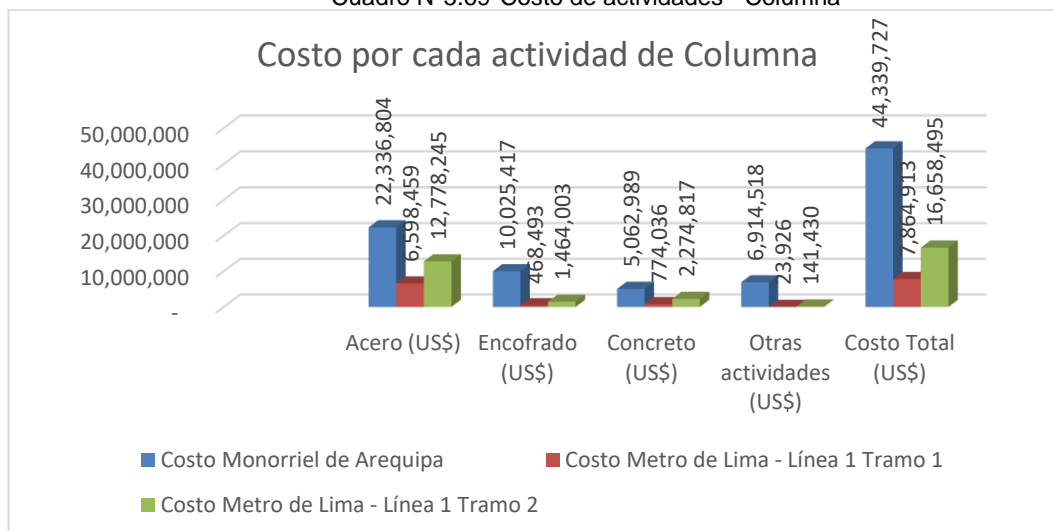
Cuadro N°5.68 Comparativo de metrados - zapatas

ZAPATAS	Unidades	Metrado		
		Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
Cantidad	und	940.00	354.00	451.00
Acero	tn	1,957.42	6,346.20	11,336.81
Encofrado	m2	64,257.90	11,777.17	7,745.21
Concreto	m3	18,695.17	52,318.25	89,978.12
Ratio de Acero por metro cubico	Kg/m3	104.70	121.30	126.00
Ratio de Encofrado por metro cubico	m2/m3	3.44	0.23	0.09
Ratio de Acero por kilometro	Tn/km	95.91	667.32	914.26
Ratio de Encofrado por kilometro	m2/km	3,148.51	1,238.40	624.61
Ratio de concreto por kilometro	m3/km	916.03	5,501.39	7,256.30

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

C.-Columnas, el cuadro N°5.69 muestra un comparativo de los costos totales para las actividades de acero, encofrado, concreto, y otras actividades, (estos valores son costos directos de obra). Además, se muestra el costo de venta de toda la ejecución de las columnas por cada sistema (incluye gastos generales, utilidades e IGV).

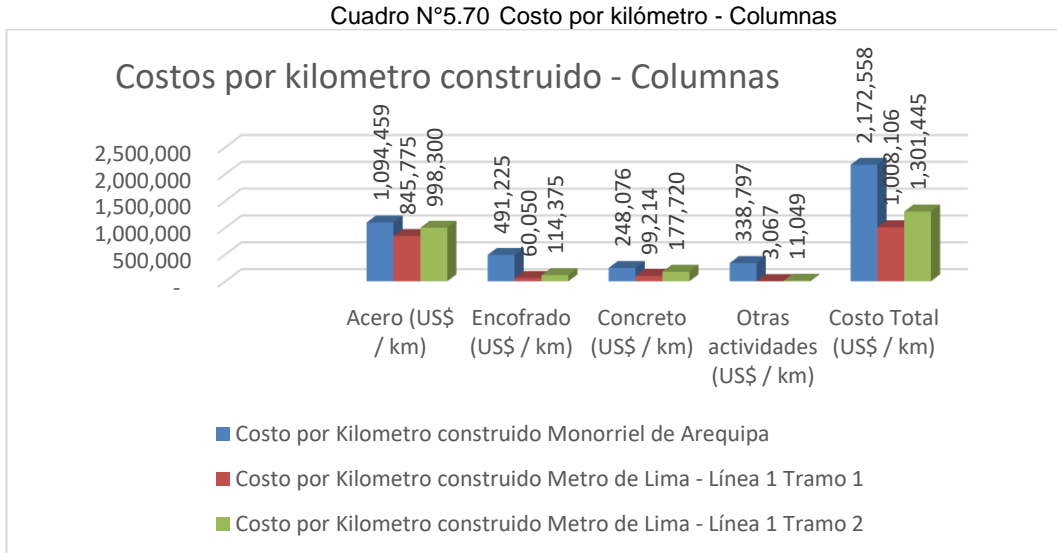
Cuadro N°5.69 Costo de actividades - Columna



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

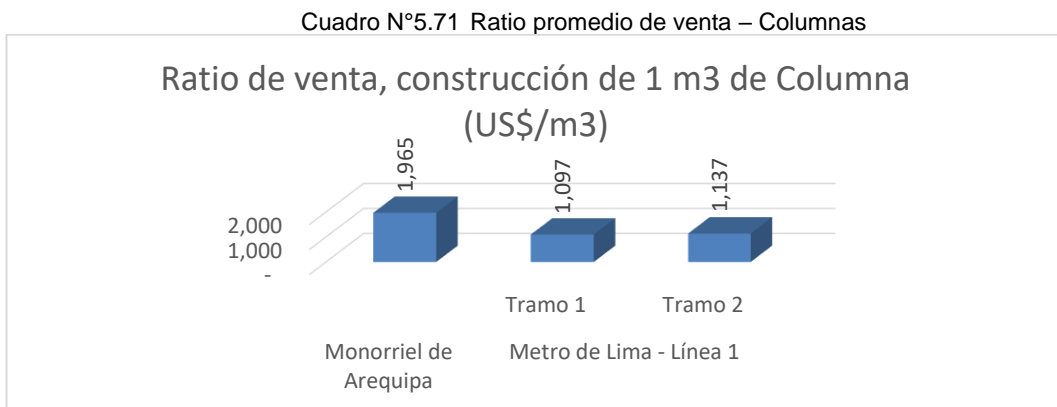
El cuadro N°5.70 muestra un comparativo del costo directo por Kilometro construido para las actividades de acero, encofrado, concreto, otras actividades

complementarias y el costo de venta promedio para ejecución de columnas en un kilómetro de obra.



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.71 muestra un cuadro comparativo de cuánto cuesta producir 1 m<sup>3</sup> de columnas terminada, para ambos sistemas en estudio.



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según los cuadros N°5.69, 5.70, 5.71, muestran los costos para las columnas del monorriel mayores a los costos del tramo 2 y este último mayor a los costos del tramo 1. Esto es porque según el diseño de las columnas del monorriel, contienen mayor cantidad de acero por volumen de concreto, así también, las cantidades de acero, encofrado y

concreto por kilómetro construido son mayores en comparación con las cantidades del tramo 2 y de este último son mayores a los del tramo 1, se puede observar en el siguiente cuadro N°5.72

Cuadro N°5.72 Comparativo de metrados e indicadores - Columnas

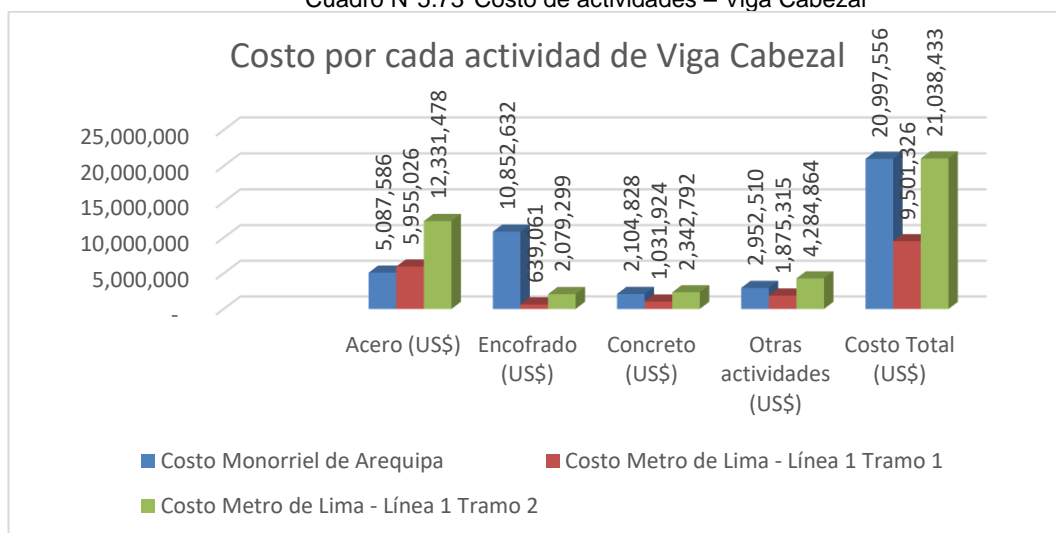
COLUMNAS	Unidades	Metrado, Indicadores		
		Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
Cantidad	und	1,218.00	420.00	526.00
Acero	tn	11,028.99	2,749.36	4,600.54
Encofrado	m2	87,537.28	16,755.82	31,031.52
Concreto	m3	22,562.76	7,168.99	14,650.72
Ratio de Acero por metro cubico	Kg/m3	488.81	383.51	314.01
Ratio de Encofrado por metro cubico	m2/m3	3.88	2.34	2.12
Ratio de Acero por kilometro	Tn/km	540.40	289.10	371.01
Ratio de Encofrado por kilometro	m2/km	4,289.15	1,761.92	2,502.54
Ratio de concreto por kilometro	m3/km	1,105.53	753.84	1,181.51

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

D.-Vigas Cabezal, el cuadro N°5.73 muestra un comparativo de los costos totales para las actividades de acero, encofrado, concreto, y otras actividades, (estos valores son costos directos de obra). Además, se muestra el costo de venta de toda la ejecución de las vigas cabezal por cada sistema (incluye gastos generales, utilidades e IGV).

Cuadro N°5.73 Costo de actividades – Viga Cabezal

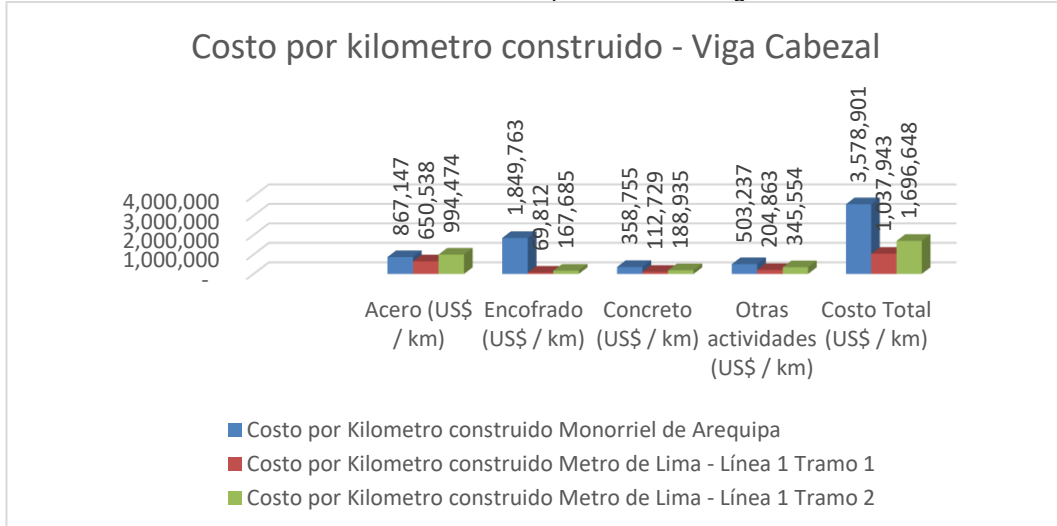


Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.74 muestra un comparativo del costo directo por Kilometro construido para las actividades de acero, encofrado, concreto, otras actividades complementarias y el costo de venta promedio para ejecución de las vigas cabezal en un kilómetro de obra.

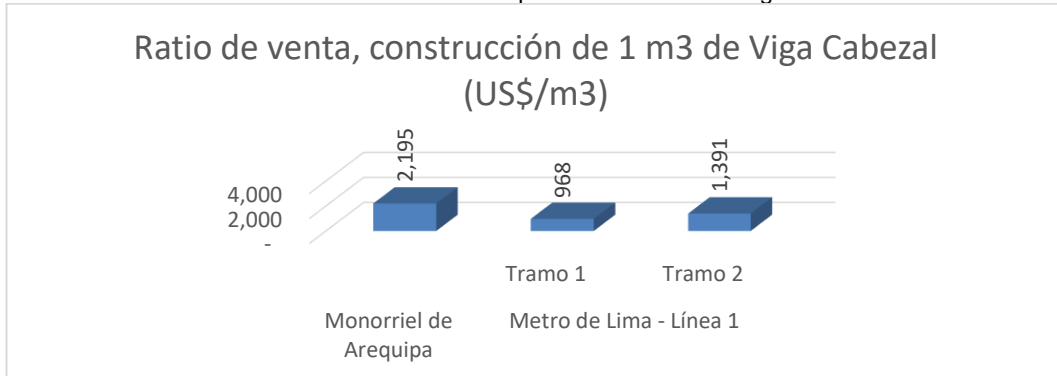
Cuadro N°5.74 Costo por kilómetro - Viga Cabezal



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.75 muestra un cuadro comparativo de cuánto cuesta producir 1 m3 de viga cabezal terminada, para ambos sistemas en estudio.

Cuadro N°5.75 Ratio promedio de venta - Viga Cabezal



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según el cuadro N°5.73, se observa que el costo total de las vigas cabezal del tramo 2, son mayores a los costos del monorriel y este último es mayor a los costos del tramo 1, así también se puede observar que el costo total del monorriel están cercanos a los costos totales del tramo 2, esto es porque la actividad de encofrado en el monorriel contiene mayor metrado en comparación al metrado de encofrado de los tramos

1 y 2. Dentro del alcance de los metrados de las vigas cabezales del monorriel se consideró los metrados de los pórticos y la plataforma de soporte para los intercambiadores de vías de monorriel (ver figura N° 5.73, losa maciza soportadas por vigas peraltadas, apoyadas sobre los cabezales o pórticos), para esta estructura se consideró un vaciado de concreto in situ, para el cual se necesita encofrados de fondo para vigas y losas macizas. (Pro Inversión - Queiroz Galvao, 2014)



Figura N° 5.73 Intercambiador de vía - Monorriel

Fuente: Obras del Monorriel de sao paulo, Brasil

El cuadro N° 5.76, muestra los metrados de las vigas cabezal y pórticos, donde se observa que el metrado del encofrado del monorriel supera a los metrados del encofrado de los tramos 1 y 2 de la Línea 1, esto implica que los costos por Kilometro construido y Costo del metro cubico construido sean superiores en comparación a los valores de los tramos 1 y 2 del Metro de Lima. (ver los cuadros N° 5.74 y 5.75).

Cuadro N°5.76 Comparativo de metrados e indicadores – Vigas Cabezal

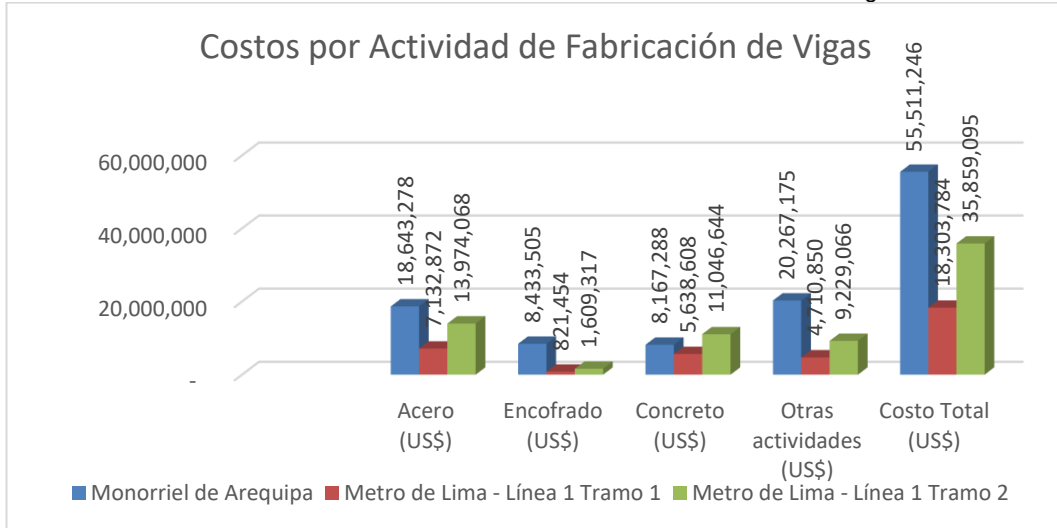
Vigas Cabezal, Pórticos	Unidades	Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
<b>Cantidad</b>	und	327.00	416.00	436.00
<b>Acero</b>	tn	2,581.16	2,326.18	4,567.21
<b>Encofrado</b>	m2	53,149.76	19,555.11	25,372.78
<b>Concreto</b>	m3	9,564.09	9,813.83	15,129.43
<b>Ratio de Acero por metro cubico</b>	Kg/m3	269.88	237.03	301.88
<b>Ratio de Encofrado por metro cubico</b>	m2/m3	5.56	1.99	1.68
<b>Ratio de cantidad por kilometro</b>	und/km	56	45	35
<b>Ratio de Acero por kilometro</b>	Tn/km	440	254	368
<b>Ratio de Encofrado por kilometro</b>	m2/km	9,059	2,136	2,046
<b>Ratio de concreto por kilometro</b>	m3/km	1,630	1,072	1,220

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

E.-Vigas Prefabricadas, a continuación, se presenta el cuadro N° 5.77 que muestra un análisis comparativo de los costos totales para la fabricación de las vigas, para ambos sistemas. Los costos de fabricación de las vigas se componen por los costos del acero, encofrado, concreto, y otras actividades (pre tensado de vigas, maniobras interiores, etc.).

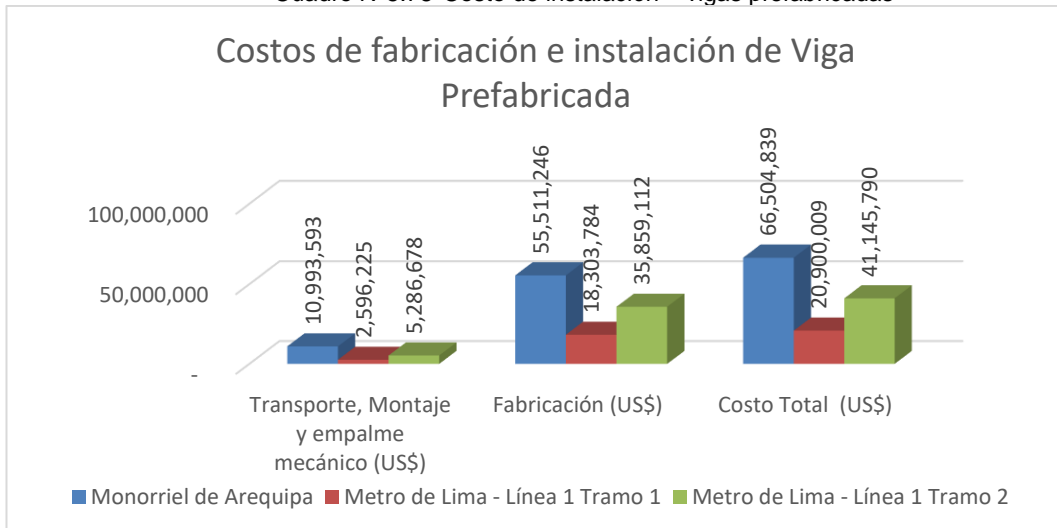
Cuadro N°5.77 Costo de actividades – Fabricación de vigas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro 5.78, muestra un análisis comparativo de los costos transporte, montaje y fabricación de las vigas, los costos presentados representan el costo directo de venta al cliente, estos costos cubren los costos de la planta de prefabricados.

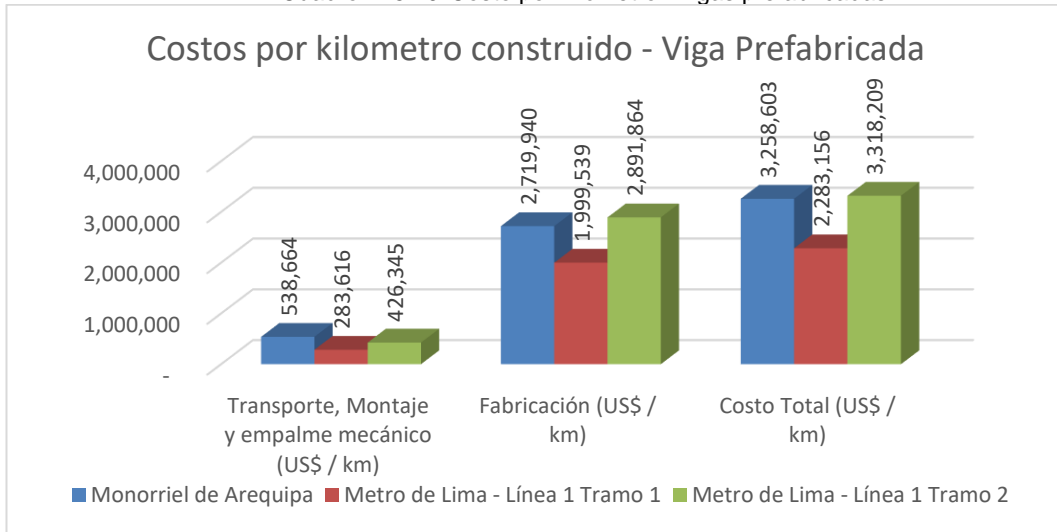
Cuadro N°5.78 Costo de instalación – vigas prefabricadas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

El cuadro N°5.79, muestra los costos directos de obra por kilómetro construido para la fabricación, transporte y montaje de las vigas prefabricadas.

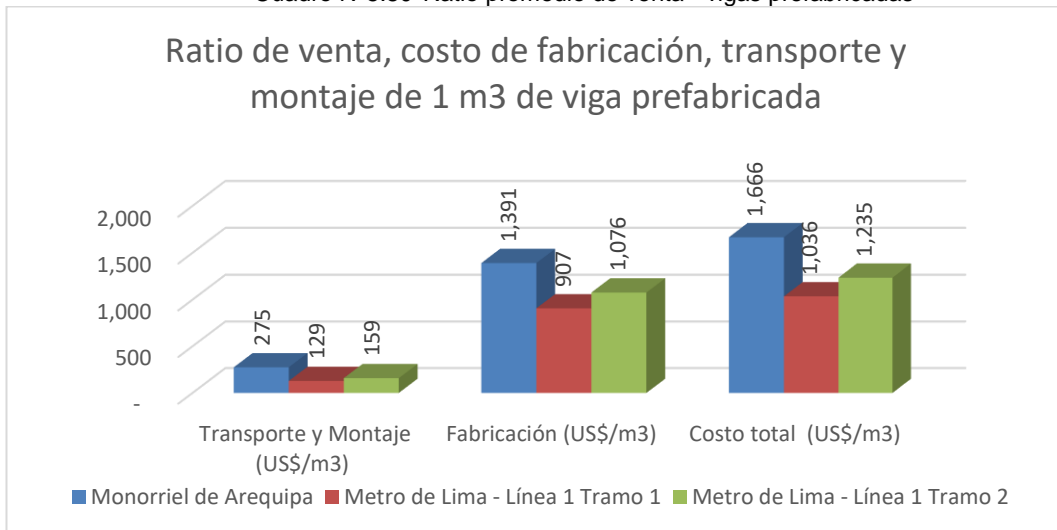
Cuadro N°5.79 Costo por kilómetro - vigas prefabricadas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

EL cuadro N° 5.80, muestra un comparativo de los costos para ejecutar 1m3 de viga (fabricación, transporte y montaje).

Cuadro N°5.80 Ratio promedio de venta - vigas prefabricadas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según los cuadros N°5.78 y 5.79, el costo de la fabricación y el costo total de instalación de las vigas del monorriel es superior al costo de las vigas de los tramos 1 y 2 de la Línea 1. Estos resultados se deben, porque los metrados totales de acero, encofrado y concreto de las vigas del monorriel son mayores a los metrados de la Línea 1, (ver en el



cuadro N°5.80). Pero si observamos el cuadro N°5.79, (costos por kilómetro), los costos de las vigas prefabricadas del tramo 2 son mayores, a los costos del monorriel y este último es mayor a los costos del tramo 1. Esto se debe a que los volúmenes de concreto a usar por kilómetro construido del tramo 2 son mayores a los volúmenes de concreto del tramo 1 y este último es superior a lo contenido por el monorriel (ver en el cuadro N°5.81). Respecto al cuadro N°5.80, se observa que el costo por metro cubico construido para el monorriel es mayor al costo por metro cubico del tramo 2 y este último mayor a lo obtenido para el tramo 1. Este resultado es por consecuencia del diseño de las vigas del monorriel, que contienen mayor cantidad de refuerzo de acero en comparación de las vigas de la Línea 1 (mayor ratio de acero por volumen de concreto, ver cuadro N°5.81), además el diseño de concreto para las vigas del monorriel tiene una resistencia a la compresión de  $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que las vigas de la línea 1 tienen una resistencia a la compresión de  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ , también las vigas del monorriel son pretensadas y postensadas, mientras que las vigas de la línea 1 solo son pretensadas (a excepción de algunas vigas especiales). Recordemos que las vigas del monorriel son las vías por donde transitan los trenes, por lo tanto, estas vigas están diseñadas para soportar la carga de los trenes del monorriel más los esfuerzos que se producirán al momento de desplazarse por la viga, a diferencia de las vigas de la Línea 1 del Metro de Lima, donde las cuatro vigas que se montan por vano, soportan el peso del tablero y sobre este último recién se instala la vía férrea para el tránsito de los trenes.

Cuadro N°5.81 Metrados e indicadores-Vigas Prefabricadas

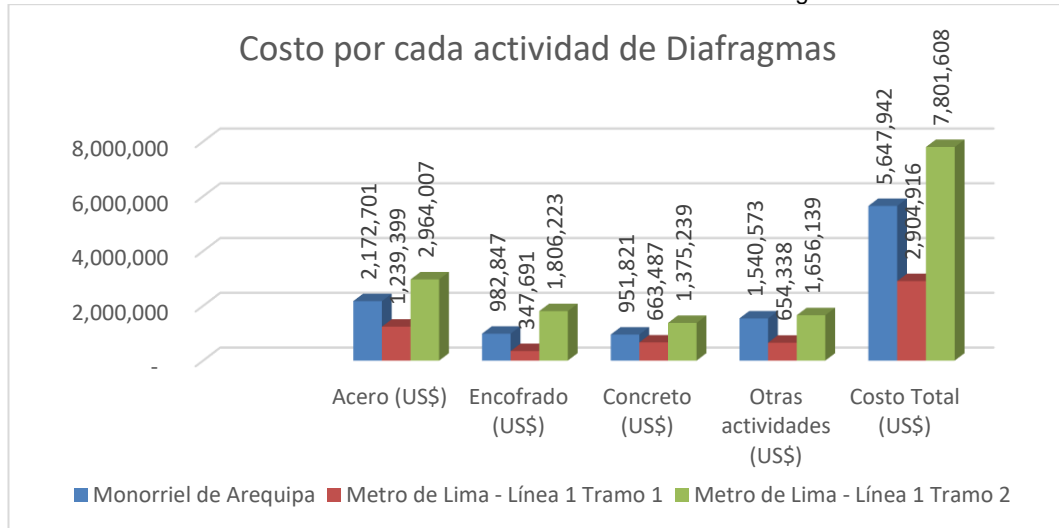
VIGAS PREFABRICADAS	Unidades	Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
<b>Cantidad</b>	und	999	1,858	1,930
<b>Acero</b>	tn	9,992	3,632	5,997
<b>Encofrado</b>	m <sup>2</sup>	106,483	151,315	249,894
<b>Concreto</b>	m <sup>3</sup>	39,917	20,175	33,319
<b>Ratio de Acero por metro cubico</b>	Kg/m <sup>3</sup>	250.31	180.00	180.00
<b>Ratio de Encofrado por metro cubico</b>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	2.67	7.50	7.50
<b>Ratio de unidades por kilometro</b>	und/km	49	203	156
<b>Ratio de Acero por kilometro</b>	Tn/km	490	397	484
<b>Ratio de Encofrado por kilometro</b>	m <sup>2</sup> /km	5,217	16,530	20,153
<b>Ratio de concreto por kilometro</b>	m <sup>3</sup> /km	1,956	2,204	2,687

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

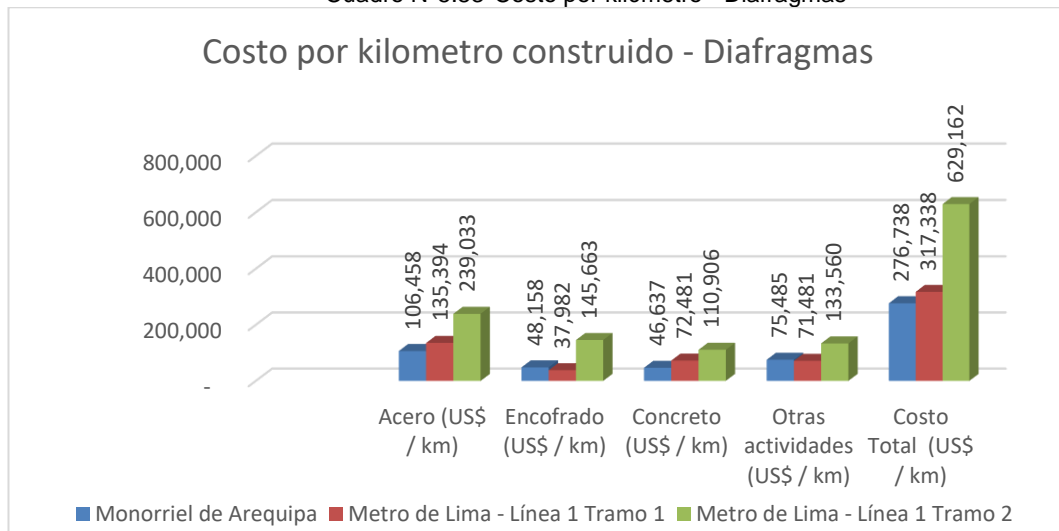
F.-Diafragmas, a continuación, se presenta los cuadros N° 5.82, 5.83, 5.84 que muestran un análisis comparativo de los costos totales, costos por Kilómetro construido y costos por metro cubico construido, respectivamente. Los costos de fabricación de los Diafragmas se componen por los costos del acero, encofrado, concreto, y otras actividades (pos tensado de diafragmas, acabados de viaducto).

Cuadro N°5.82 Costo de actividades - Diafragmas



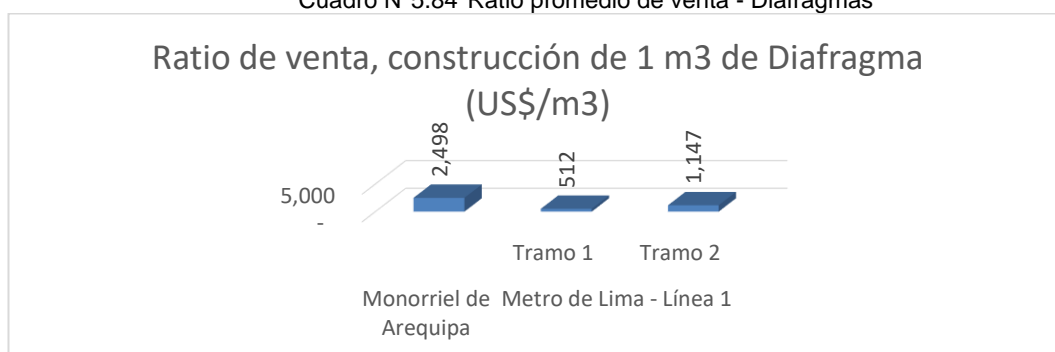
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Cuadro N°5.83 Costo por kilómetro - Diafragmas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Cuadro N°5.84 Ratio promedio de venta - Diafragmas



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según los cuadros N°5.82 y 5.83, los costos de la ejecución de los diafragmas del tramo 2 son mayores a los costos del tramo 1 y este último es mayor a los costos del monorriel. Estos resultados se producen porque los metrados de acero, encofrado y concreto de los diafragmas del tramo 2 son mayores a los metrados del tramo 1 y este último mayor a los metrados de los diafragmas del monorriel (ver en el cuadro N°5.85). Pero si observamos el cuadro N°5.84, (costos por metro cubico construido), los costos del monorriel son mayores a los costos del tramo 1 y 2, esto porque el diseño de los diafragmas contiene más acero por volumen de concreto, en comparación con los diafragmas de la Línea 1 (ver en el cuadro N°5.85). Recordemos que, para el caso del monorriel, los diafragmas cumplen la función de unir las columnas, cabezales, vigas y en conjunto con otros 4 vanos forman estructura hiperestática, para el caso de la Línea 1 los diafragmas se unen a las, columnas, cabezales, vigas, al tablero (donde se instala la vía férrea), y junto a otros 5 vanos, forman en conjunto una estructura hiperestática.

Cuadro N°5.85 Comparativo de metrados e indicadores - Diafragmas

DIAFRAGMAS	Unidades	Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
<b>Cantidad</b>	und	819.00	398.00	438.00
<b>Acero</b>	tn	692.23	576.46	912.00
<b>Encofrado</b>	m <sup>2</sup>	6,031.22	11,041.33	19,004.87
<b>Concreto</b>	m <sup>3</sup>	2,260.94	5,677.23	6,800.07
<b>Ratio de Acero por metro cubico</b>	Kg/m <sup>3</sup>	306.17	101.54	134.12
<b>Ratio de Encofrado por metro cubico</b>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	2.67	1.94	2.79
<b>Ratio de unidades por kilometro</b>	und/km	40	43	35
<b>Ratio de Acero por kilometro</b>	Tn/km	34	63	74
<b>Ratio de Encofrado por kilometro</b>	m <sup>2</sup> /km	296	1,206	1,533
<b>Ratio de concreto por kilometro</b>	m <sup>3</sup> /km	111	620	548

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

G.-Pasarela de evacuación, esta estructura solo se instala en el monorriel, y es una estructura metálica de acero galvanizado que va empotrado a las vigas del monorriel, su objetivo es de evacuar a los pasajeros ante una eventualidad que pueda sufrir el monorriel. Además, también sirve como una estructura de soporte para bandejas metálicas para pasar cables de transmisión de energía y datos. A continuación, el cuadro N°5.86 muestra el costo total e Indicadores de costos, y el cuadro N°5.87 muestra el metrado total y el ratio de toneladas por kilómetro construido.

Cuadro N°5.86 Costos Pasarela de evacuación - Monorriel

Pasarela de evacuación	
PASARELAS	Monorriel de Arequipa
<b>Costo total (US\$)</b>	40,778,941.22
<b>Costo por Kilometro (US\$/Km)</b>	1,998,086.20
<b>Costo venta por Tonelada Instalada (US\$/Tn)</b>	12,941.42

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión.

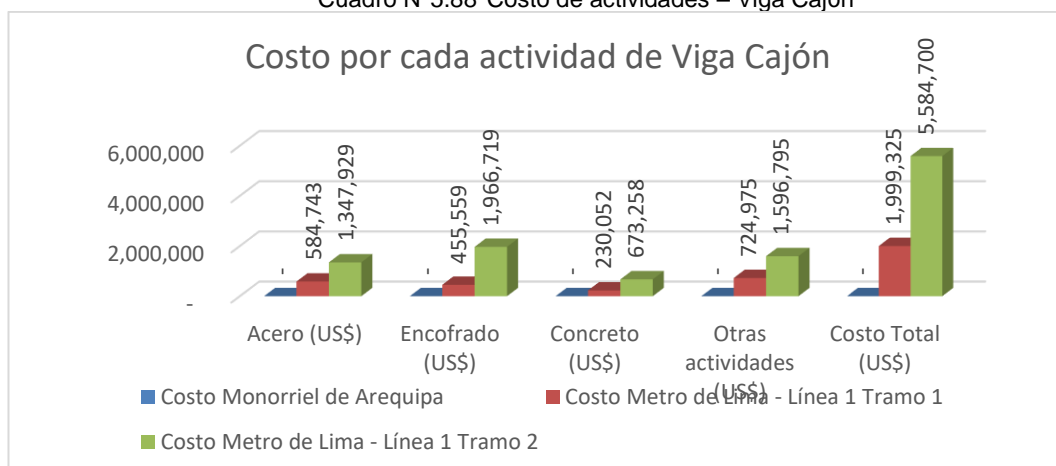
Cuadro N°5.87 Metrado e indicador – Pasarela de evacuación

PASARELAS	Unidades	Monorriel de Arequipa
<b>Perfiles y mallas de Acero</b>	Tn	3,151.04
<b>Ratio de Perfiles y mallas de Acero</b>	Tn /km	154.46

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión.

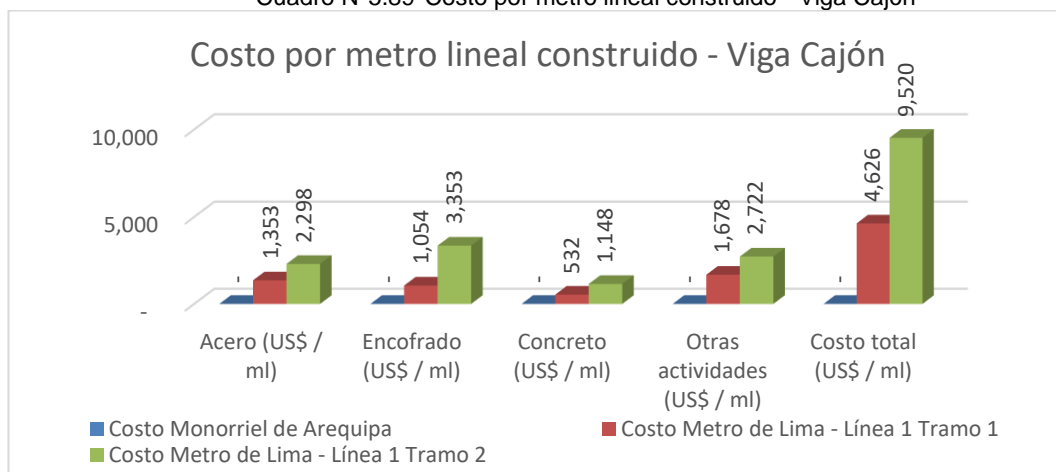
H.- Vigas Cajón, este tipo de estructura solo se utilizó en la Línea 1 del metro de Lima, a continuación, se presenta los cuadros N° 5.88, 5.89, 5.90 que muestran un análisis comparativo de los costos totales, costos por Kilómetro construido y costos por metro cubico construido, respectivamente. Los costos de fabricación de las vigas cajón se componen por los costos del acero, encofrado, concreto, y otras actividades (pos tensado, acabados de viaducto, etc.).

Cuadro N°5.88 Costo de actividades – Viga Cajón



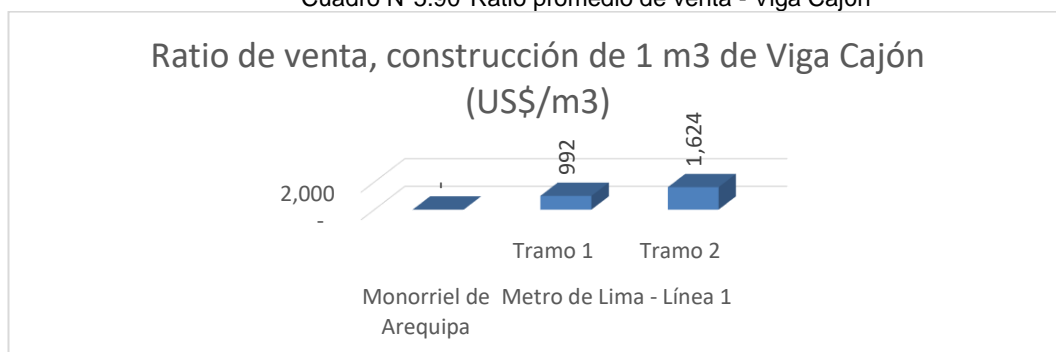
Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.89 Costo por metro lineal construido - Viga Cajón



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.90 Ratio promedio de venta - Viga Cajón



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según el cuadro N°5.88, los costos de la ejecución de las vigas cajón del tramo 2 son mayores a los costos del tramo 1. Estos resultados se producen porque los metrados de acero, encofrado, concreto y pos tensado del tramo 2 son mayores a los metrados del tramo 1 (ver en el cuadro N°5.91). Si observamos los cuadros N°5.89 y N°5.90, muestran que los costos por metro lineal y costos por metro cubico construido del tramo 2, son mayores a los del tramo 1, este resultado es porque el ratio de volumen de concreto por metro lineal y los ratios de acero y encofrado por volumen de concreto del tramo 2 son mayores a los del tramo 1, (ver en el cuadro N°5.91).

Cuadro N°5.91 Cuadro de metrados e indicadores – Vigas Cajón

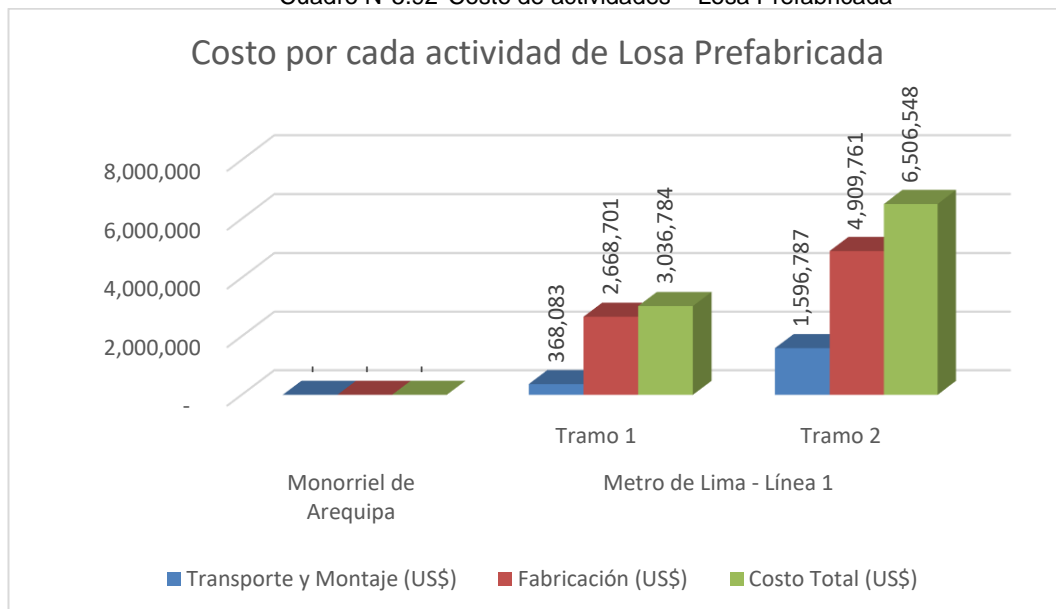
Metrados, indicadores				
Viga Cajón	Unidades	Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
Acero	tn		252.04	447.82
Encofrado	m2		8,911.56	15,556.91

Metrados, indicadores				
Viga Cajón	Unidades	Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
Concreto	m3		2,015.70	3,439.84
Acero Pos Tensado	t-m		771,250	1,645,182
Ratio de Acero por metro cubico	Kg/m3		125.04	130.19
Ratio de Encofrado por metro cubico	m2/m3		4.42	4.52
Ratio de Acero por metro lineal	Tn/m		1	1
Ratio de Encofrado por metro lineal	m2/m		21	27
Ratio de concreto por metro lineal	m3/m		5	6

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

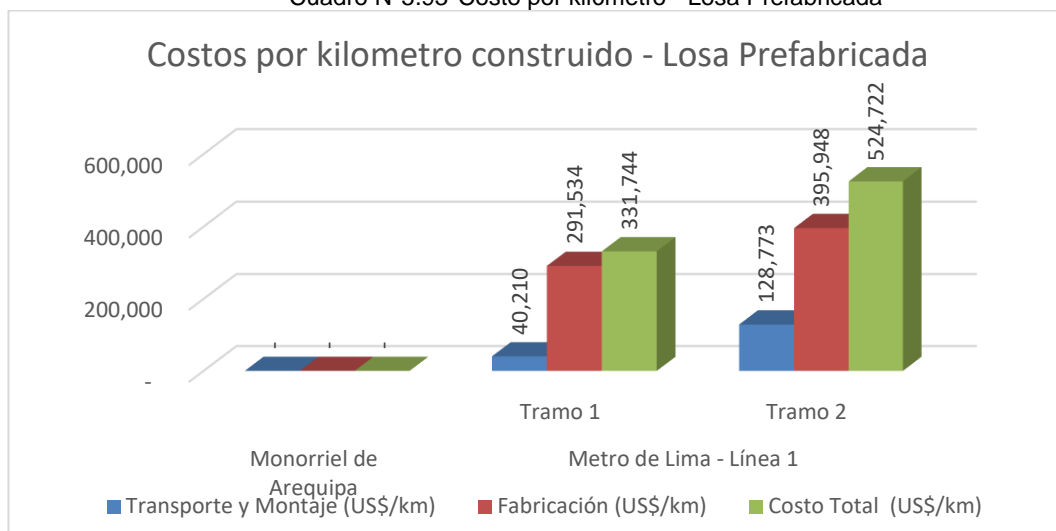
I.- Losas Prefabricadas, este tipo de estructura solo se utilizó en la Línea 1 del metro de Lima, a continuación, se presenta los cuadros N° 5.92, 5.93, 5.94 que muestran un análisis comparativo de los costos totales, costos por Kilómetro construido y costo de instalación por metro cubico construido, respectivamente. Los costos de las losas prefabricadas se componen por los costos de fabricación en planta, transporte y montaje.

Cuadro N°5.92 Costo de actividades – Losa Prefabricada



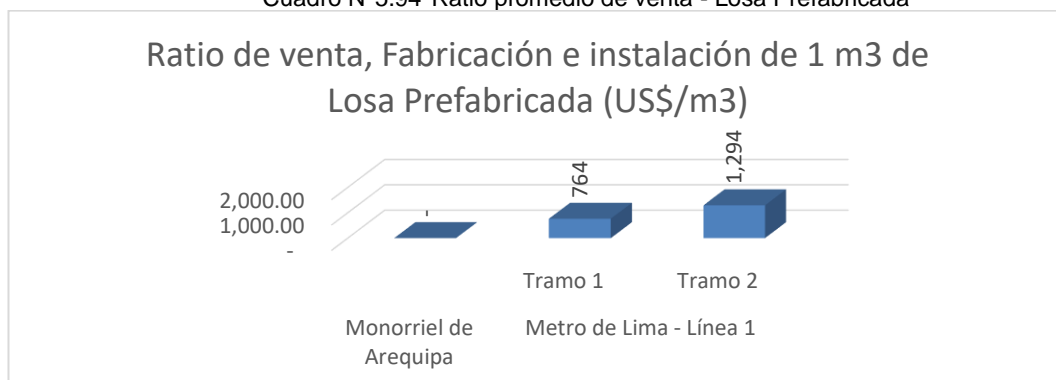
Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.93 Costo por kilómetro - Losa Prefabricada



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.94 Ratio promedio de venta - Losa Prefabricada



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según los cuadros N° 5.92, N°5.93, N°5.94, los costos de la ejecución de las losas prefabricadas del tramo 2 son mayores a los costos de las losas prefabricadas del tramo 1. Estos resultados se producen porque los metrados de concreto y acero del tramo 2 son mayores a los metrados del tramo 1 (ver en el cuadro N°5.95). Además, los costos de transporte y montaje del tramo 2, son mayores a los costos del tramo 1.

Cuadro N°5.95 Cuadro de metrados e indicadores - Losas Prefabricadas

Losa Prefabricadas	Unidades	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
<b>Cantidad</b>	und	21,904	27,722
<b>Acero</b>	tn	1,005	1,273
<b>Encofrado</b>	m2	0	0
<b>Concreto</b>	m3	3,974	5,030
<b>Ratio de Acero por metro cubico</b>	Kg/m3	253	253
<b>Ratio de Encofrado por metro cubico</b>	m2/m3	0	0
<b>Ratio de unidades por kilometro</b>	und/km	2,393	2,236

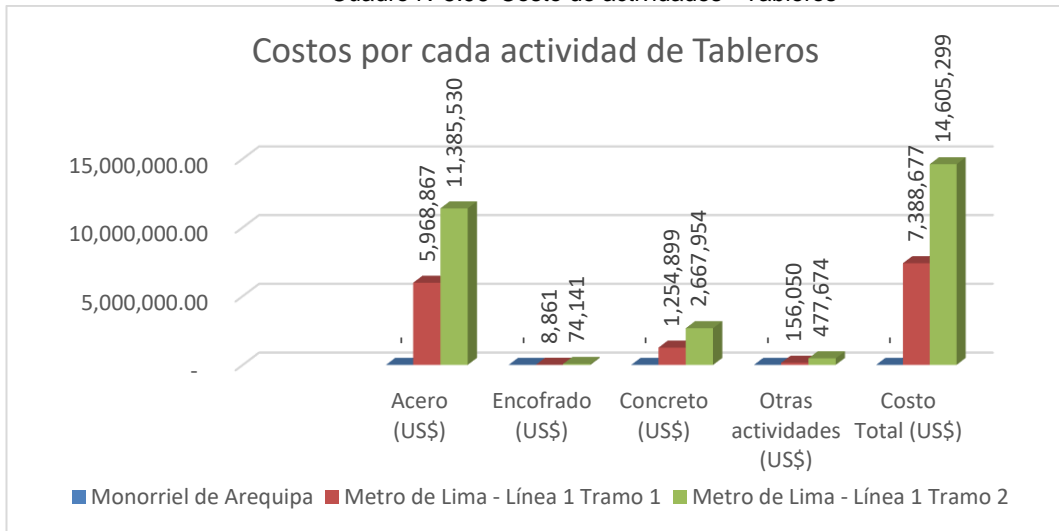


Losa Prefabricadas	Unidades	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
<b>Ratio de Acero por kilometro</b>	Tn/km	110	103
<b>Ratio de Encofrado por kilometro</b>	m2/km	0	0
<b>Ratio de concreto por kilometro</b>	m3/km	434	406

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

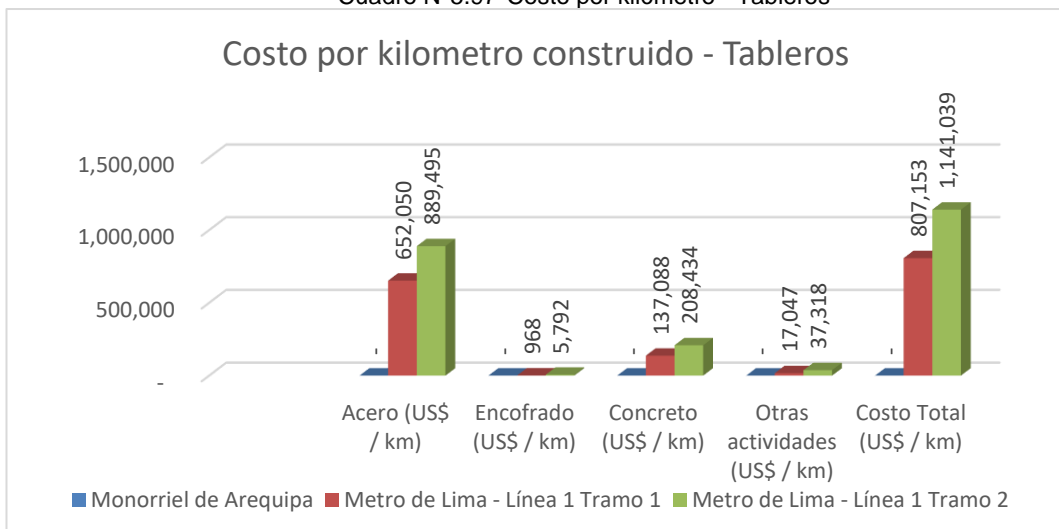
J.- Tableros de viaducto, es una estructura típica de un viaducto elevado y es donde se instaló la vía férrea de la Línea 1 del metro de Lima, a continuación, se presenta los cuadros N° 5.96, 5.97, 5.98 que muestran un análisis comparativo entre el tramo 1 y tramo 2, de los costos totales, costos por Kilómetro construido y costo de venta de un metro cubico construido, además los costos para las actividades de acero, encofrado y concreto.

Cuadro N°5.96 Costo de actividades - Tableros



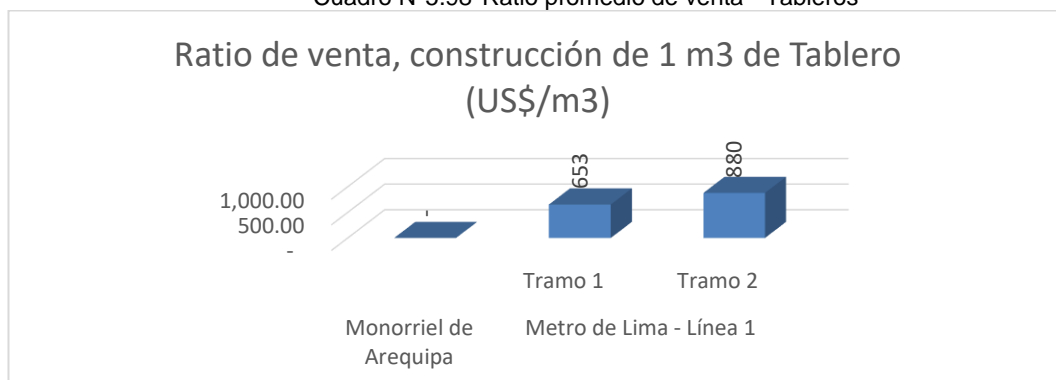
Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.97 Costo por kilómetro - Tableros



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.98 Ratio promedio de venta - Tableros



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Evaluación de los gráficos mostrados anteriormente, según los cuadros N° 5.96, N°5.97, N°5.98, los costos mostrados del tramo 2 son mayores a los costos del tramo 1. Estos resultados se producen porque las cantidades de acero y concreto del tramo 2 son mayores a los metrados del tramo 1 (ver en el cuadro N°5.82), se observa que en el tramo 2 se usa menor cantidad de acero por metro cubico construido, pero por kilómetro construido se usan mayores cantidades de acero y concreto (ver en el cuadro N°5.99).

Cuadro N°5.99 Comparativo metrados en indicadores - Tableros

TABLEROS	Unidades	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
<b>Vanos</b>	und	463	432
<b>Acero</b>	tn	2,955	4,171
<b>Encofrado</b>	m <sup>2</sup>	451	1,511
<b>Concreto</b>	m <sup>3</sup>	11,314	16,597
<b>Ratio de Acero por metro cubico</b>	Kg/m <sup>3</sup>	261	251
<b>Ratio de Encofrado por metro cubico</b>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.04	0.09
<b>Ratio de vanos por kilometro</b>	und/km	51	38
<b>Ratio de Acero por kilometro</b>	Tn/km	323	369
<b>Ratio de Encofrado por kilometro</b>	m <sup>2</sup> /km	49	134
<b>Ratio de concreto por kilometro</b>	m <sup>3</sup> /km	1,236	1,469

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

K.- Dovelas sucesivas, es una estructura especial construida solo en el tramo 2 de la línea 1 del metro de Lima, que fue diseñada para la ejecución de los puentes Huáscar y Rímac, con 274 ml y 240 ml respectivamente, esta estructura es la que tiene mayor costo por kilómetro construido respecto a las estructuras vistas anteriormente. Este diseño se usó para no interrumpir el tráfico sobre la vía de Evitamiento y la av. Malecón checa, por la altitud respecto a la superficie del rio Rímac y buscar un procedimiento constructivo que facilite la rápida construcción de la obra, esas fueron las causas para que se utilice el diseño de dovelas sucesivas y se use el método constructivo con carros de avance y encofrados mk.

En los siguientes cuadros N° 5.100, 5.101, y 5.102, observamos los costos totales y unitarios de las actividades de acero encofrado y concreto. Además, en el cuadro 5.103 observamos los metrados, ratios por metro lineal construido y volumen de concreto construido.

Cuadro N°5.100 Costo de actividades - Dovelas

<b>DOVELAS</b>	<b>Metro de Lima - Línea 1 - Tramo 2</b>
Acero (US\$)	2,814,667
Encofrado (US\$)	3,809,767
Concreto (US\$)	1,038,686
Actividades Complementarias (US\$)	5,781,170
Costo de Todo el servicio (US\$)	13,444,290

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramo 2, MTC.

Cuadro N°5.101 Costo por kilómetro - Dovelas

<b>DOVELAS</b>	<b>Metro de Lima - Línea 1 - Tramo 2</b>
Acero (US\$ / ml)	5,476
Encofrado (US\$ / ml)	7,412
Concreto (US\$ / ml)	2,021
Actividades Complementarias (US\$ / ml)	11,247
Costo de Todo el servicio (US\$ / ml)	26,156

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramo 2, MTC.

Cuadro N°5.102 Ratio promedio de venta - Dovelas

<b>DOVELAS</b>	<b>Línea 1 - Tramo 2</b>
Ratio de venta, construcción de 1 m3 de Dovela (US\$/m3)	2736

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramo 2, MTC.

Cuadro N°5.103 Metrados en indicadores – Dovelas

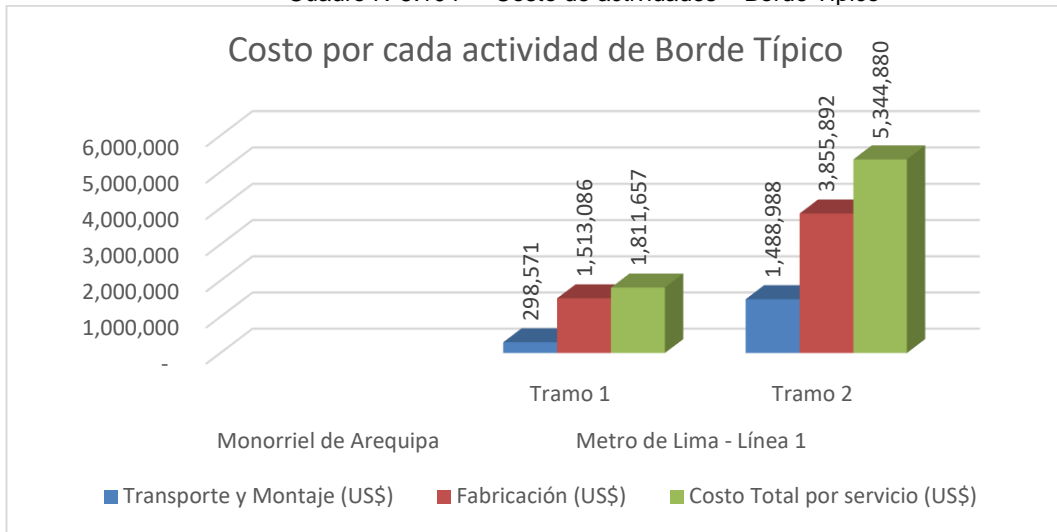
<b>Dovelas Sucesivas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Metro de Lima - Línea 1 – Tramo</b>
Acero	tn	835,212.82
Encofrado	m2	14,173.96
Concreto	m3	4,913.79
Acero Pos tensado	t-m	5,798,060.78
Ratio de Acero por metro	Kg/m3	169,973.24
Ratio de Encofrado por metro	m2/m3	2.88
Ratio de Acero por kilometro	Tn/m	1,624.93
Ratio de Encofrado por	m2/m	27.58
Ratio de concreto por	m3/m	9.56

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramo 2, MTC.

K.- Bordes típicos, es una estructura que se ubica en los lados laterales se une al tablero y la canaleta lateral, cumple la función de seguridad (muro anti caídas), se extiende a lo largo de toda la Línea 1 del metro de Lima en sus dos tramos. En los siguientes cuadros N° 5.104, 5.105, y 5.106, observamos los costos totales y unitarios de las actividades de acero encofrado y concreto, los cuales para el tramo 2 son mayores a los del tramo 1. Además, en el cuadro N°5.107 observamos los

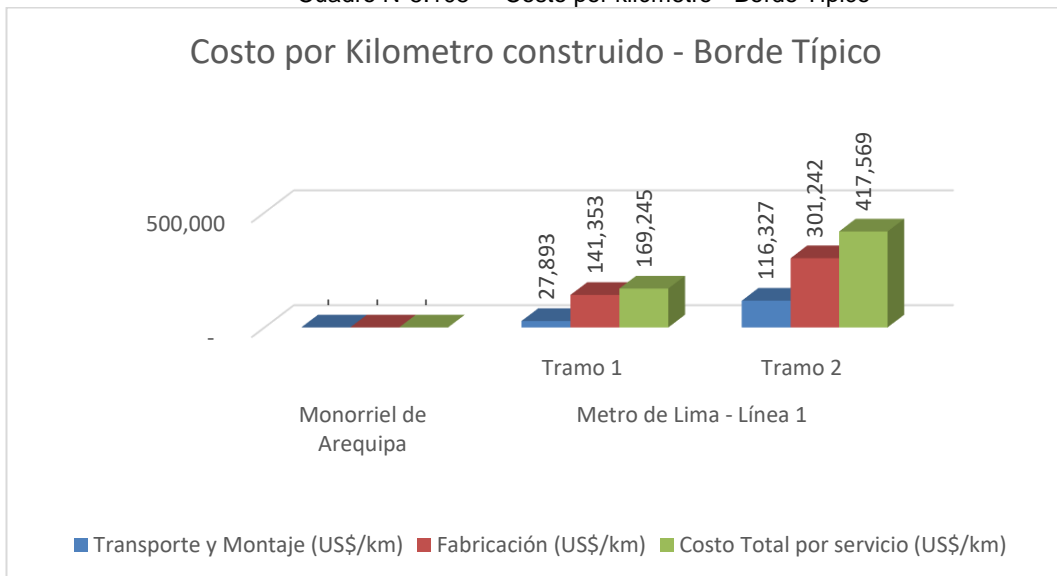
metrados totales, y los ratios por kilómetro construido los cuales son mayores para el tramo 2, como se puede observar en el cuadro N° 5.107, también se observa que en ambos tramos tienen la misma relación de acero y encofrado por volumen de concreto, y si esto lo relacionamos al costo de venta por metro cubico, también deberían ser iguales, pero esto no es así ya que los costos de transporte y montaje en el tramo 2 son mayores en comparación con el tramo 1.

Cuadro N°5.104 Costo de actividades – Borde Típico



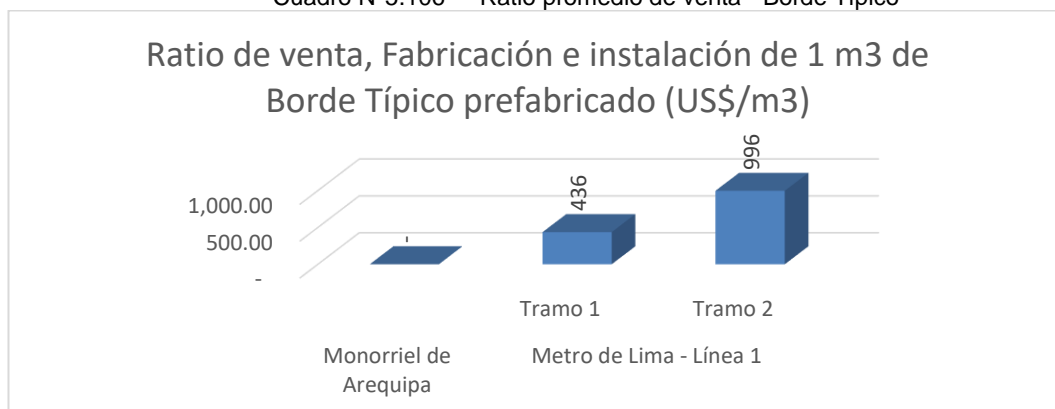
Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.105 Costo por kilómetro - Borde Típico



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.106 Ratio promedio de venta - Borde Típico



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

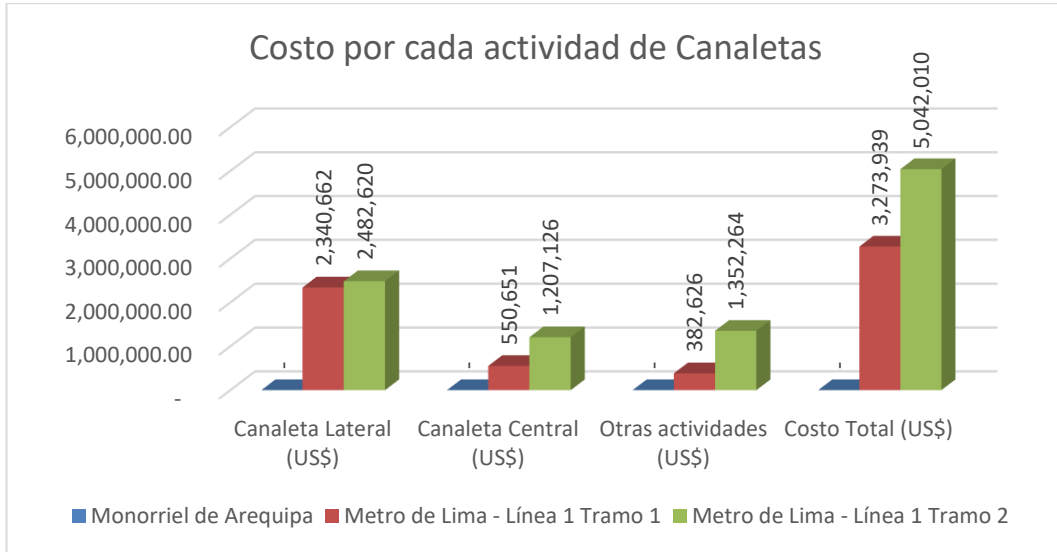
Cuadro N°5.107 Metrado e indicadores – Bordes típicos

BORDES TÍPICOS	Unidades	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
Cantidad	und	7,778	10,046
Acero	tn	370	478
Encofrado	m <sup>2</sup>	45,282	58,484
Concreto	m <sup>3</sup>	4,154	5,366
Ratio de Acero por metro cubico	Kg/m <sup>3</sup>	89	89
Ratio de Encofrado por metro cubico	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	11	11
Ratio de unidades por kilometro	und/km	850	859
Ratio de Acero por kilometro	Tn/km	40	41
Ratio de Encofrado por kilometro	m <sup>2</sup> /km	4,949	4,999
Ratio de concreto por kilometro	m <sup>3</sup> /km	454	459

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC

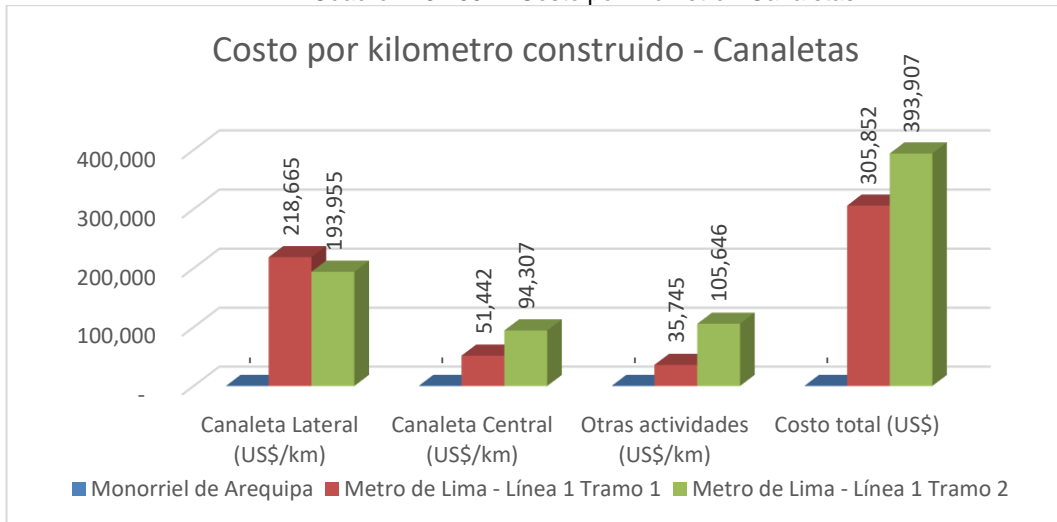
L.- Canaletas de concreto, estas son las canaletas laterales y centrales, y es por donde se ubican los cables de transmisión de energía y datos, también las canaletas (sobre las tapas de las canaletas), cumplen la función de ser las pasarelas de evacuación de los pasajeros ante alguna eventualidad que ocurra en los trenes. En los siguientes cuadros N° 5.108, 5.109, y 5.110, observamos los costos totales y unitarios de las actividades de acero encofrado y concreto, del tramo 2 son mayores a los del tramo 1. Además, en el cuadro N° 5.111 observamos los metrados totales, las cantidades de acero y encofrado por volumen de concreto y los ratios por kilómetro construido, los cuales son mayores para el tramo 2.

Cuadro N°5.108 Costo de actividades - Canaletas



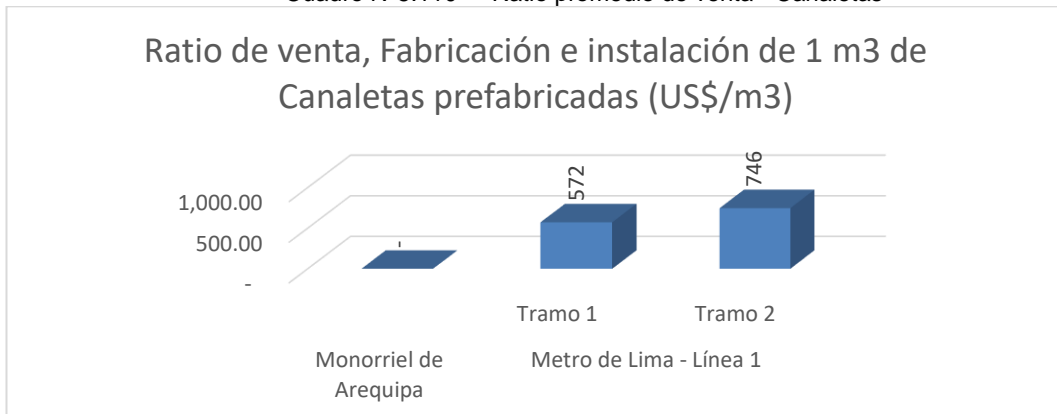
Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.109 Costo por kilómetro - Canaletas



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.110 Ratio promedio de venta - Canaletas



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.111 Metrados e indicadores - canaletas

Canaletas	Unidades	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
Canaleta Lateral	ml	21,379.81	22,452.93
Canaleta Central	ml	10,980.08	12,002.84
acero	kg	398,025.05	467,797.36
encofrado	m2	43,405.21	50,998.34
Concreto	m3	5,723.31	6,754.81
Ratio de Acero por metro	Kg/m3	70	69
Ratio de Encofrado por	m2/m3	7.58	7.55
Ratio de Acero por	kg/km	33,169	37,726
Ratio de Encofrado por	m2/km	3,617	4,113
Ratio de concreto por	m3/km	477	545

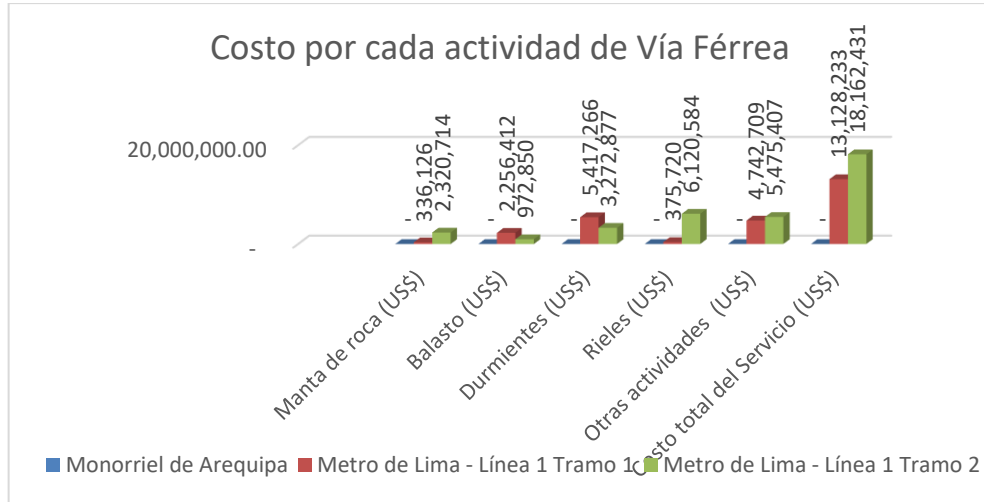
Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

M.- Vía férrea, es la estructura por donde se desplazan los trenes, y es la última etapa de las obras civiles en el viaducto, aunque dentro de la estructura del presupuesto de obra del expediente técnico de obra, la vía férrea se ubica dentro de la ejecución de las obras electromecánicas. En los siguientes cuadros N° 5.112, 5.113, observamos los costos totales y los costos por kilómetro construido del tramo 2 son mayores a los del tramo 1.

Esto se debe a que las cantidades usadas en el tramo 2 son mayores a los usados en el tramo 1, como podemos observar en el cuadro N°5.114, aunque solo los costos por kilómetro construido y cantidades de durmientes en el tramo 1 son mayores, recordemos que en tramo 1 existieron zonas donde se hizo el mantenimiento y mejora de la vía férrea de la estructura construida en los años 80, y además en el tramo 2 existieron zonas donde se usó el sistema soneville (donde no se usaron ni durmiente ni balasto, sino otro tipo de tecnología para la ubicación de los rieles), lo descrito anteriormente es la causa que tengamos mayor metrado de durmientes en el tramo 1.

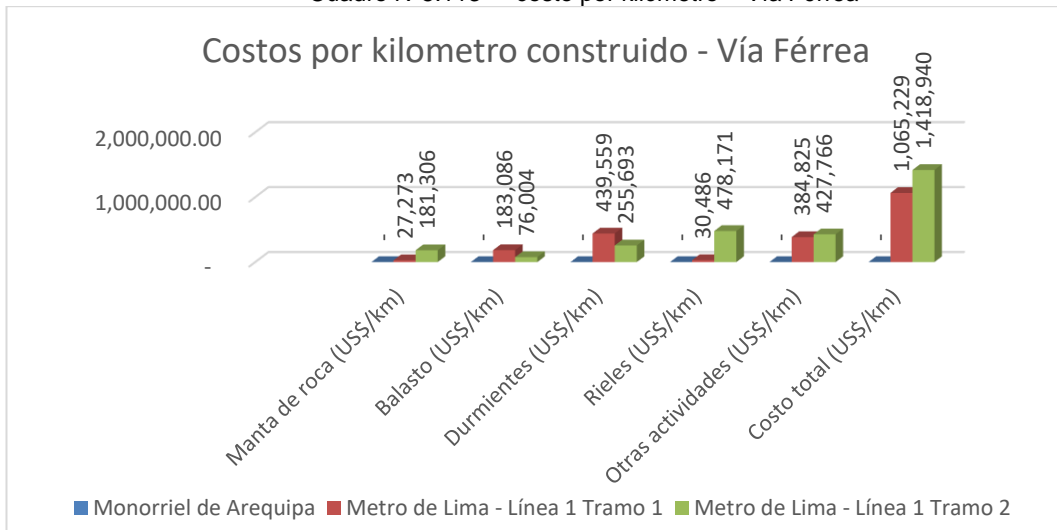


Cuadro N°5.112 Costo de actividades – Vía Férrea



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.113 costo por kilómetro – Vía Férrea



Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

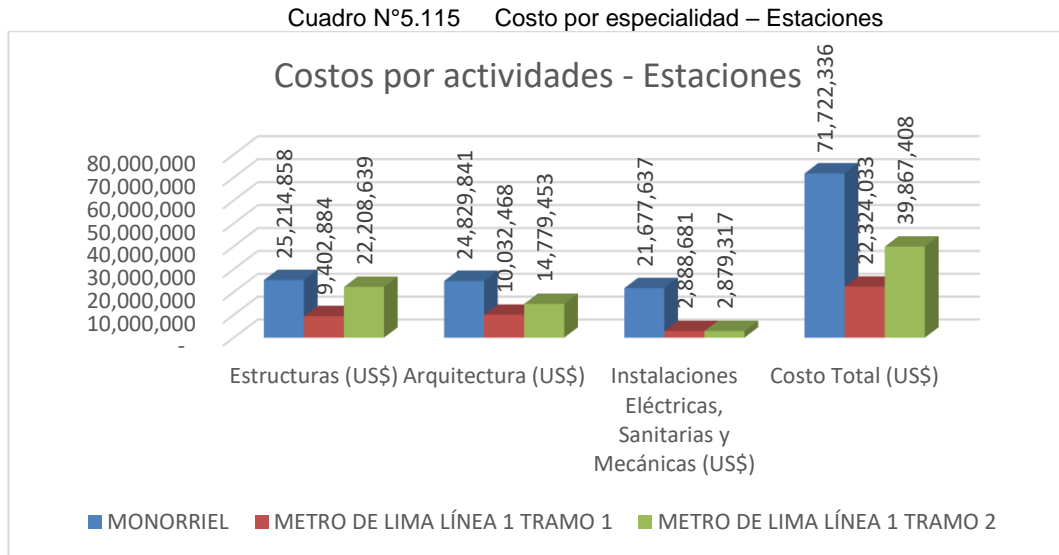
Cuadro N°5.114 Metrados - vía férrea

VÍA FÉRREA	Unidades	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
Manta de Roca	m2	65,521.66	80,162.84
Balasto	m3	21,483.50	43,846.01
Durmientes	und	44,756.00	39,437.00
Rieles	m/vía	29,090.54	26,946.80

Fuente: Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

N.- Estaciones, los siguientes cuadros representa el análisis comparativo de los costos de las estaciones del Monorriel de Arequipa, con la Línea 1 para los tramos 1 y 2, el comparativo se basa en las especialidades de la construcción de las edificaciones, como son Estructuras (incluye movimiento de tierras), Arquitectura

(Incluye acabados, señalización, mobiliario e inserciones urbanas), Instalaciones (Eléctricas, sanitarias, mecánicas y datos). El cuadro N°5.115 representa el costo comparativo total de todas las estaciones de ambos sistemas. Se observa que el costo total de las 19 estaciones del monorriel, son mayores al costo total de las 10 estaciones del tramo 2 y estas últimas son mayores al costo de las 9 estaciones del tramo 1.



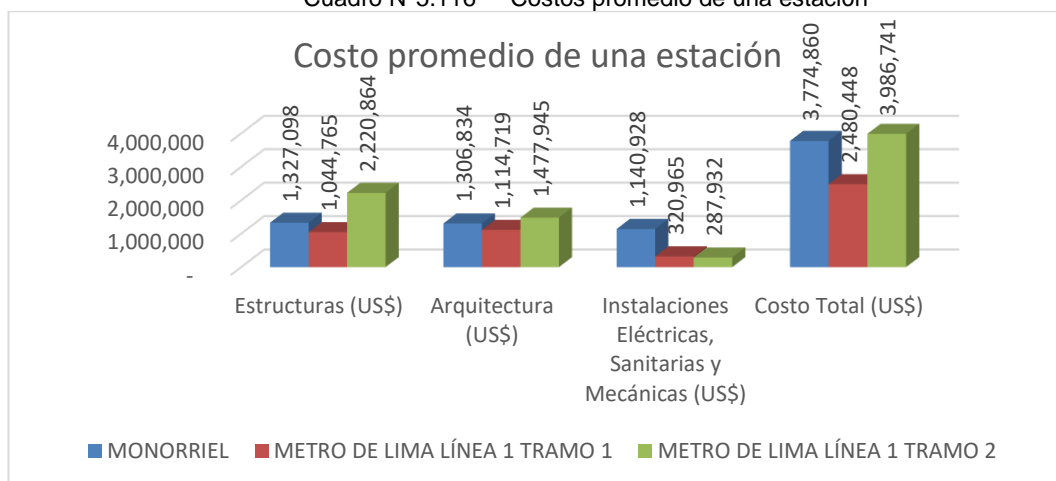
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

De la información anterior se realizó el siguiente cuadro N° 5.116, donde se promedió los costos por cada especialidad, obteniéndose el valor promedio de una estación para ambos sistemas, el resultado es que los costos de la estación en todas las especialidades para el tramo 2 es mayor a los costos del monorriel y este a su vez es mayor a los del tramo 1. Este resultado es porque las cantidades para una sola estación del tramo 2 en la especialidad de estructuras tienen mayores metros de acero, encofrado y concreto que las estaciones del monorriel, y este último son mayores a los metros de las estaciones del tramo 1, (ver cuadro 5.100). En la especialidad de Arquitectura, el tramo 2 tiene mayores costos, este resultado es porque, contempla mayores costos en la inserción urbana, mayores costos en albañilería y estructura metálica con cubierta TR4, respecto al monorriel, respecto a la diferencia de costo en arquitectura del tramo 2 y tramo 1, el tramo 2 solo es mayor a consecuencia de las inserciones urbanas.

En las Instalaciones, el monorriel tiene mayores costos, esto es porque el monorriel completa unas estaciones más equipadas, al ser diseñadas con muros cortinas cerradas, es necesario el uso de sistema de aire acondicionado el cual

no se usó en la línea, ya no necesitan. Así también las estaciones del monorriel contemplan entre 4 escaleras mecánicas por estación (6 en estaciones dobles) más 2 ascensores, a diferencia de las estaciones del tramo 2 que solo consideran de 2 escaleras mecánicas por estación (4 solo es estación presbítero) con 2 ascensores, y en las estaciones del tramo 1 en 7 no se consideraron escaleras mecánicas y solo cuentan con 2 ascensores.

Cuadro N°5.116 Costos promedio de una estación



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

Cuadro N°5.117 Metrados e Indicadores estructuras - Estaciones

ESTACIONES	Unidades	Monorriel	Línea 1	
			Tramo 1	Tramo 2
Cantidad de Estaciones	und	19.00	9	10
Acero	kg	2,623,531	1,052,938	1,820,802
Encofrado	m2	154,412	81,169	101,380
concreto	m3	26,521	24,076	82,203
Ratio de Acero por metro cubico	Kg/m3	98.92	43.73	22.15
Ratio de Encofrado por metro cubico	m2/m3	5.82	3.37	1.23
Ratio de Acero por unidad de estación	kg/und	138,080	116,993	182,080
Ratio de encofrado por unidad de estación	m2/und	8,126	9,018	10,138
Ratio de concreto por unidad de estación	m3/und	1,395	2,675	8,220

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

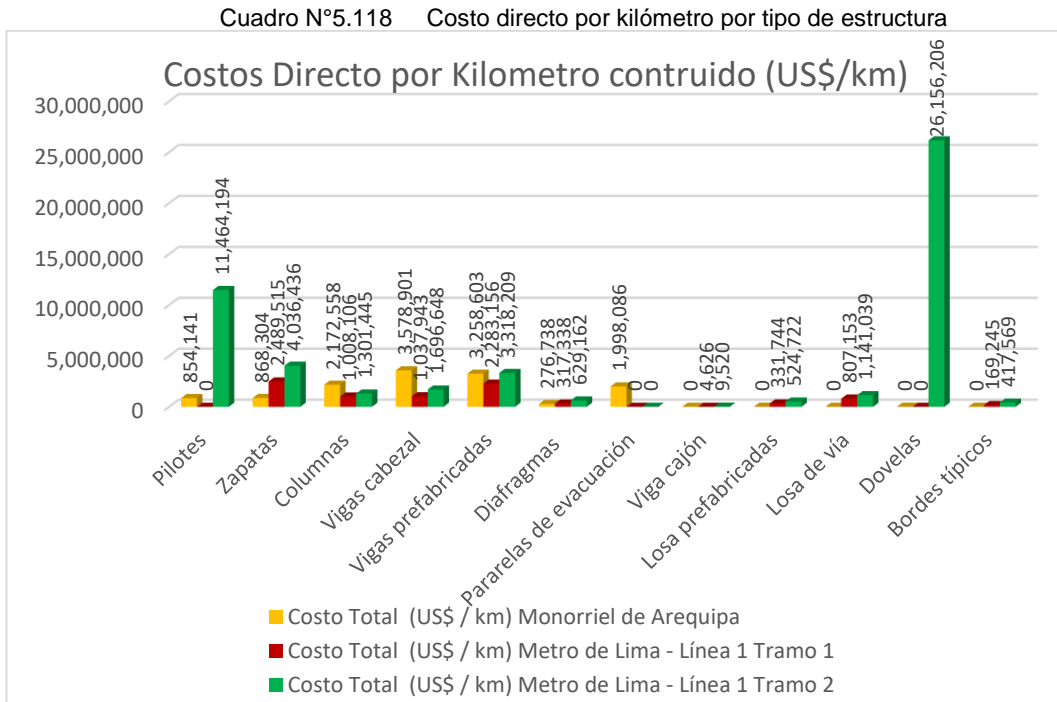
### 5.5.3.3 Análisis Crítico de los Costos de Obra.

Según lo descrito en el análisis de Infraestructura y en la secuencia de construcción se ha verificado que la Línea 1 del Metro de Lima y el Monorriel de Arequipa, son dos sistemas de transporte público urbano masivo, que tienen estructuras de civiles, de viaducto en común que son similares, además se verifica que las estructuras civiles de vía del Monorriel de Arequipa, son de menores

dimensiones, en comparación con las estructuras comunes de la Línea 1 del Metro de Lima, esto nos da la idea para plantear la siguientes hipótesis.

1.- ¿El costo por Kilometro construido de las estructuras civiles de vía del Monorriel de Arequipa, son menores, en comparación a los costos de las estructuras civiles del viaducto de la Línea 1 del Metro de Lima?

Para saber responder, a continuación, presentamos el siguiente cuadro comparativo.



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico  
Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

EL cuadro anterior indica los costos directos por kilómetro construido por cada tipo de estructura, tanto para el Monorriel de Arequipa y La Línea 1 del Metro de Lima, donde se observa, que los costos en las estructuras comunes del Monorriel en algunas son menores y otras mayores, en comparación a los presentado para la Línea 1 del Metro de Lima, como ejemplo mencionamos lo siguiente:

- Se observa que el costo por Kilometro construido de las columnas del Monorriel son mayores a los presentado para la Línea 1.
- Se observa que el costo por kilómetro construido de las Zapatas de la Línea 1 son mayores al Monorriel

Por lo tanto, no se puede indicar, que cada costo, por cada tipo de estructura civil del Monorriel es menor a los presentados por la Línea 1.

2.-Sin embargo, de lo mostrado anteriormente surge la siguiente pregunta, ¿El costo directo por kilómetro construido de las obras civiles para la vía del Monorriel son menores a los presentados para las obras civiles para la vía de la Línea 1 del Metro de Lima?

Tomando los datos del cuadro n°5.118, se obtiene el siguiente cuadro n°5.119 comparativo, donde se acumularon los costos de las estructuras comunes, no comunes y el costo total de las obras civiles. Resultando que el costo directo total por Kilometro construido, de las obras civiles para la vía del Monorriel, es menor en comparación a los costos por kilómetro de la Línea 1 del Metro de Lima.

Cuadro N°5.119 Costo total directo por Kilometro

Descripción	Costo Total (US\$ / km)		
	Monorriel de Arequipa	Metro de Lima - Línea 1	
		Tramo 1	Tramo 2
Costo Directo por Kilómetro de Estructuras Comunes	11,009,245	7,136,058	22,446,094
Costo Directo por Kilómetro de Estructuras No Comunes	1,998,086	1,618,620	28,642,962
Total Costo Directo por Kilometro	13,007,331	8,754,678	51,089,056

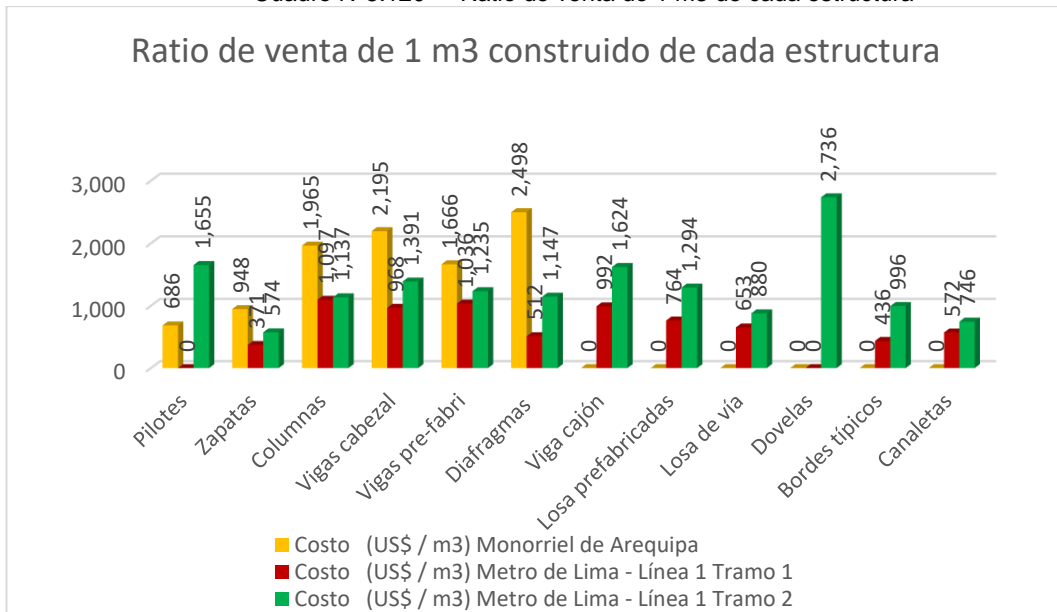
Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

3.-Si aprobaríamos una valorización, de alguna de las estructuras civiles para la vía, para una misma cantidad de volumen construido de ambos sistemas, entonces ¿Por cuál se tendría que valorizar más?

Para resolver esta consulta, se realizó el siguiente comparativo.

Cuadro N°5.120 Ratio de venta de 1 m3 de cada estructura



Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico

Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

- Del cuadro anterior, se observa que se tendrían que valorizar más, las estructuras comunes como zapatas, columnas Vigas Cabezal, Vigas prefabricadas y Diafragmas del Monorriel de Arequipa, que tienen mayor costo por 1 m<sup>3</sup> construido, en comparación a las mismas estructuras de la Línea 1 del Metro de Lima (En sus tramos 1 y 2). Esto sucede porque las cantidades de acero y encofrado por volumen de concreto, de las estructuras comunes en el Monorriel, son mayores en comparación con las mismas estructuras de la Línea 1 del Metro de Lima (tramos 1 y 2).
- Solo en el caso de los pilotes, los costos por metro cubico construido de esta estructura del Monorriel de Arequipa, es menor al presentado para la Línea 1 del Metro de Lima, del Tramo 2.

4.-De los estudios realizados, respecto al presupuesto de ejecución de obra, ¿Cuáles son aquellos sub presupuestos que tienen mayor incidencia?

En el siguiente cuadro se muestra los sub presupuestos a nivel de costo directo, para la ejecución de las obras, donde se observa que las obras civiles para viaducto y las obras electromecánicas, son los sub presupuestos con mayor incidencia. (Este cuadro solo incluye los costos propios de la construcción).

Cuadro N°5.121 Incidencia de los sub presupuestos.

	DESCRIPCIÓN	Monorriel de Arequipa		Línea 1 del Metro de Lima			
				Tramo 1		Tramo 2	
		Millones de Dólares US\$	%	Millones de Dólares US\$	%	Millones de Dólares US\$	%
1	OBRAS PRELIMINARES, PROVISIONALES Y OBRAS VARIAS	\$14.84MM	2%	\$14.20MM	6%	\$21.51MM	5%
2	OBRAS CIVILES PARA LAS VÍAS (Viaducto y vía del Monorriel)	\$226.79MM	33%	\$80.01MM	32%	\$212.57MM	49%
3	PUNTES ESPECIALES		0%		0%	\$40.80MM	9%
4	ESTACIONES	\$71.72MM	10%	\$22.89MM	9%	\$39.87MM	9%
5	PATIO TALLER	\$10.55MM	2%		0%	\$12.91MM	3%
6	OBRAS ELECTROMECÁNICAS	\$364.27MM	53%	\$129.42MM	52%	\$108.03MM	25%
	COSTO DIRECTO	\$688.17MM	100%	\$246.53MM	100%	\$435.68MM	100%
	COSTO DIRECTO / Km	\$33.72MM		\$20.04MM		\$34.04MM	

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión y Expediente técnico Línea 1-Tramos 1 y 2, MTC.

- Del cuadro anterior se comprende que las actividades de las obras de viaducto y las obras electromecánicas, son las actividades más influyentes en la obra, pues son parte de la ruta crítica y a su vez son aquella que generan mayores valorizaciones, por lo tanto, una demora en estas actividades podría generar un impacto en la valorización mensual, que podría significar un atraso en el calendario de obra ante la entidad.
- En el cuadro anterior, se observa que los costos directos solo de ejecución de obra por kilómetro construido, del Tramo 1 de la Línea 1 del Metro de Lima,

son menores a los costos por kilómetro del Monorriel y este último menor a los presentados para el Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima. Este resultado se da porque no se incluye los costos del expediente técnico, las interferencias, las expropiaciones.

Para complementar la información, este resultado contrasta, a los estudios realizados en la sección 5.5.3.1 (costos globales de obra), donde se obtuvo que el costo total por kilómetro construido, incluyendo el IGV, del Tramo 1 de la Línea 1, es menor al obtenido para el Monorriel de Arequipa, y este último es menor al obtenido para el tramo 2 de la Línea 1, cuyos valores son; 50.26 MM US\$, 59.26 MM US\$ y 70.36 MM, respectivamente.

Para el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, con los resultados obtenidos de los costos por Kilometro construido para los tramos 1 y 2, se realiza un cálculo promedio, en función a sus longitudes netamente construidas, siendo el resultado obtenido de 69.88 MM US\$ por kilómetro construido.

Por lo tanto, se llega a la conclusión que el costo de construcción por kilómetro construido del Monorriel de Arequipa (59.26 MM US\$, incluye IGV), es menor al costo de construcción por kilómetro construido de la Línea 1 del Metro de Lima (69.88 MM US\$, Incluye IGV).



## CONCLUSIONES

En el trabajo realizado, se confirma que el estudio de Demanda es una variable principal que contribuye a la determinación del tipo de Sistema de Transporte público Masivo a usar, sin embargo, esta decisión también depende cuanto será el costo de construcción y cuánto será el tiempo de construcción, además de otras variables mencionadas en este trabajo, pero no analizadas como son el impacto ambiental y social, el financiamiento, entre otros.

Lo anterior permite desechar la hipótesis planteada, ya que el sistema tipo Monorriel, si bien podría soportar ciertas demandas como las de un metro, y tienen un tiempo y costo de construcción, menor al Metro con viaducto elevado, estas no son las únicas variables que influyen en las decisiones para implantación de un sistema de transporte masivo en las ciudades, ya que cada ciudad es única en su movilidad, demanda; y uso del suelo, pues no todas presentan características similares a las ciudades como Lima y Arequipa.

No obstante, esto no limita, a que, en algún momento para una ciudad, en un determinado sector de movilidad de personas, se tenga que decidir si usar un sistema tipo Monorriel con vía elevada o un sistema Metro con vía elevada.

En ese sentido, el siguiente trabajo de suficiencia profesional, permite el siguiente diagnóstico entre el Monorriel de Arequipa y la Línea 1 del Metro de Lima:

Con respecto al estudio de demanda, se puede observar que la Demanda de pasajeros para el Monorriel de Arequipa es mucho menor a la Demanda de pasajeros para la Línea 1 del Metro de Lima. (De este último no basamos en la Demanda actual que tiene la Línea 1, la actualización de la demanda de a Línea 1 y el estudio de demanda realizado por JICA, ya que los estudios de la demanda del 2010 no reflejan valores superiores a la demanda del Monorriel de Arequipa).

Con respecto a la demanda, de los anterior se comprueba que los intervalos de demanda de un sistema tipo Metro son superiores a los intervalos de demanda de un sistema de Mediana capacidad como el Monorriel.

Así también al existir una intersección entre los intervalos de demanda entre un sistema de Mediana capacidad y uno de Alta capacidad, se comprobó que los

trenes del Monorriel de Arequipa, con una combinación de 7 coches y 995 personas por tren, puede transportar, las mismas cantidades de demanda de la Línea 1 del Metro de cuyos trenes de están compuestos por 6 coches y cada tren transporta 1200 pasajeros. Sin embargo, para que el Monorriel pueda transportar altas demandas, se tendría que hacer todos estudios de ingeniería de todas las especialidades, expresarlos en costos y analizar si es factible en comparación a un sistema tipo Metro, sea elevado o subterráneo.

Respecto al Tiempo de construcción, se determinó que el Monorriel de Arequipa, tienen menor tiempo de construcción de las obras civiles para la vía elevada, en comparación al tiempo de construcción a las obras civiles del viaducto elevado para la Línea 1 del Metro de Lima.

Con lo anterior y lo estudiado se determina, que, teniendo un escenario ideal, donde se cumpliría la programación de los trenes de actividades, la construcción de las obras civiles del Monorriel con vía elevada, se realiza en menor tiempo, en comparación con las obras civiles para el viaducto del Metro elevado.

Se realizó evaluaciones con resultados de tiempos de construcción para distintas longitudes de vía, resultado que aproximadamente, que el Monorriel se construye en un tiempo que representa el 76% de la ejecución de las obras civiles del viaducto de un Metro Elevado. (Incluye vía férrea).

Para el caso de las estaciones, estas no son parte de la ruta crítica de la obra, se construyen en distintos frentes y en paralelo a las obras de viaducto, y por lo general, solo se necesita que primero se ejecuten las obras de viaducto para que se inicien las obras de las estaciones y no generen interferencias constructivas. Todo mencionado en lo anterior repercute en el tiempo de instalación y montaje de las Obras Electromecánicas, que por lo general van a mismo ritmo de las obras civiles.

Por lo tanto, se determinó que el tiempo de construcción de las obras civiles y electromecánicas del Monorriel de Arequipa son menores al tiempo de construcción de las obras civiles y electromecánicas de la Línea 1 del Metro de Lima, ambos para una misma Longitud en Kilómetros.

Respecto al análisis de los costos, se determinó que el costo total por Kilometro construido, de las obras civiles y electromecánicas, incluyendo expropiaciones, e interferencias, del Monorriel (59.26 MM US\$), es menor al Costo Promedio total por kilómetro construido (69.88 MM US\$) de la Línea 1 para los Tramos 1 y 2.

Haciendo un análisis de los costos directos por Kilometro construido de las obras civiles de para las vías del Monorriel y de la Línea 1 del Metro de Lima, se determinó que el Monorriel Presenta menor valor en comparación al promedio del costo directo total por kilómetro de la Línea 1 del Metro de Lima.

Se determinó que, haciendo evaluaciones de costos directos por kilómetro construido para cada tipo de estructuras comunes, solo las columnas y vigas cabezales tienen mayor valor a los de la Línea 1 de metro de Lima.

De la evaluación con las ratios de venta, (costo de 1 m<sup>3</sup> valorizable de cada estructura), se determinó que casi todas las estructuras comunes del monorriel (a excepción de los pilotes), presentan mayor costo directo valorizable por m<sup>3</sup>.

Respecto al análisis de costos, de determino que las obras civiles de las vías en ambos sistemas, representan entre el 33% a 49%, del costo Directo y las obras electromecánicas, representan entre el 25% a 50%.

## RECOMENDACIONES

Considerando la importancia que tiene la investigación sobre la implementación de los sistemas de transporte público masivo en el Perú, se formulan algunas sugerencias para los próximos investigadores, instituciones educativas y otros:

Se recomienda realizar, un análisis de cuáles son las variables que toman la mayor importancia en la toma de decisiones para la implantación de un sistema de transporte masivo, con un porcentaje de incidencia de cada una de ellas.

Considerando que en la actualidad el Ministerio de transportes y Comunicaciones, en el plan de implementación de Metros en la ciudad de Lima y Callao considera que las Líneas 2, 3, 4, 5 deben ser subterráneas. Se sugiere a los próximos investigadores realizar un análisis si es factible que estas líneas no sean todas subterráneas, sino compuestas por tramos elevados y subterráneos, con el objetivo de disminuir los costos de inversión; ya que actualmente el Perú presenta brechas sociales, que puedan atenuarse con el dinero ahorrado al no invertir solo en Metros Subterráneo.

Se debe realizar un análisis, de cuáles fueron los benéficos de implementar un sistema tipo Metro Subterráneo para la Línea 2 del Metro de Lima, ya que según los estudios de JICA considera las Líneas 2, 4 y la 6 como sistemas de transporte de Mediana Capacidad.

Se recomienda a los próximos investigadores realizar un estudio donde se defina qué criterios se deben incorporar en el diseño del Monorriel con el objetivo de que se considere como un medio de Transporte Público de Alta Capacidad.

Tomado como ejemplo a Japón, país que es el pionero en la implementación de Monorrieles, se sugiere a los investigadores realizar una evaluación, mediante la siguiente hipótesis ¿es factible que las Líneas, 4, 5 y 6 sean todas Monorriel?, ya que el estudio de JICA, considera a las Línea 4 y 6 Monorrieles y Línea 5 un BRT o LRT, en el hipotético caso que se implantará estos Monorrieles, cuáles serían los costos de inversión y el tiempo de implementación, en comparación con los sistemas tipo metros subterráneas propuestos actualmente por el MTC y como beneficiaria a la sociedad este escenario propuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alosilla Olvea , H. (2015). *Proceso Constructivo de Viaducto con Viga Cajon Postensada de Sección Variable, Cimentado Sobre Pilotes Excavados*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ayála Rodríguez, J. J. (2017). *Características y Efectos de la Contaminación Visual de Caracter Publicitario*. Asunción: Universidad Nacional de Asunción.
- Benavides, H. (2012). *Metodología de Construcción del viaducto elevado cruce Javier Prado Proyecto Tren Electrico*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Delgado Sayán, R. (2014). *Metro de Lima y Callao*. Lima: Cesel S.A Ingenieros.
- Deuman. (2014). *Línea 1 del metro de Lima*. Lima: Deuman.
- Diaz Ortega, I. (2011). *Racionalización de Rutas de Transporte en el Area de Influencia de la Linea 1 del Metro de Lima*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Felipe Pardo, C. (2009). *Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Galván Treviño, P. (2009). *La Evaluación del Monorriel, un Proyecto de Inversión*. Queretaro : Universidad Autonoma de Queretaro.
- Gonzales , M. (2007). *Los Medios de Transporte en la Ciudad. Un análisis comparativo*. Madrid: Ecologistas en Acción.
- Gutiérrez Puebla, J. (2004). *Tren de Ata Velocidad y sus Efectos Espaciales*. Alcalá de Henares: Asociación Española de Ciencia Regional.
- Islas Rivera , V., & Lelis Zaragoza, M. (2007). *Análisis de los sistemas de Transporte*. Ciudad de México: Imt.
- Kohon, J. (2015). *Metro de Lima. El caso de la Línea 1*. Lima: CAF.
- Linea 1 Metro de Lima. (2015). *Informe de sostenibilidad*. Lima: Linea 1 Metro de Lima.
- Melis Maynar, M., & González Fernández, J. (2008). *Ferrocarriles metropolitanos: tranvías, metros ligeros y metros convencionales*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Miltón, O. (2011). *Análisis de demanda para una linea de Transporte Masivo Guiado a Sobrenivel en la ciudad de Cordoba*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

- Ministerio de Economía y Finanzas . (2018). *Directivas de Formulación y evaluación de un proyecto de inversión pública*. Lima: MEF.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2010). *Expediente Técnico de la Línea 1 Tramo 1 del Metro de Lima*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Expediente Técnico de la Línea 1 tramo 2 del Metro de Lima*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Encuesta de recolección de información básica del transporte urbano en el área metropolitana de Lima y Callao*. Lima: MTC.
- Ordoñez Guevara, J. (2012). *Proceso Constructivo de Viaducto Elevado con Vigas Cajón Postensadas en Tramo Curvo del Proyecto Tren Eléctrico*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Pasqualetto, A., & De Souza, F. (2014). A tecnologia de Monotrilho Para o Transporte de Passageiros. *Estudos Goiana*, 43-55.
- Pro Inversión - Queiroz Galvao. (2014). *Sistema Rápido Masivo del Tipo Monorriel para la Ciudad de Arequipa*. Lima: Pro Inversión - Queiroz Galvao.
- ProInversión. (2012). *Concurso de Proyectos Integrales para la Concesion del proyecto especial sistema electrico de transporte Masivo de Lima y Callao, Línea 1, Villa el Salvador - Av Grau-San Juan de Lurigancho*. Lima: ProInversion.
- Rojo Garrido, J. (2014). *La Importancia de los Sistemas Ferroviarios en las ciudades de América Latina*. Madrid: Alamys.
- Soto, H. (2015). *Proceso Constructivo de la Vía Ferrea desde Patio de Maniobras Hasta la estación Los Jardines Proyecto Tren electrico Tramo 2*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Szmidke, R. (2015). *Fechamento entre Vigas Guia Na Linha 15 Prata*. Sao Paulo: Matroferroviaria.
- Viana Suberviola, E. (2015). *Definición y tipología de los sistemas Ferroviarios*. Barcelona: Universidad de Barcelona.

## ANEXOS

### ANEXO 1

- Gráficos de Tipos de Cimentación
- Gráficos de Tipos de Columna
- Gráficos de tipos de vigas Pretensadas y Postensadas

### ANEXO 2

- Perfil estratigráfico del trazo del Monorriel de Arequipa
- Trazo geotécnico de los sectores de estudios geotécnicos del tramo 2 de la Línea 1
- Perfil Geotécnico del Trazo de la Línea 1 del Metro de Lima
- Conclusiones de los estudios geotécnicos de la Línea 1 del Metro de Lima
- Viaducto Elevado No típico Cruces especiales
- Puentes sobre el río Rímac y la Vía de Evitamiento

### ANEXO 3

- Cronograma contractual de obra – Monorriel de Arequipa
- Cronograma contractual de obra – Línea 1 Metro de Lima Tramo 1
- Cronograma contractual de obra – Línea 1 Metro de Lima Tramo 2
- Diagrama Tiempo Camino – Monorriel de Arequipa
- Diagrama Tiempo Camino – Línea 1 del Metro de Lima Tramo 2
- Comparativo del Tiempo de construcción de 1 kilómetro de Monorriel vs 1 kilómetro de Metro elevado

### ANEXO 4

- Aspectos Ambientales.



ANEXO 1

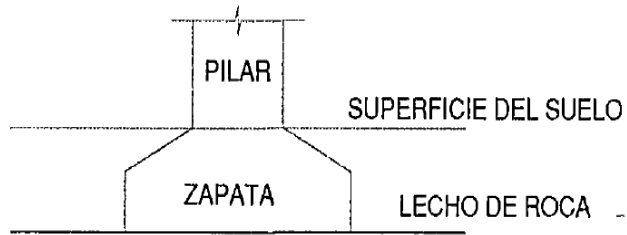


Figura 1: Zapata superficial

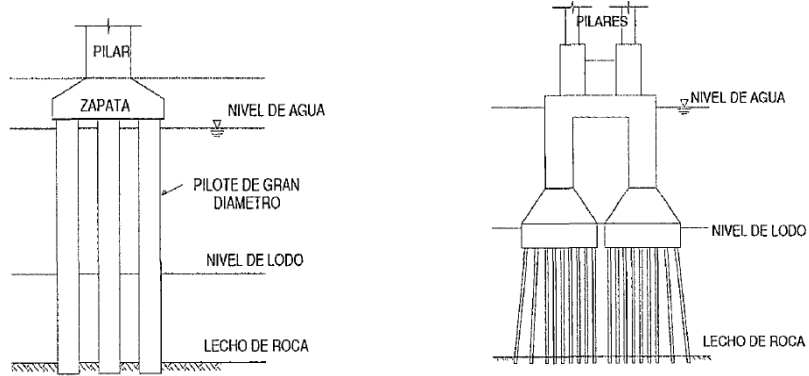
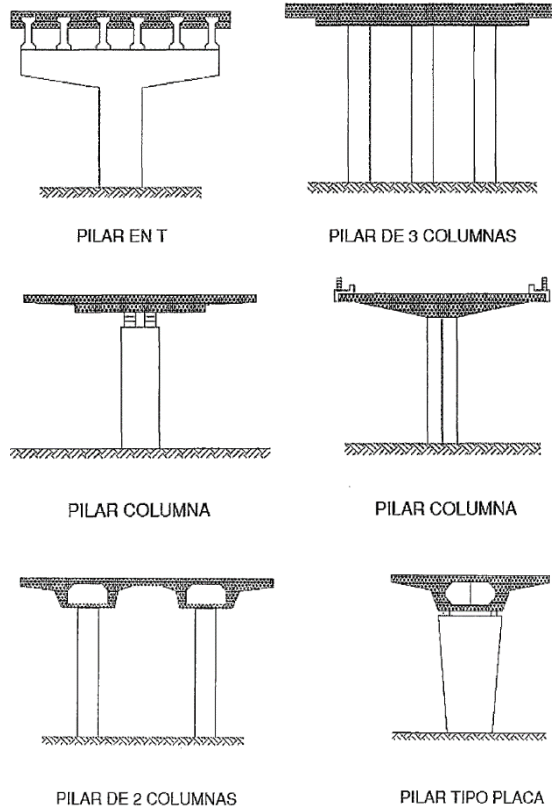
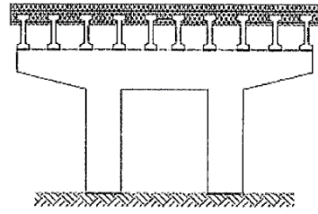


Figura 2: Pilotes de gran diámetro y pilotes esbeltos





PILAR TIPO PORTICO

Figura 3: Clasificación de las columnas

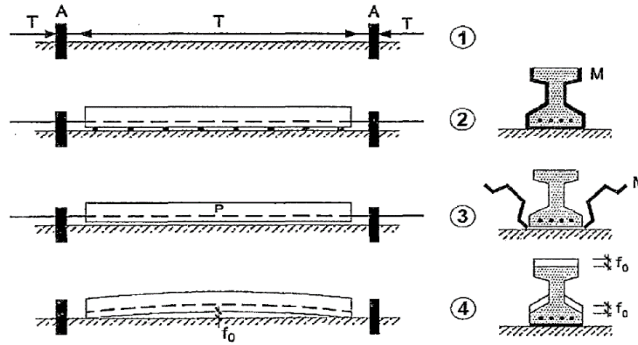


Figura 4: Pretensado de viga

1. Colocación, anclaje y tesado de armaduras
2. Colocación de concreto
3. Desencofrado
4. Corte de los cables y transferencia de la fuerza de pretensado.

(Benavides, 2012)

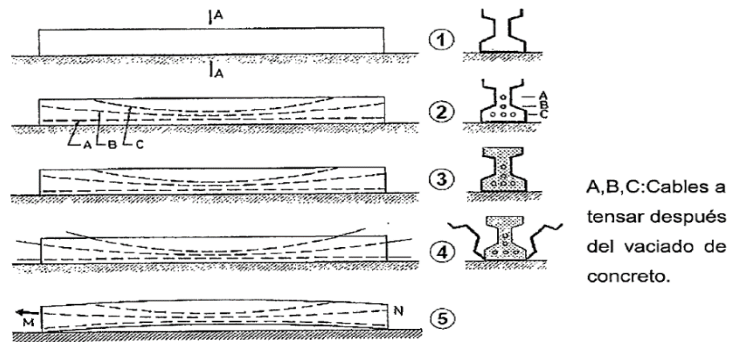


Figura 5. Postensado de viga

1. Colocación y fijación del encofrado
2. Colocación de armaduras pasivas y de vainas
3. Colocación de concreto y curado
4. Envainado de tendones y desencofrado
5. Tras alcanzar el concreto la resistencia suficiente se hace el tensado de cables.

A,B,C: Cables a tensar después del vaciado de concreto. (Benavides, 2012)

## ANEXO 2

### 2.1 SISMICIDAD, SUELOS Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO MONORRIEL DE AREQUIPA

#### SISMICIDAD

Según la Zonificación de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente, Arequipa se encuentra en la zona 3, teniendo como factor de zona  $Z=0.4$ . Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. En el estudio de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Arequipa (Aguilar, 2005), en el que se propone una zonificación sísmica, considerando básicamente las condiciones geotécnicas de los suelos que delimitan las curvas isoperíodos, se divide a la ciudad de Arequipa en cuatro zonas sísmicas que se detallan a continuación:

**ZONA A:** Conformada por las rocas ígneas intrusivas de la Cordillera de Laderas que ocupan la parte sur oeste de la ciudad y por las rocas ígneas del Volcánico Chila que afloran en la parte norte, en la margen izquierda del río Chili. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona varían entre 0.15 y 0.25 seg. Los suelos de cimentación presentan excelentes características geotécnicas, pudiéndoles asignar una capacidad portante superior a 10 Kg/cm<sup>2</sup>.

**ZONA B:** Conformada por los afloramientos de sillar, parte de los suelos puzolánicos de Pachacútec y parte de los flujos de barro que constituyen las laderas de la Cadena del Barroso. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona varían de 0.20 a 0.30 seg., llegando hasta 0.35 seg. en los flujos de barro. Se incluye en esta zona el área del Cercado comprendida entre las Urbanizaciones Cerro Juli, Parque Industrial, Ferroviarios, IV Centenario y Municipal, que presentan valores de períodos predominantes de 0.15 a 0.25 seg. Las características geotécnicas de esta zona son buenas, presentando valores de capacidad portante entre 2.0 y 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

• **ZONA C:** Conformada por la mayor parte del casco urbano, entre las que se encuentran los distritos de Cayma, Yanahuara, el Cercado, parte de Cerro Colorado y las partes bajas de los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata. Los suelos de esta zona presentan características geotécnicas bastante erráticas, encontrándose valores de capacidad portante entre 1.0 y 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>. El nivel freático se encuentra a más de 5 m. de profundidad, excepto en la zona del balneario Tingo, en la que el nivel freático se encuentra muy cerca de

a la superficie. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.

- ZONA D: Conformada por el material piroclástico que cubre las urbanizaciones Alto Cayma y Francisco Bolognesi, y por los suelos eluviales de Bellapampa, donde el nivel freático se encuentra cercano a la superficie. Esta zona presenta condiciones geotécnicas desfavorables, encontrándose valores de capacidad portante de 0.50 Kg/cm<sup>2</sup>. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona también se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.

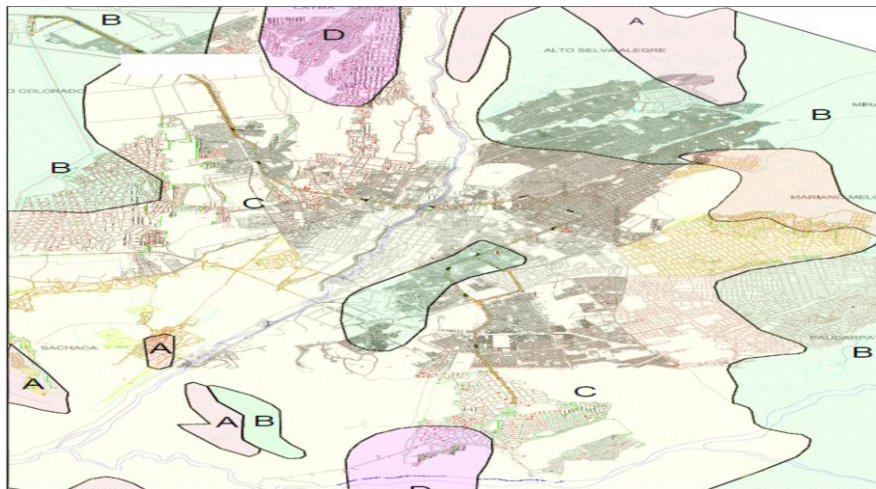
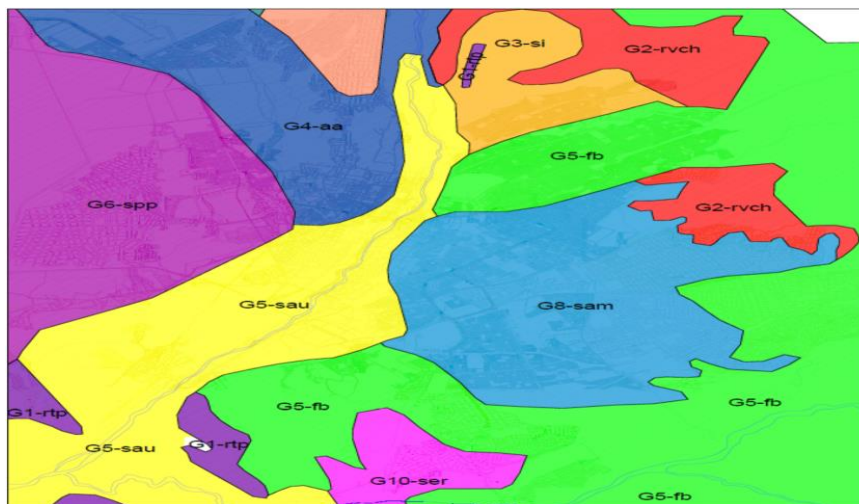


Figura 2: Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa

Fuente: Sistema Rápido Masivo de Arequipa Pro Inversión

Suelos: Mapa Geotécnico



LEYENDA

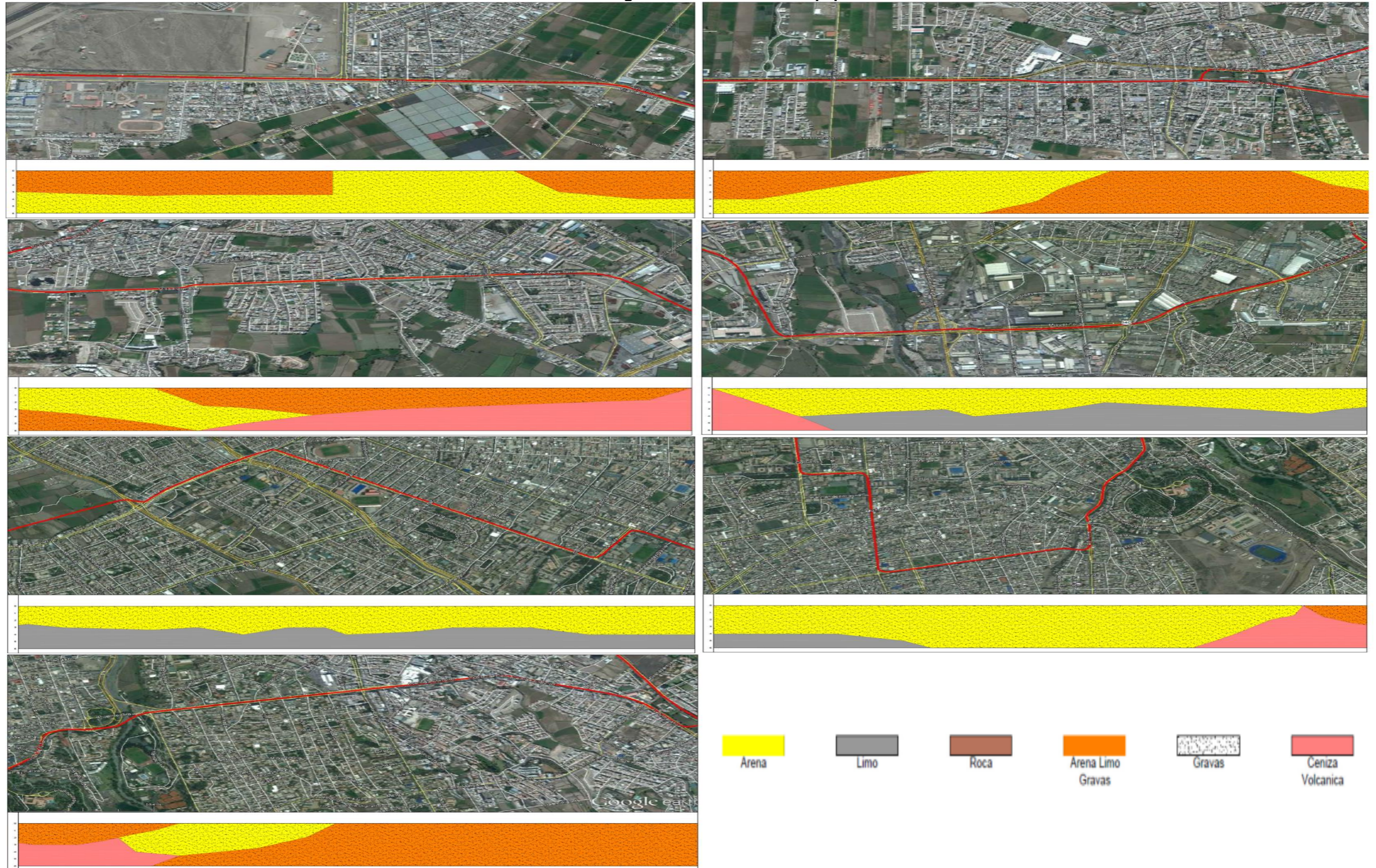
	$q_u$ (Kg/m <sup>2</sup> )		$q_u$ (Kg/m <sup>2</sup> )
G1-rpt Rocas Preterciarias	30.0	G6-spp Suelo Puzolánico de Pachacútec	2.0
G2-rvch Rocas Volcánicas de Chila	15.0	G7-sau Suelo Aluvial de Umacollo	1.5
G3-si Sillar	5.0	G8-sam Suelo Aluvial de Miraflores	1.0
G4-saa Suelo de Acequia Alta	3.5	G9-stc Suelo Tobáceo Compresible	0.5
G5-fb Flujos del Barro	3.0	G10-ser Suelo Aluvial Reciente	0.5

Figura 2.1 Mapa Geotécnico de la ciudad de Arequipa

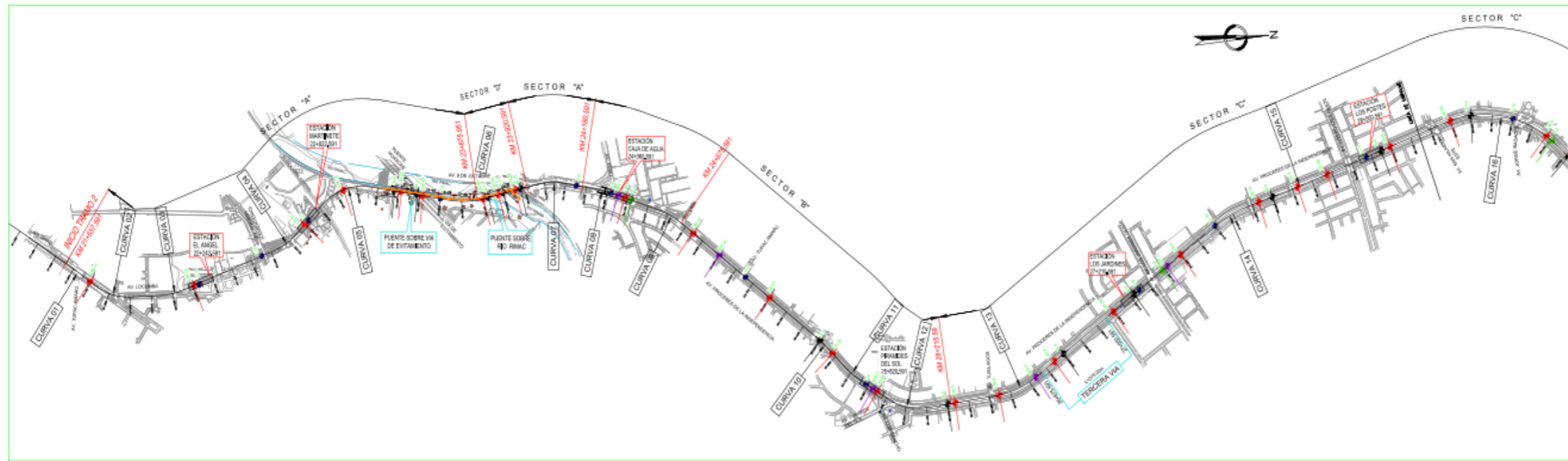
Fuente: Sistema Rápido Masivo de Arequipa Pro Inversión



### Perfil Estratigráfico Monorriel de Arequipa

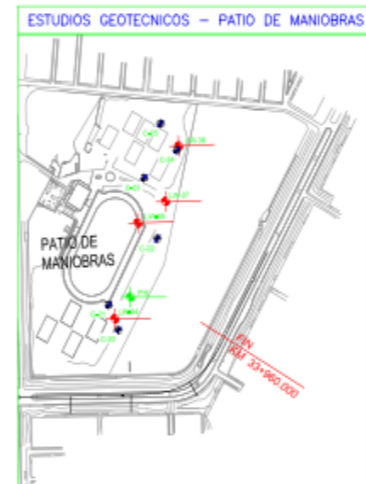






**LEYENDA**

- Sondajes Diamantinos: S-1 HASTA S-17
- Sondajes SPT: SPT-1 HASTA SPT-7
- Ensayos de Placa: P-1 HASTA P-6
- MASW: LW-1 HASTA LW-37
- Calicatas
- Ensayo de Refracción Sísmica (ONDAS P)
- Estaciones



**PLANO LLAVE**

**LEYENDA**

Notas:

Referencias:

Supervisión	CONSORCIO	APROBADO SIN COMENTARIOS	Cod. 1	Fecha
REVISAR Y REEMPLAZAR	POYRY	APROBADO CON COMENTARIOS	Cod. 2	
		REVISAR Y REEMPLAZAR	Cod. 3	

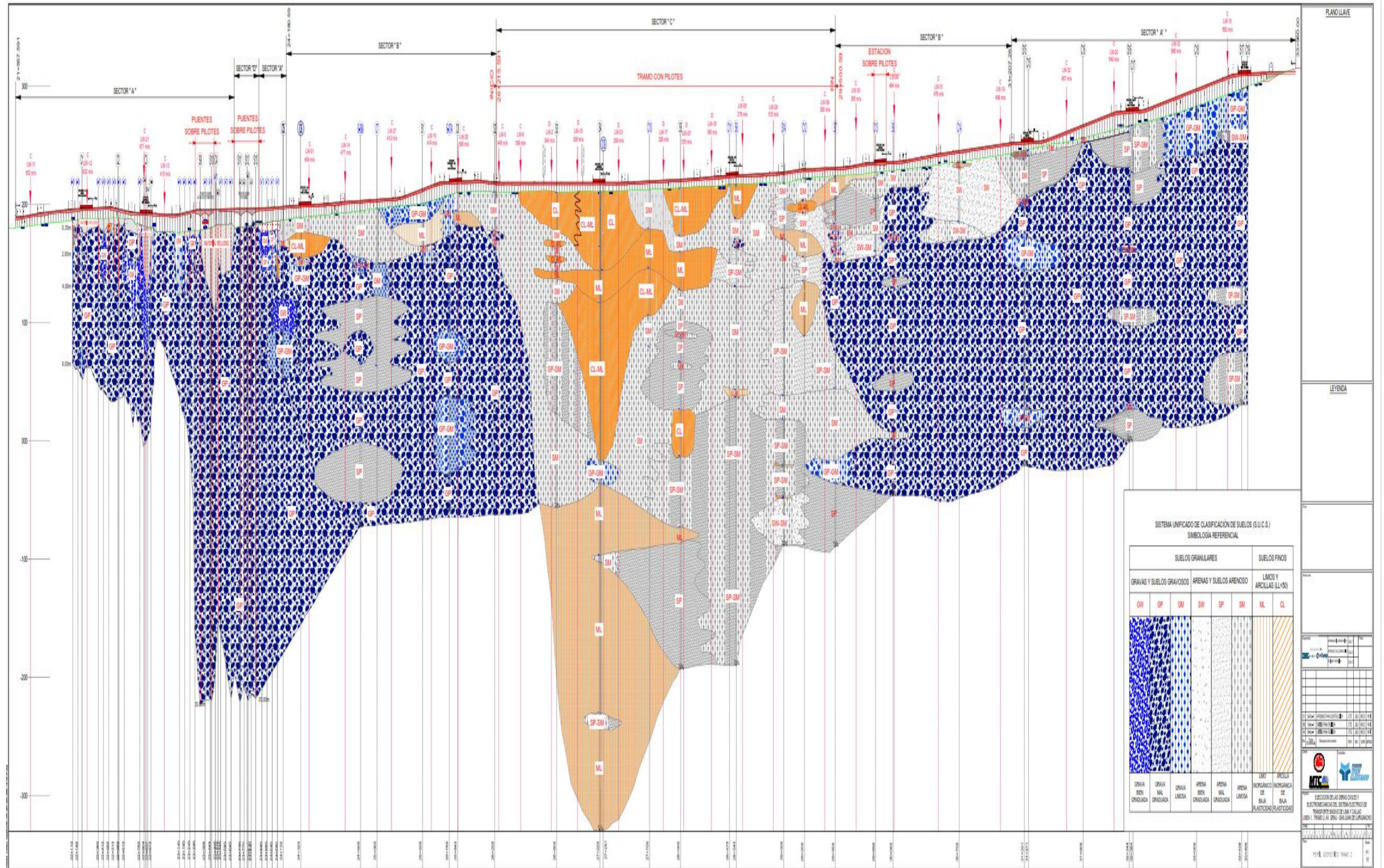
01	04/02/12	APROBADO PARA CONSTRUCCION	ACH	CTE	MCO	WVI
02	05/02/11	EMITIDO PARA REVISION	ACH	CTE	MCO	WVI
03	28/02/11	EMITIDO PARA REVISION	CTEL	CTE	MCO	WVI
Rev.	Fecha	Descripción de la revisión	ELABOR.	DISEÑO	REVIS.	APROB.



Proyecto: EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1, TRAMO 2, AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO

Codigo:	C T E L C T E G E N M S U D W G 1 3 1 2 0 0 1	Rev.	0 1
Plano:	PLANO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS		Escala: (A2) 1/10000







## CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS TRAMO 2 LÍNEA 1 METRO DE LIMA

### CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS PARA EL SECTOR A+A'

En base al análisis y considerando la capacidad admisible de carga para zapatas rectangulares cimentadas sobre material gravoso (Zona A y A') se tiene como resultado para las tres condiciones analizadas:

En la siguiente tabla se resumen el análisis de la cimentación para el **sector A** el cual aplica para los dos primeros tramos comprendidos entre las progresivas 21+557.59 - 23+675.591 y 23+915.51 - 24+180.59.

Ubicación	Condiciones	Dimensiones de zapata ( m x m )	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Profundidad de Cimentación (m)	Capacidad de carga factorada (kg/cm <sup>2</sup> )
ZAPATAS DE VIADUCTO	Servicio I	7.50 x 10.00	43.65	4.00	9.18
	Resistencia I		42.83	4.00	19.27
	Evento Extremo		31.79	4.00	25.43
	Evento Extremo		48.65	4.00	38.92
ZAPATAS DE ESTACIÓN DE PASAJEROS	Servicio I	7.00 x 14.00	37.71	4.00	9.18
	Resistencia I		38.73	4.00	17.43
	Evento Extremo		31.86	4.00	25.49
	Evento Extremo		40.01	4.00	32.01

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

Además, se presenta el resumen del análisis de la cimentación para el **sector A'** comprendido entre las siguientes progresivas 31+207.26 – 33+960.

Ubicación	Condiciones	Dimensiones de zapata ( m x m )	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Profundidad de Cimentación (m)	Capacidad de carga factorada (kg/cm <sup>2</sup> )
ZAPATAS DE VIADUCTO	Servicio I	7.50 x 10.00	33.92	4.00	8.16
	Resistencia I		33.29	4.00	14.98
	Evento Extremo X		24.96	4.00	19.97
	Evento Extremo Y		37.64	4.00	30.11
ZAPATAS DE ESTACIÓN DE PASAJEROS	Servicio I	7.00 x 14.00	30.33	4.00	8.16
	Resistencia I		30.35	4.00	13.66
	Evento Extremo X		25.12	4.00	20.10
	Evento Extremo Y		31.31	4.00	25.04

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

Para el sector A se tiene el siguiente asentamiento producido por la carga en las tres condiciones analizadas:

Dimensiones de zapata (mxm)	Servicio 1 Asentamiento elástico (mm)	Resistencia 1 Asentamiento elástico (mm)	Evento Extremo X Asentamiento elástico (mm)	Evento Extremo Y Asentamiento elástico (mm)
(B=7.50m. x	40.48	83.54	77.20	128.44
(B=7.00m. x	48.07	92.64	108.52	133.49

Para el sector A´ se tiene el siguiente asentamiento producido por la carga en las tres condiciones analizadas:

Dimensiones de zapata (mxm)	Servicio 1 Asentamiento elástico (mm)	Resistencia 1 Asentamiento elástico (mm)	Evento Extremo X Asentamiento elástico (mm)	Evento Extremo Y Asentamiento elástico (mm)
(B=7.50m. x	41.52	74.92	69.92	114.65
(B=7.00m. x	49.51	83.76	98.70	120.51

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

- En la condición de Servicio para el sector A el asentamiento se ha limitado a 2" por lo tanto la capacidad admisible será de **9.0 kg/cm<sup>2</sup>**.
- En la condición de Servicio para el sector A´ el asentamiento se ha limitado a 2" por lo tanto la capacidad admisible será de **8.0 kg/cm<sup>2</sup>**.

#### CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS PARA EL SECTOR B

- En base al análisis y considerando la capacidad admisible de carga para zapatas rectangulares cimentadas sobre material arenoso (Zona B) se tiene como resultado para las tres condiciones analizadas:

Ubicación	Condiciones	Dimensiones de zapata ( m x m )	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Profundidad de Cimentación (m)	Capacidad de carga factorada (kg/cm <sup>2</sup> )
ZAPATAS DE VIADUCTO	Servicio I	<b>(B=7.00m. X L=9.50 m.)</b>	27.38	4.00	5.00
	Resistencia I		27.52	4.00	12.38
	Evento		21.34	4.00	17.07
	Evento		29.79	4.00	23.83
ZAPATAS DE ESTACIÓN DE PASAJEROS	Servicio I	<b>(B=7.00m. X L=14.00 m.)</b>	25.11	4.00	5.00
	Resistencia I		25.10	4.00	11.29
	Evento		20.88	4.00	16.70
	Evento		25.37	4.00	20.29

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

- El asentamiento producido por la carga última en las tres condiciones analizadas:

Dimensiones de zapata (mxm)	Servicio 1 Asentamiento elástico (mm)	Resistencia 1 Asentamiento elástico (mm)	Evento Extremo X Asentamiento elástico (mm)	Evento Extremo Y Asentamiento elástico (mm)
Viaducto	31.88	79.59	79.99	120.28
Estación de	40.16	90.80	103.86	118.70

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

- En la condición de Servicio el asentamiento se ha limitado a 2" por lo tanto la capacidad admisible será de 5.0 kg/cm<sup>2</sup>.
- Según los resultados del análisis químico los contenidos de cloruros y sulfatos están por debajo de los límites permitidos en la norma y en consecuencia no se requiere un tratamiento especial en la fabricación del concreto a utilizar en las cimentaciones.

#### CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS PARA EL SECTOR B

- Para el tramo Q, el pilotaje se ha considerado sobre terreno granular consistente en arenas mal graduadas, arenas limosas con lentes de material arcilloso limoso, que tiene en superficie suelo arcilloso. Para el cálculo del factor de eficiencia de grupo se asumen una distancia de 4.0 veces el diámetro eje a eje entre pilotes, en consecuencia, el factor de eficiencia es la unidad.
- Para la primera mitad del tramo R, el pilotaje se considera sobre material limoso y arcilloso – limoso con capas de gravas limosa y arena limosa; De igual modo, el material ha sido considerado con cohesión y fricción, en consecuencia, para un espaciamiento igual o mayor que cuatro veces el diámetro, el factor de eficiencia de grupo es igual a la unidad.
- En el caso de la segunda mitad tramo R y el tramo S el material sobre el cual estarán los pilotes son arenas mal graduadas y arenas limosas, por lo tanto las consideraciones anteriores aplican, es decir para espaciamientos centro a centro de los pilotes, igual o mayor a cuatro veces el diámetro, el factor de eficiencia de grupo es la unidad.
- Se hace la aclaración que la capacidad admisible de los pilotes es calculada a partir de nivel inferior de la zapata cabezal de los pilotes (nivel -4.00m) y que debido al proceso constructivo seguido se computa dentro del cálculo el aporte a la fricción lateral desde el nivel -4.00m a -5.50m, debido a que este tramo no se encuentra disturbado debido al proceso de perforación.

Se debe de tener en cuenta el proceso constructivo a seguir:

1. Se realiza la perforación a nivel de superficie
2. Se coloca la armadura de refuerzo del pilote

3. Se procede con el vaciado de concreto hasta 1.50 por encima del nivel inferior de la zapata cabezal de los pilotes.
4. Se procede con la excavación para la construcción de la zapata cabezal de los pilotes.
5. Se procede con el descabezado de los pilotes dejando 0.30m por encima del nivel inferior de la zapata cabezal de los pilotes.
6. Se procede con el armado, encofrado y vaciado de las zapatas cabezal para finalmente realizar el relleno respectivo.

Se hace la aclaración que el nivel cero del cálculo coincide con el nivel -4.00m del perfil geotécnico.

- El cálculo se ha efectuado por el método del AASHTO LRFD, tanto con el programa AALL PILE como con una hoja de Excel tomando en consideración los factores indicados en la norma para las condiciones de servicio, resistencia y evento extremo.
- Se resalta que el criterio seguido para el análisis de la capacidad admisible de los pilotes es que para los suelos gravosos y arenosos se ha aplicado la metodología Beta y para los suelos Limoso y Arcillosos se le ha aplicado la metodología Alfa.
- En base al análisis de los ensayos de campo y laboratorio, se ha considerado una cimentación profunda mediante pilotes de concreto excavados de 1.50mts de diámetro, obteniéndose los siguientes resultados.

PILOTES SECTOR C							
TRAMO	TIPO DE SUPERESTRUCTURA	PROGRESIVA	SONDAJE	ESTADO LIMITE	CARGAS ACTUANTES (KN)	CARGAS ADMISIBLES (KN)	LONGITUD (m)
TRAMO Q	VIADUCTO	26+215.591	S-03	SERVICIO	3071.00	5139.30	12
		-		RESISTENCIA	4748.00	4947.60	
		26+319.591		EVENTO	6337.00	6522.70	
	TERCERA VIA	26+319.591	S-03	SERVICIO	4414.50	5139.30	17
		-		RESISTENCIA	6670.80	6730.00	
		26+749.591		EVENTO	9025.20	9054.30	
	VIADUCTO	26+749.591	S-03	SERVICIO	3071.00	5139.30	12
		-		RESISTENCIA	4748.00	4947.60	
		26+899.591		EVENTO	6337.00	6522.70	
	VIADUCTO	26+899.591	S-18	SERVICIO	3071.00	6112.00	19
		-		RESISTENCIA	4748.00	6150.50	
		27+124.591		EVENTO	6337.00	6493.80	
JARDINES	27+124.591	S-04	SERVICIO	4803.00	4893.40	27	
	-		RESISTENCIA	6417.00	6501.00		
	27+269.591		EVENTO	7160.00	9286.70		
TRAMO R	VIADUCTO	27+269.591	S-04	SERVICIO	4880.00	4893.40	28
		-		RESISTENCIA	6599.00	6695.40	
		27+554.591		EVENTO	8160.00	8175.40	

	VIADUCTO	27+554.591	S-19	SERVICIO	4880.00	8758.30	22
		-		RESISTENCIA	6599.00	6859.30	
		27+804.591		EVENTO	8160.00	8758.30	
	VIADUCTO	27+804.591	S-05	SERVICIO	4880.00	5106.50	20
		-		RESISTENCIA	6599.00	6913.00	
		28+129.591		EVENTO	8160.00	9245.40	
	VIADUCTO	28+129.591	S-20	SERVICIO	4880.00	4900.50	19
		-		RESISTENCIA	6599.00	6738.00	
		28+409.591		EVENTO	8160.00	9787.40	
	POSTES	28+409.591	S-06	SERVICIO	4826.00	5124.70	17
		-		RESISTENCIA	6425.00	6731.40	
		28+567.591		EVENTO	7470.00	7542.20	
TRAMOS	VIADUCTO	28+567.591	S-06	SERVICIO	5828.00	5910.20	21
		-		RESISTENCIA	7929.00	8214.90	
		28+642.591		EVENTO	8787.00	9057.10	
	VIADUCTO	28+642.591	S-21	SERVICIO	5828.00	5903.40	21
		-		RESISTENCIA	7929.00	8163.60	
		28+876.591		EVENTO	8787.00	8954.50	
	VIADUCTO	28+876.591	S-14	SERVICIO	5828.00	5874.80	21
		-		RESISTENCIA	7929.00	8195.00	
		29+500.591		EVENTO	8787.00	9021.70	

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

- Según los resultados del análisis químico los contenidos de cloruros y sulfatos están por debajo de los límites permitidos en la norma y en consecuencia no se requiere un tratamiento especial en la fabricación del concreto a utilizar en las cimentaciones.
- No se considera el efecto de grupo en los pilotes del tramo C
- Para el sector en análisis no se encontró la presencia de nivel freático, según se observa en los registros de perforación desarrollados hasta una profundidad de 40.0m.
- El cálculo del asentamiento del pilote individual se presenta el asentamiento de los pilotes individuales obtenido mediante los métodos Semiempírico y Empírico.

CUADRO RESUMEN: ASENTAMIENTO EN PILOTES

ITEM	EJES			TIPO DE SUPERESTRUCTURA	SONDAJE	PILOTES		ASENTAMIENTO	
						DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	MÉTODO SEMI EMPÍRICO (mm)	MÉTODO EMPÍRICO (mm)
TRAMO Q	Q12	HASTA	Q16	VIADUCTO	S-03	1.5	12	38.46	17.78
	Q17	HASTA	Q32	TERCERA VIA	S-03	1.5	17	41.28	20.56
	Q33	HASTA	Q38	VIADUCTO	S-03	1.5	12	38.46	17.78
	Q39	HASTA	Q47	VIADUCTO	S-18	1.5	19	39.68	20.52
	Q48	HASTA	Q53	JARDINES	S-04	1.5	27	47.39	23.24
TRAMO R	R1	HASTA	R10	VIADUCTO	S-04	1.5	28	47.69	23.82
	R6	HASTA	R20	VIADUCTO	S-19	1.5	22	40.46	22.09
	R21	HASTA	R33	VIADUCTO	S-05	1.5	20	41.09	21.69
	R34	HASTA	R43	VIADUCTO	S-20	1.5	19	40.96	21.17
	R44	HASTA	R49	POSTES	S-06	1.5	17	41.11	20.48
TRAMO S	S1	HASTA	S3	VIADUCTO	S-06	1.5	21	43.03	23.32
	S4	HASTA	S12	VIADUCTO	S-21	1.5	21	42.91	23.27

S13	HASTA	S34	VIADUCTO	S-14	1.5	21	43.15	23.32
-----	-------	-----	----------	------	-----	----	-------	-------

Fuente: Expediente Técnico, Línea 1 Tramo 2, MTC

CUADRO RESUMEN: ASENTAMIENTO POR GRUPO DE PILOTES

ITEM	EJES			TIPO DE SUPERESTRUCTURA	SONDAJE	PILOTES		ASENTAMIENTO POR GRUPO DE PILOTES
						DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	
TRAMO Q	Q12	HASTA	Q16	VIADUCTO	S-03	1.5	12	35.55
	Q17	HASTA	Q32	TERCERA VÍA	S-03	1.5	17	41.13
	Q33	HASTA	Q38	VIADUCTO	S-03	1.5	12	35.35
	Q39	HASTA	Q47	VIADUCTO	S-18	1.5	19	41.03
	Q48	HASTA	Q53	JARDINES	S-04	1.5	27	46.47
TRAMO R	R1	HASTA	R10	VIADUCTO	S-04	1.5	28	47.64
	R6	HASTA	R20	VIADUCTO	S-19	1.5	22	44.18
	R21	HASTA	R33	VIADUCTO	S-05	1.5	20	43.38
	R34	HASTA	R43	VIADUCTO	S-20	1.5	19	42.34
	R44	HASTA	R49	POSTES	S-06	1.5	17	40.96
TRAMO S	S1	HASTA	S3	VIADUCTO	S-06	1.5	21	46.64
	S4	HASTA	S12	VIADUCTO	S-21	1.5	21	46.53
	S13	HASTA	S34	VIADUCTO	S-14	1.5	21	46.64

Los resultados de este estudio se aplican exclusivamente al área en estudio, no se pueden utilizar para otros sectores o para otros fines.

### 2.3 Viaducto elevado No típico Cruces Especiales.

Son aquellas estructuras civiles cuyo tipo diseño y construcción es un puente de viga cajón realizado in situ, o procedimiento constructivo mediante el uso de un falso puente durante la ejecución del tablero. Dentro del proyecto del tren eléctrico fue necesario hacer estas construcciones ya que las avenidas el cual cruzan son de alto tránsito y a su vez de anchos mayores a los 40 m. A continuación, se indica los 7 cruces especiales.

Cuadro 1: Cruces especiales de la Línea 1

Ubicación	Lugar / Avenida	Cruce especial	Longitud
Tramo 1	Ovalo Higuiereta	Cabitos	126.83
Tramo 1	Av. Aviación / Av. Canadá	Canadá	109
Tramo 1	Av. Aviación / Av. Del Aire	Del Aire	109
Tramo 2	Av. Ancash/Pasaje Martinete	Ancash	145
Tramo 2	Av. Wiese/ Av. El sol	San Carlos	164
Tramo 2	Av. Wiese/ Av. Santa Rosa	Santa Rosa	93.64
Tramo 2	Av. Wiese/ Av. Héroes del Cenepa	Héroes del Cenepa	102

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

Las estructuras descritas anteriormente, son similares en la forma de las estructuras del viaducto elevado y el proceso constructivo, sin embargo, el cruce especial San Carlos también es una estación de pasajeros, donde las estructuras del andén de la estación son vigas cajón y es el cruce especial con mayor longitud.



Por estas características mostraremos un breve resumen del cruce especial y estación San Carlos.

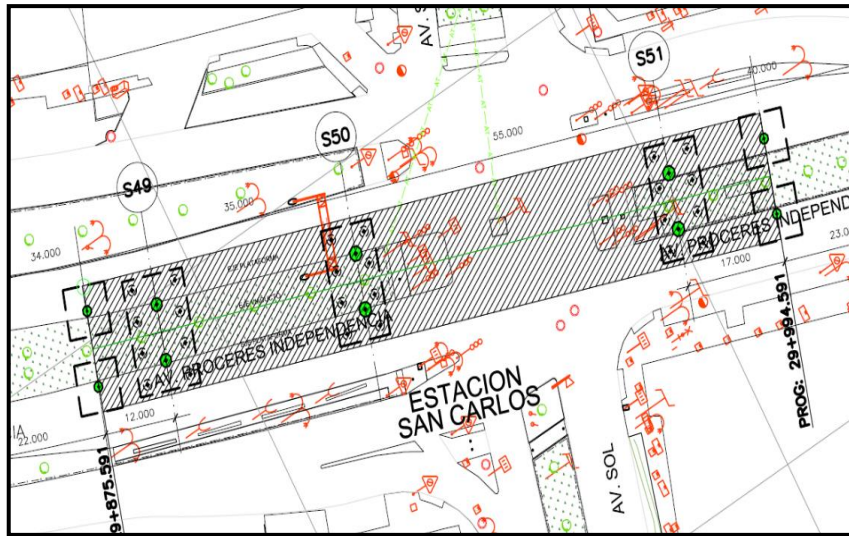


Figura 1: Ubicación cruce especial y estación San Carlos  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 2.1.1 La superestructura del tablero:

Este tablero sin incluir los bordes típicos tiene un ancho total de 8.36m. La sección típica del tablero es de sección cajón mono-celda con peralte variable, con un máximo de 4.50m sobre los pilares S50 y S51 (Nomenclatura de cada eje zapata-columna), y un mínimo de 2.30m en las zonas de máxima flexión positiva. El peralte de la viga es constante de 2.30m para el tramo S48-S49 y variable para los tramos S49-S50-S51-S52. En estos últimos tramos el peralte varía parabólicamente con un máximo de 4.50m sobre los pilares S50 y S51 y un mínimo de 2.30m en la zona de máximos momentos positivos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

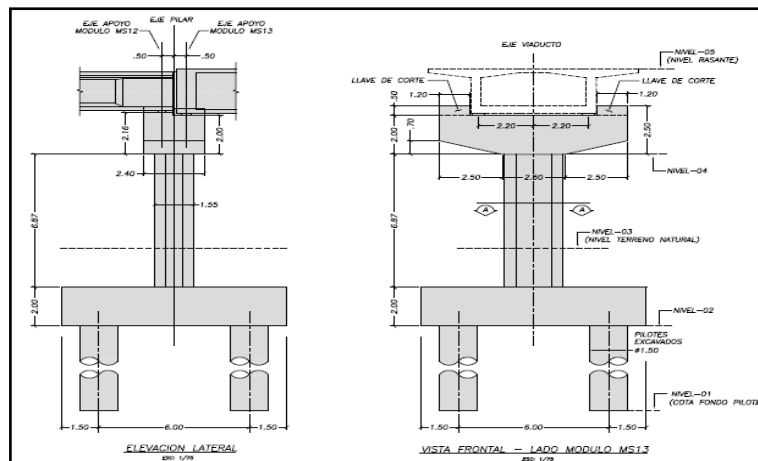


Figura 2: Elevación Pilar S48 (Similar al Pilar S52)

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

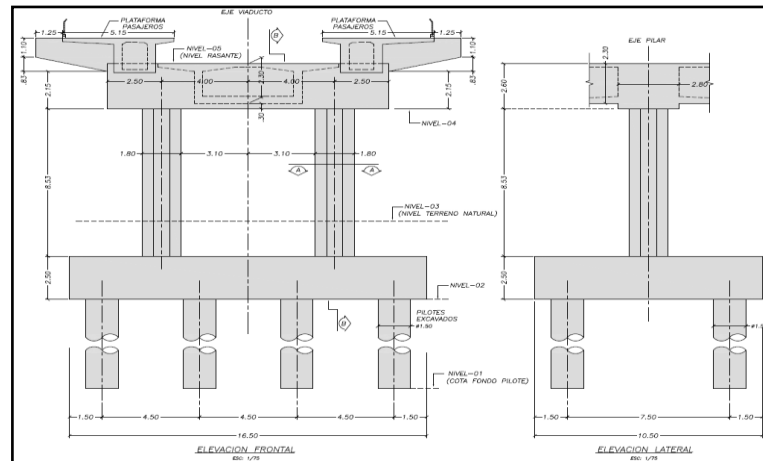


Figura 3: Elevación Pilar S49

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

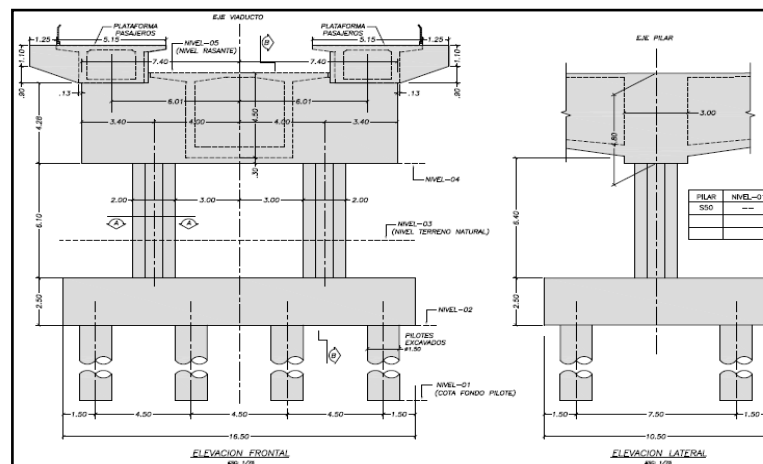


Figura 4: Elevación Pilar S50 (Pilar S51 Similar)

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

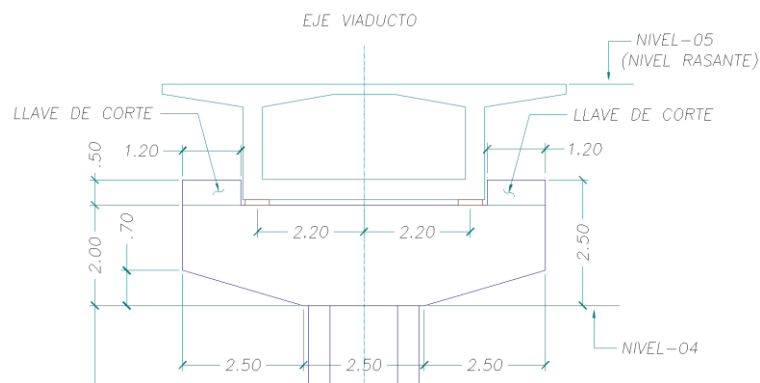


Figura 5: Sección transversal en Viga Cabezal en Pilar S48 –52

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

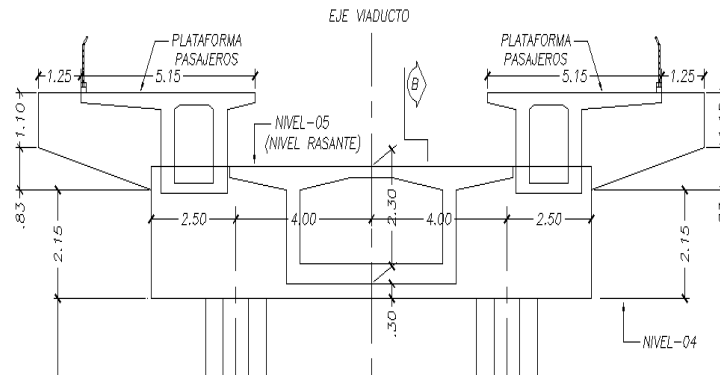


Figura 6: Sección transversal en Viga Cabezal en Pilares S49

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

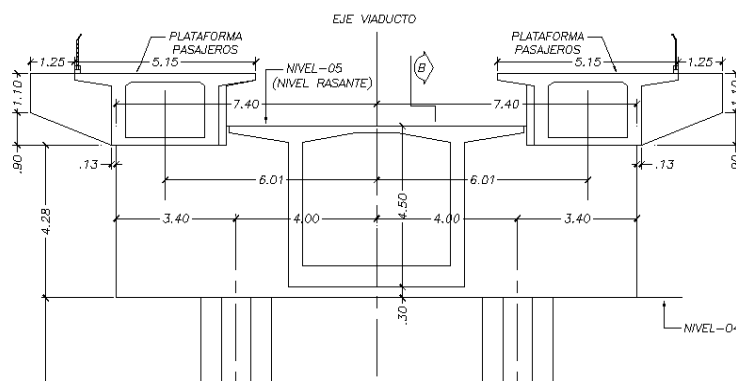


Figura 7: Sección transversal en Viga Cabezal en Pilares S50 y 51

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 2.1.2 La sección típica:

Esta sección consta de una viga cajón de una sola celda con un ancho total de 8.36m. La losa del tablero es de espesor variable, con un espesor mínimo de 200mm (centro del tablero y extremo de volados) y un máximo de 450mm (sobre almas). Las almas son de espesor uniforme de 400mm. La losa inferior tiene un ancho de 5.00m, el espesor de la losa tiene un mínimo de 200mm en la zona de flexión positiva, y se incrementa a 400mm en la zona de máximos momentos negativos sobre el pilar S49 y a 600mm en la zona de máximos momentos negativos sobre los pilares S50 y S51. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

### 2.1.3 Plataforma del Anden Vigas Cajón:

Para los andenes se emplean vigas cajón con 2,00 m de peralte, con almas de 0.40 m de ancho. La separación entre las almas (desde cara interna a cara interna) varía desde 1.15 m para el vano de 12 y 35 m y a 2.25 m para el vano de 17 m. A continuación, se muestra las secciones de las vigas en los extremos:

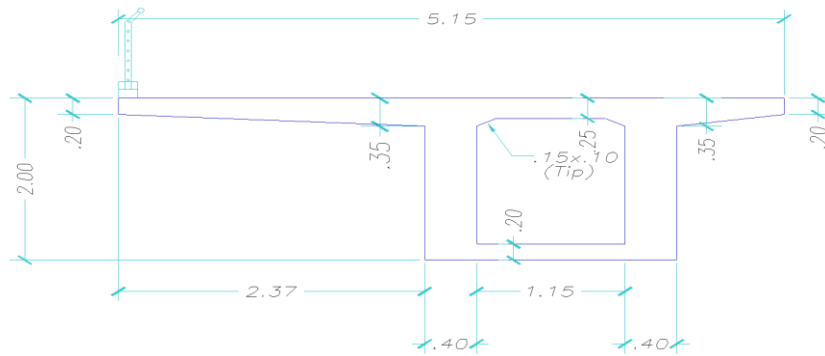


Figura 8: Viga 2,00 m peralte, tramos de 12.00 y 35.00m

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

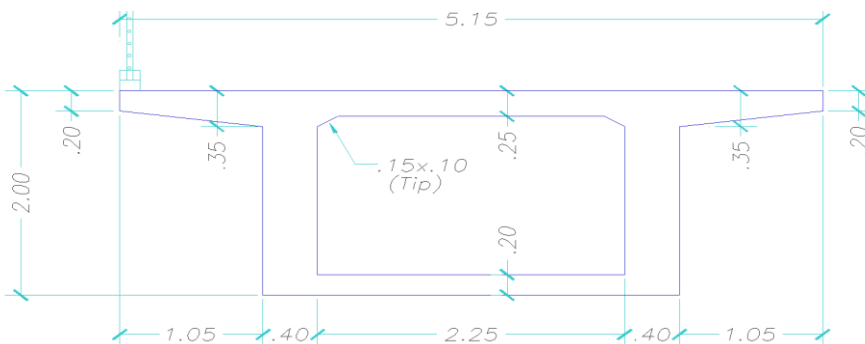


Figura 9: Viga 2,00m Peralte, tramos de 17m

Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

## 2.2 Puentes sobre el río Rímac y la Vía de Evitamiento

Los puentes uno sobre el río Rímac y sobre la vía de Evitamiento Estos tienen un alineamiento aproximado de norte a sur y se emplazan entre las progresivas KM 23+686.568 - KM 23+926.568 y KM 23+243.693 - KM 23+517.693 respectivamente; el cual sigue la configuración geométrica desarrollada para todo el viaducto. La solución estructural planteada para estos 2 tramos corresponde a dos puentes tipo ménsula (Cantiléver) de volados sucesivos. El puente sobre el río Rímac está conformado por tres vanos de 65m, 110 m y 65 m; el puente sobre la vía de evitamiento 75m, 124m y 75m. Esta solución permite desarrollar un proceso constructivo que evita el uso de falso puente durante la ejecución del tablero de ambos puentes, permitiendo la construcción de este en cualquier mes del año, incluso en épocas de crecidas del caudal en el caso del puente sobre el río Rímac y sin parar el flujo vehicular sobre la vía de evitamiento, para el caso del puente del mismo nombre. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

Los puentes en ambos casos se han sido diseñado como una superestructura de viga continua de concreto, tipo cajón vaciado en sitio, que será post-tensada en voladizo balanceado desde los dos pilares centrales. Cada puente contiene un

total de cuatro pilares, siendo las dos pilas centrales monolíticas con la superestructura (empotrados), y los dos apoyos extremos restantes soportan la viga cajón en apoyos deslizantes. En los pilares extremos se colocarán juntas de expansión, estas juntas también constituyen los límites del puente ménsula. La cimentación de cada puente está constituida por zapatas apoyadas sobre pilotes excavados de concreto reforzado vaciado “in situ” de 1.50m de diámetro; en el caso del puente sobre el río Rímac tiene 9 pilotes en cada uno de los pilares centrales y 4 pilotes en cada uno de los pilares extremos. En el caso del puente sobre la vía de evitamiento tiene 9 y 11 pilotes en cada uno de los pilares centrales y 4 pilotes en cada uno de los pilares extremos; los cuales permiten transmitir la carga a estratos más profundos del suelo y por debajo de los niveles de socavación del cauce del río.

Por otro lado, debido a que las estructuras de los puentes se ubican en las cercanías del cauce del río Rímac, se plantea un conjunto de obras complementarias, con la finalidad de proteger las márgenes del río y de esta forma asegurar la estabilidad de las estructuras; estas obras complementarias son:

- Nuevo Muro de Contención en margen izquierda del río, paralelo al eje del viaducto y que cumple la función de aislar al viaducto y al puente del cauce del río.
- Terraplén de Estabilización en margen derecha del río.
- Muro de Gaviones en la margen derecha del río a la altura del puente existente Huáscar.
- Enrocado de Protección de ambos pilares centrales del puente
- Reforzamiento de muros existente en la margen derecha, además de la construcción de muro de construcción nuevo.
- Limpieza del cauce (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

Modulación:

Los puentes Rímac y Evitamiento propuesto son tipo ménsula con longitudes totales de 240 m y 274 m respectivamente, dejando libre todo el cauce del río y la avenida evitamiento. La superestructura tiene 8,64 m de ancho en el puente Rímac y 8.60 en el puente evitamiento, que permiten desarrollar las dos líneas de riel para soportar la circulación del tren en ambas direcciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

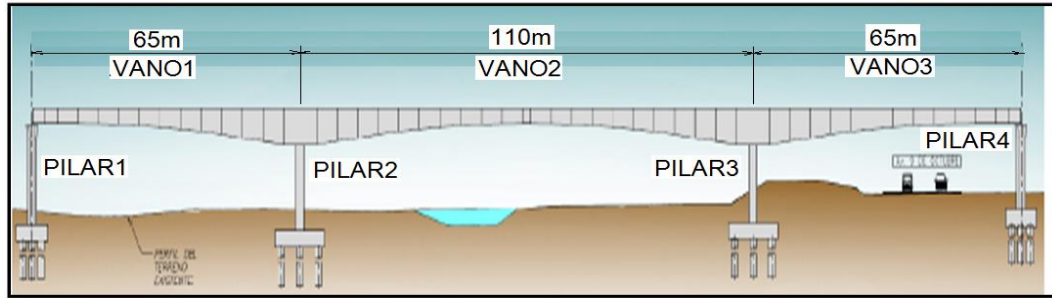


Figura 10: Puente sobre el río Rímac  
 Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

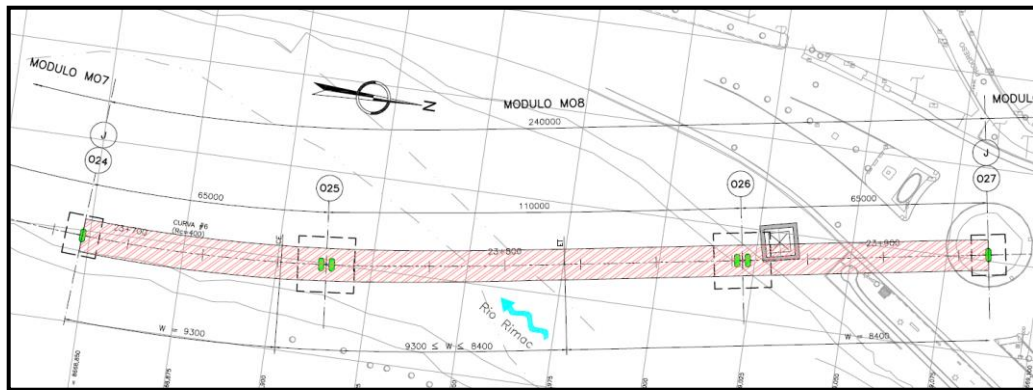


Figura 11: Planta Módulo MO8 (Puente sobre el Río Rímac)  
 Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

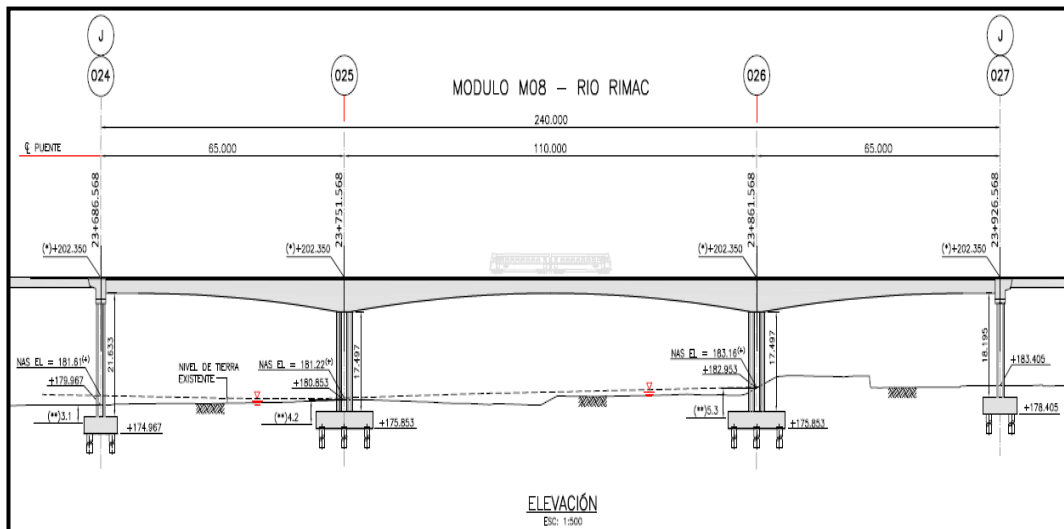


Figura 12: Elevación Módulo MO8 (Puente sobre el Río Rímac)  
 Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

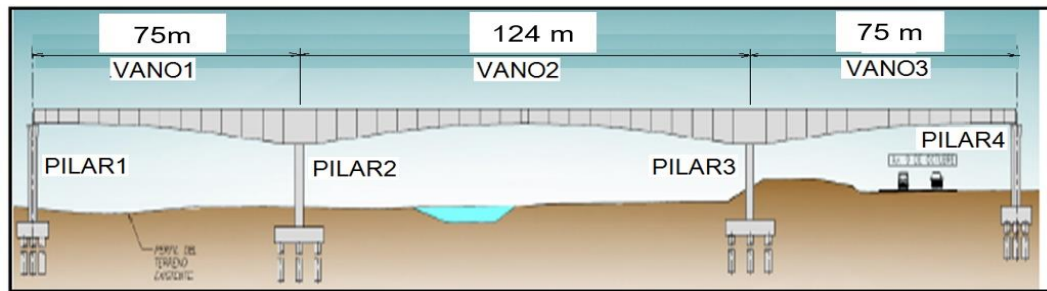


Figura 13: Punteo sobre vía de Evitamiento  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

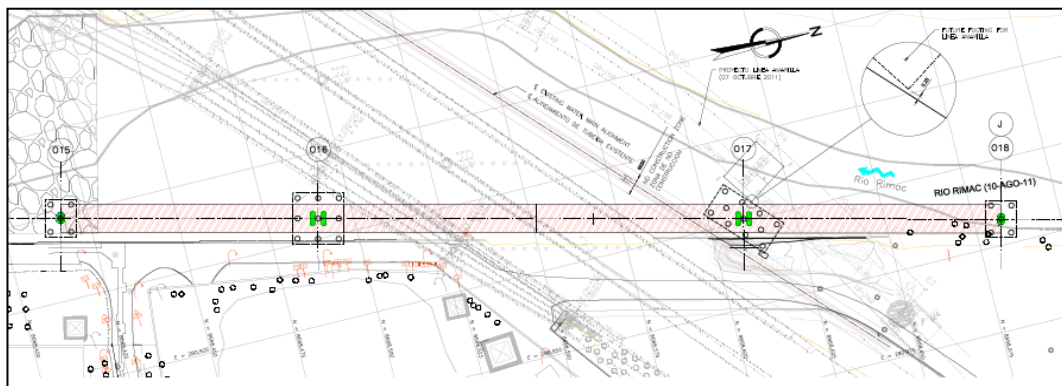


Figura 14: Planta Módulo MO5 (Punteo Evitamiento)  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

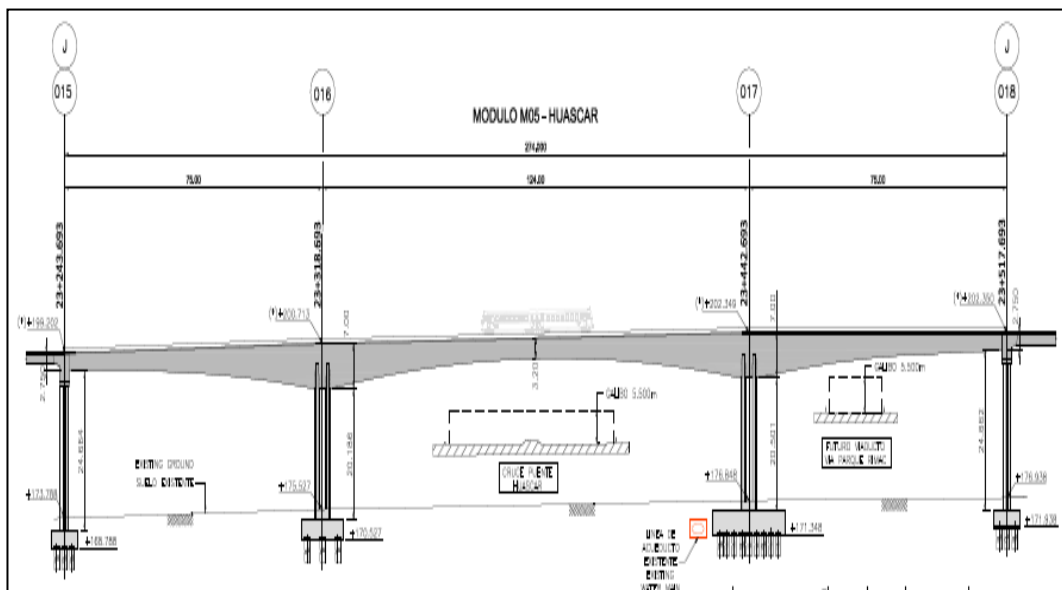


Figura 15: Elevación Módulo MO5 (Punteo Evitamiento)  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

### 2.2.1 Procedimiento Constructivo.

Sugiere un método de construcción por volados sucesivos compensados, el cual consiste en construir el cajón del tablero del puente mediante dovelas o segmentos sucesivos, donde cada dovela e concreto se ejecuta en sitio mediante encofrado



deslizante y soporta el peso del siguiente segmento y el peso del encofrado, por este método constructivo se le conoce también como Puente Cantiléver. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

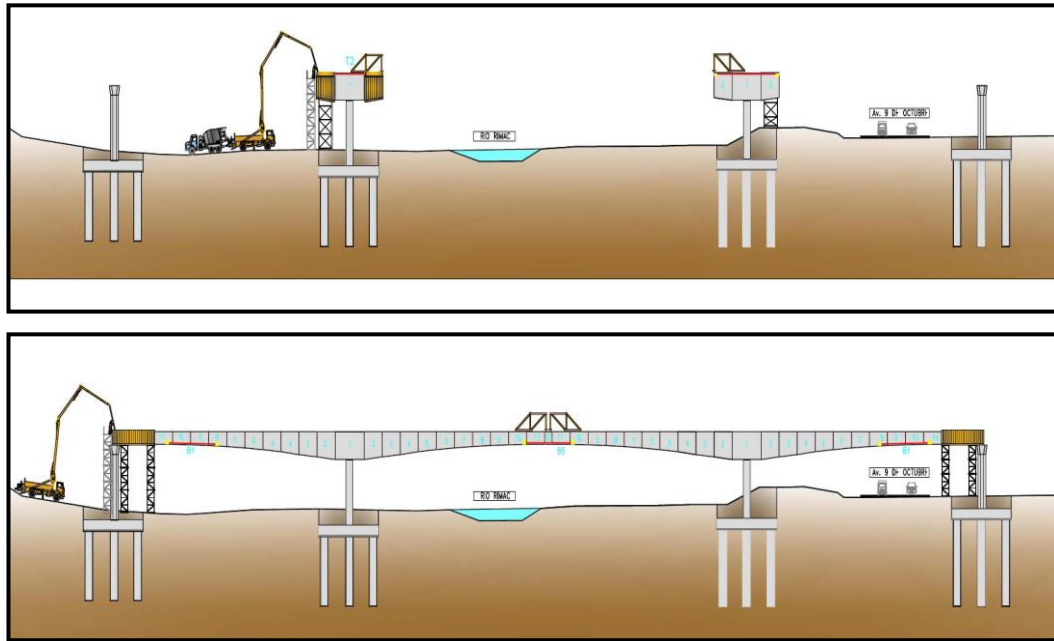
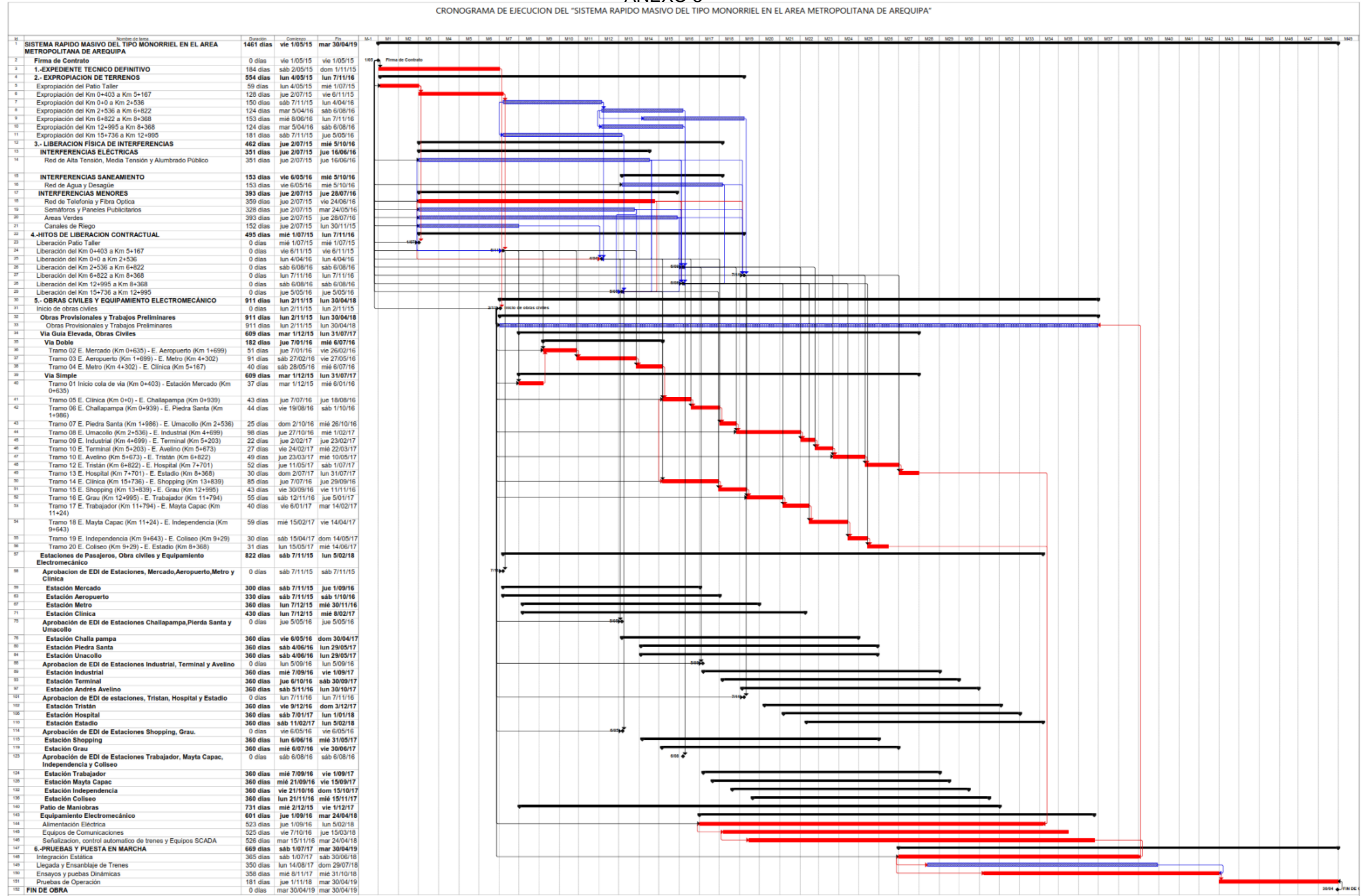


Figura 16: Procedimiento Constructivo, Puente Segmental  
Fuente: Expediente técnico Línea 1 – Tramo 2

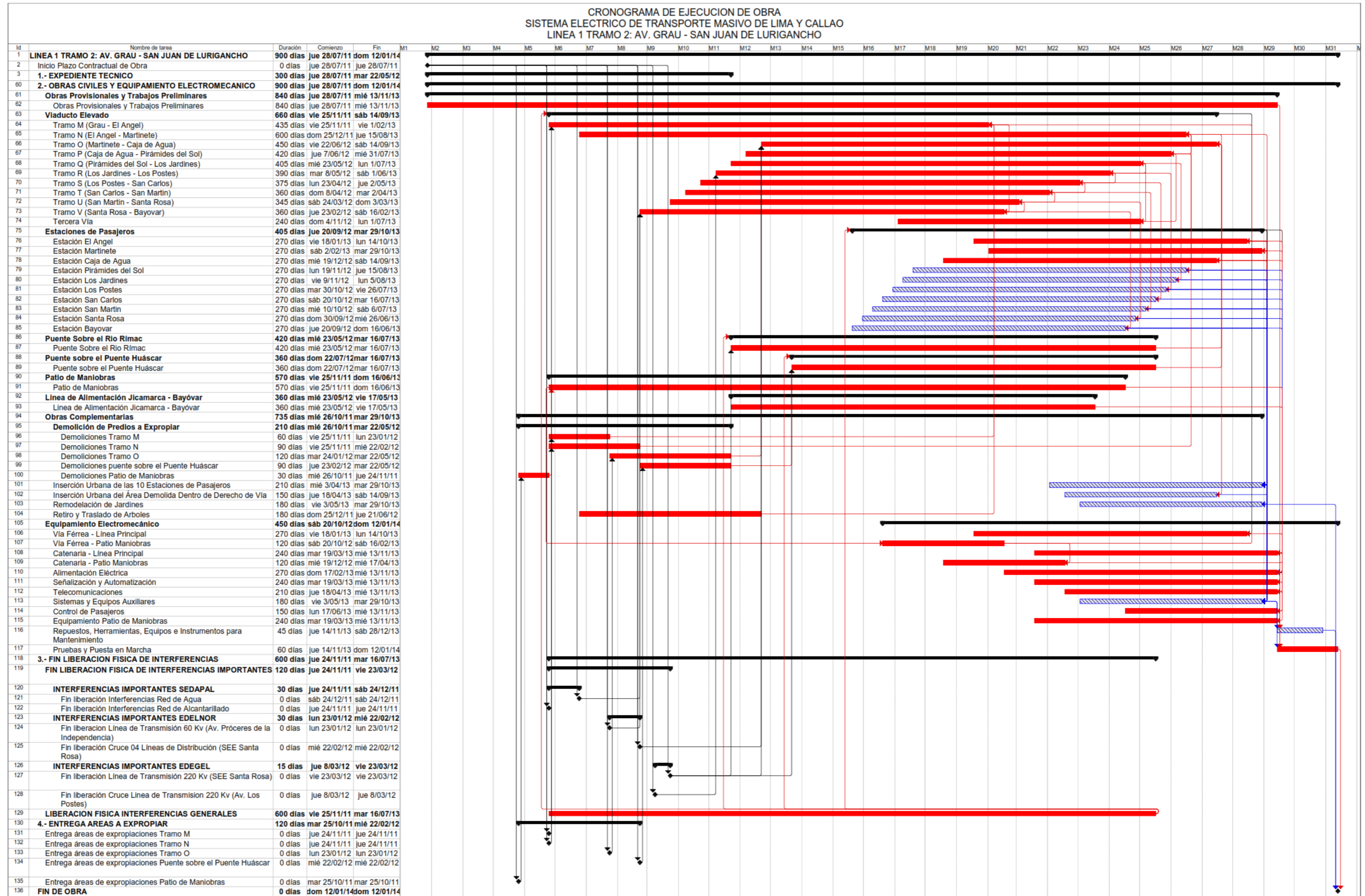
En el caso del puente Rímac cada voladizo es aproximadamente de 5.0m de largo; por lo tanto, y el puente sobre la vía de Evitamiento es aproximadamente de 4.72 m hay. En general el proceso de construcción escogido elimina el uso de apuntalamiento temporal en las luces principales de ambos puentes. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

ANEXO 3

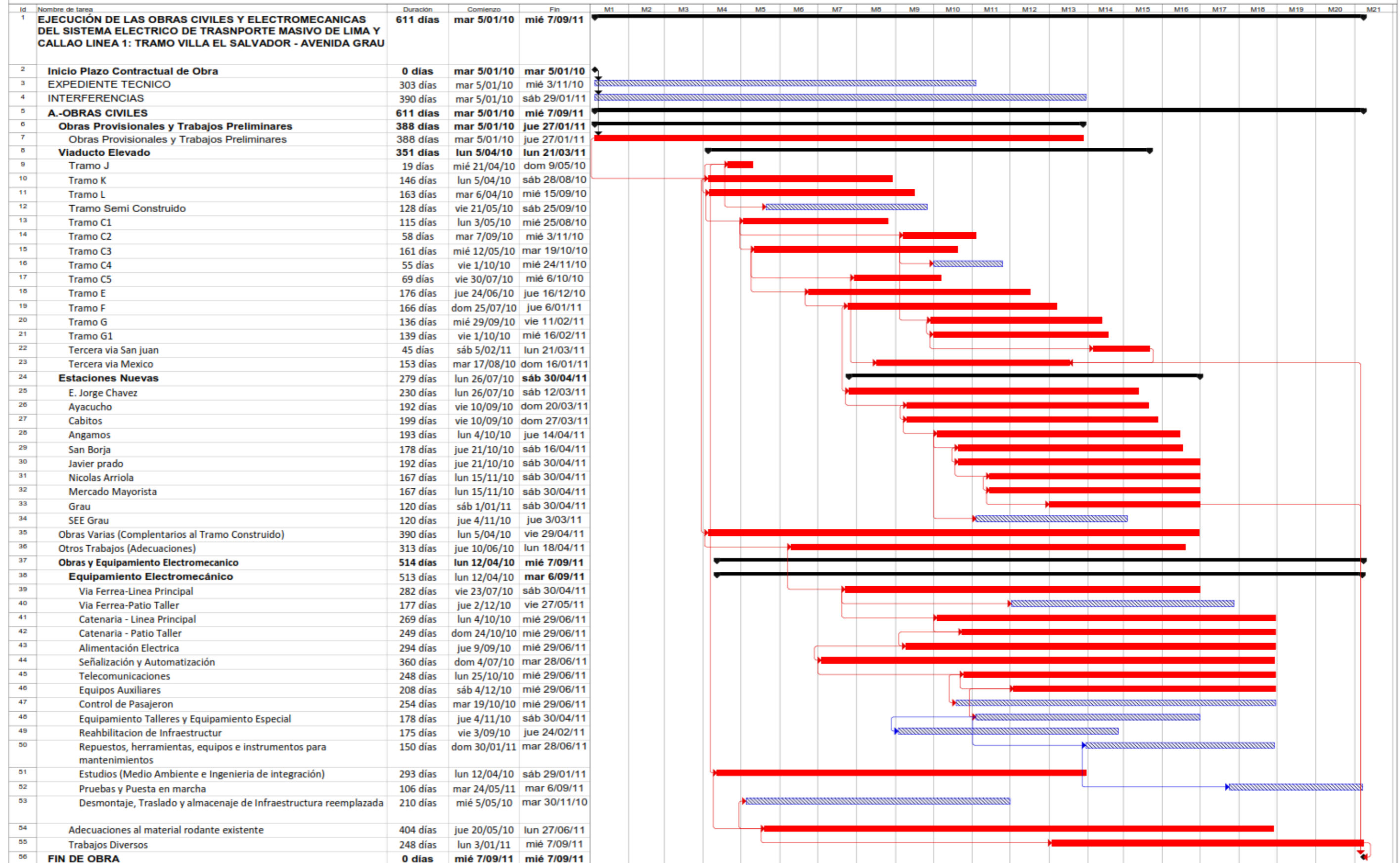
CRONOGRAMA DE EJECUCION DEL "SISTEMA RAPIDO MASIVO DEL TIPO MONORRIEL EN EL AREA METROPOLITANA DE AREQUIPA"







**CRONOGRAMA DE EJECUCION DE OBRA**  
Ejecución de la Obras Civiles y Electromecánicas del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao Línea 1: Tramo Villa el Salvador - Avenida Grau





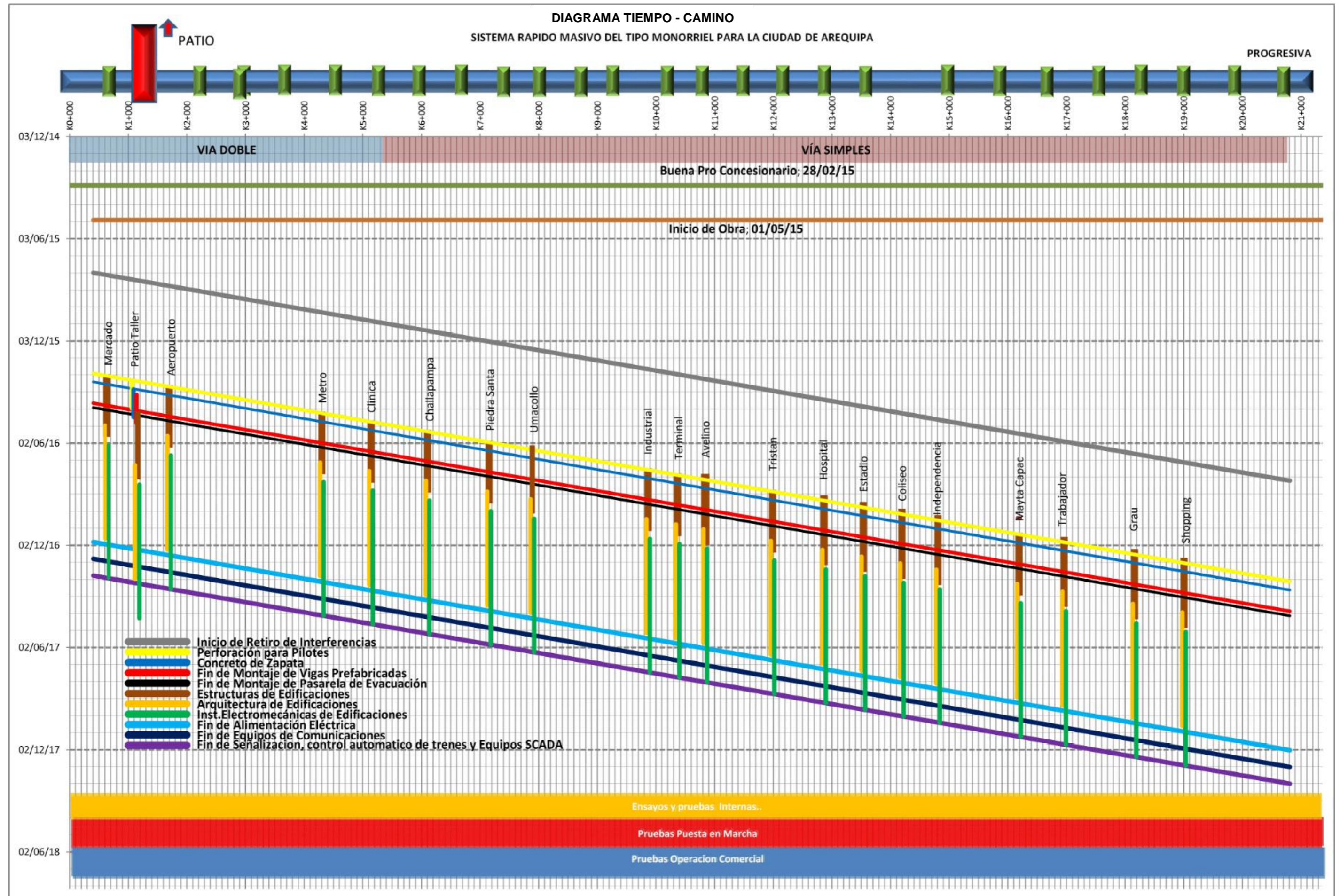
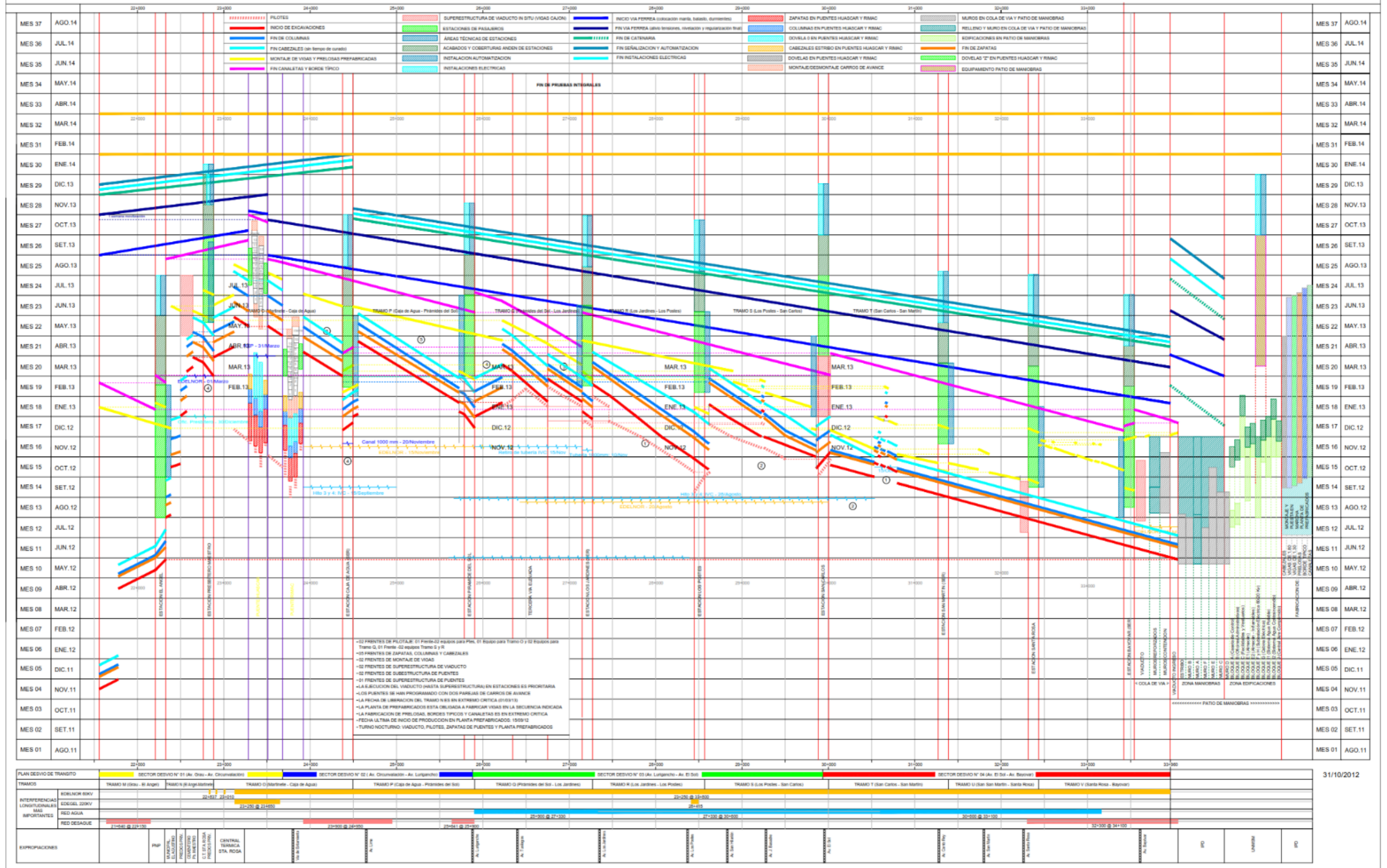




DIAGRAMA TIEMPO - CAMINO  
CONSTRUCCIÓN LINEA 1 TRAMO 2 AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO Rev. 25







## ANEXO 4

### ASPECTOS AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO

#### 4.1 ETAPA DE PLANEAMIENTO

Esta etapa se basa en el desarrollo de un sistema de gestión ambiental abocado a identificar oportunamente los posibles impactos ambientales que se generan por las diferentes actividades en la etapa de construcción y operación con la finalidad de realizar una gestión de medidas de prevención y/o mitigación ambiental.

Se toma como experiencia el impacto ambiental que generó la construcción de la Línea 1 del Metro de Lima, el cual en la etapa de construcción fue considerable, que está relacionado a las expropiaciones de terreno, el retiro de árboles y plantas, polvo, ruido, tráfico vehicular, accidentes de tránsito y aumento del stress de las personas. Para contrarrestar estos impactos negativos, en la etapa de planeamiento se desarrolló sistema de gestión socio-ambiental para hacerle frente; mientras que en la etapa de operación (en la actualidad), observamos que el impacto ambiental en esta etapa es bajo, y está relacionado con el consumo de energía, en impacto visual, la generación de ruido y vibraciones motivo por el cual se planteó un monitoreo, seguimiento y control para minimizar los efectos que se puedan dar. (Deuman, 2014)

Para el caso del Monorriel de Arequipa, en una probable construcción, este sistema al tener un diseño de infraestructura similar a la Línea 1 del metro de Lima, su procedimiento constructivo y desarrollo operacional son similares, por ende, también el impacto ambiental será considerable en la etapa constructiva y baja en la etapa operacional.

Para realizar la identificación de impactos potenciales se tiene cuenta la información de la línea base ambiental y la descripción del sistema seguidamente se procede a identificar las principales actividades del sistema y sus características (ubicación, extensión, etc.), que podrían causar algún impacto sobre uno o varios de los componentes ambientales. El Cuadro N°4.1 muestra los componentes ambientales.

Cuadro N°4.1 Componentes socio ambientales

Componentes Ambientales y sociales	
Físico	Aire
	Ruido y vibraciones
	Suelo
	Agua
Biológico	Flora

Componentes Ambientales y sociales	
	Fauna
Social	Empleo / Ingreso económico
	Salud y bienestar
	Comercio
Cultural	Restos Arqueológicos y monumentos históricos

Fuente: Sistema Rápido Masivo del Monorriel de Arequipa, Pro inversión

#### 4.1.1 Estudios Realizados

La Línea 1 del metro de Lima cumple con las normativas nacionales pertinentes en materia de evaluación del impacto ambiental, estas normas también serían aplicables a una posible construcción del monorriel.

A continuación, presentamos cuatro estudios de impacto ambiental, que fueron aprobados por la Dirección General de Gestión Socio ambiental (DGASA) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC):

1. El documento "Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima -Callao, Línea 1, Villa El Salvador-Avenida Punto Grau", aprobado por la Resolución Directoral N ° 157-2009-MTC / 16 de noviembre 18, 2009.
2. El documento "Estudio de Impacto Ambiental semi-detallado del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, Línea 1, Tramo 2: Avenida Grau - San Juan de Lurigancho", aprobado por la Resolución Directoral N ° 202-2010-MTC / 16 de fecha 23 de diciembre de 2010.
3. El documento "Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, de la Línea 1, Tramo 2, Avenida Grau - San Juan de Lurigancho", aprobado por la Resolución Directoral N ° 162-2012 -MTC / 16 del 25 de mayo de 2012.
4. El documento "Estudio de Impacto Ambiental a Nivel Semidetallado – Estudio Complejo del Componente Eléctrico del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, Línea 1, Tramo 2: Grau - San Juan de Lurigancho ", aprobado por la Resolución Directoral N ° 165-2012-MTC / 16, de 29 de mayo de 2012.

Además, varios permisos sectoriales se han otorgado para la operación comercial del proyecto, entre los que hay:

- Contrato de Concesión de la Línea 1 del Metro de Lima, Perú,
- Plan de contingencia aprobado por la DGASA del MTC
- Plan de seguridad y operaciones aprobado por "Dirección general de Caminos y Ferrocarriles - DGCF" del MTC

- “Certificado de Habilitación Ferroviaria para El material Rodante Adquirido y Licencias para Conducir Vehículos Ferroviarios” emitido por DGCF del MTC
- “Certificado de Inspección Técnica de Seguridad en Defensa Civil”, emitido por el INDECI
- Acta de conformidad de la puesta de Operación Comercial emitido por OSITRAN. (Deuman, 2014)

Para el caso del sistema tipo Monorriel, en una posible construcción de obra, también se tendría que ejecutar el estudio de Impacto ambiental. Este estudio de impacto ambiental, debe contener un plan de gestión ambiental aprobado, y dentro de cada plan debe contar con programas específicos con la finalidad obtener un transporte responsable y con prácticas ambientalmente amigables.

#### 4.1.2 Condiciones Antes de la iniciación del proyecto

##### 4.1.2.1 El Tráfico vehicular.

La ciudad de Lima concentra casi el 30 % de la población del Perú (más de 8 millones habitantes), es el mayor centro industrial, comercial, financiero, político, intelectual y cultural del país y aporta el 60 % del PBI.

Uno de los problemas más alarmantes para la ciudad de Lima es su sistema de transporte público, pues los niveles de tráfico son elevados en las áreas de influencia directa de toda la red básica del metro (Actualmente solo la Línea 1, está construida), incluso la demanda en horas punta supera la capacidad de las vías generando congestión y caos para transeúntes y vehículos. Para una mayor información, los datos cuantitativos pueden ser obtenidos del capítulo 3 del Estudio de Factibilidad de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú. A continuación, se menciona el estado actual del sistema de transporte público de Lima, aun teniendo el servicio de la Línea 1.

- Existe un exceso de rutas de transporte público, diseminadas en extensos y sinuosos recorridos (ver cuadro N°4.2)
- En las vías principales más del 50% de los autos que circulan son taxis formales e informales.
- Las condiciones en que viajan los usuarios es deplorable, peligrosa y con las mínimas condiciones de confort

Cuadro N°4.2 Número de rutas en Lima

Número de rutas y empresas de transporte público en Lima metropolitana		
Ubicación	Número de rutas	Flota
Lima	429	25 500

Callao	180	8500
Total	609	34000

Fuente: Gerencia de transporte Urbano, Municipalidad de Lima - 2010

Para aliviar el congestionamiento vehicular de Lima se hicieron muchos estudios y como obras, de los cuales se ejecutó el sistema BRT, conocido como el Metropolitano de Lima, pero la situación sigue siendo similar y es la continuación de los modos tradicionales de transporte, incluyendo autobús grade, autobús mediano, pequeño autobús, taxis y coches para el desplazamiento de los pasajeros desde su origen a otra estación de destino. La fuente de energía principal usado por estos tipos de modos de transporte es diésel y gasolina. En consecuencia, el proyecto no se ha aplicado para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero con la intención de reducir, eliminar o destruir las emisiones después. (Deuman, 2014)

En la ciudad de Arequipa, también el transporte público es el problema más agudo que se les presenta, está caracterizado por su informalidad, ineficiencia y baja calidad de su servicio. Perciben el servicio de transporte, como inseguro, con una alta tasa de accidentalidad, generador de contaminación ambiental, causante de congestión vehicular y de baja calidad en el servicio. Es por tal motivo que se vienen desplegando esfuerzos en la solución de los problemas del transporte, tránsito y vialidad. Muchos de sus estudios, planes y proyectos han estado orientados a este propósito, en donde se enfatizan propuestas integrales y de fuerte incidencia para el mejoramiento del tránsito, la reducción de la contaminación del aire y mejoras en las condiciones del transporte no motorizado y peatonal.

#### 4.1.2.2 Calidad de aire

La calidad de aire en las ciudades de Lima y Arequipa está empeorando debido al efecto combinado de las condiciones climáticas y topográficas inherentes a la ciudad y a las emisiones vehiculares generadas por los grandes flujos de tráfico existentes. Estas ciudades figuran entre las más contaminadas del país, requiriendo urgentemente de programas de gestión ambiental comprensivos para mejorar la calidad del aire, basados en los siguientes decretos supremos.

- D.S. N° 074-2001-PCM Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.
- D.S. N° 003-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

A continuación, se muestra, los estándares de calidad ambiental según la normativa vigente, (ver el cuadro n°4.3), Además se resalta Las PM10 que son

aquellas partículas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento ó polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín).

Cuadro N°4.3 Estándares de calidad ambiental

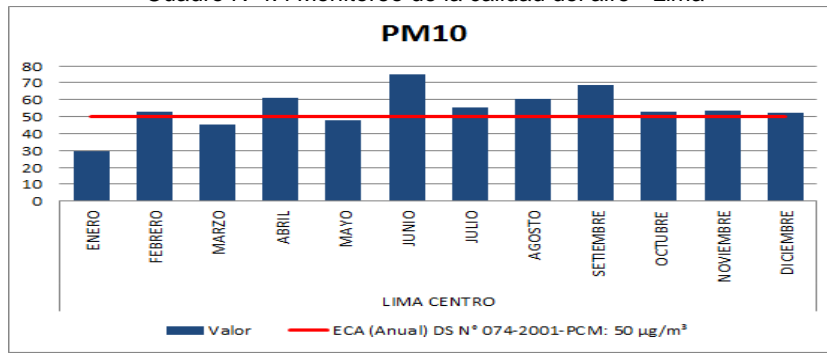
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AIRE				
DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM				
PARÁMETROS	PERÍODO	VALOR [µg/m <sup>3</sup> ]	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS [1]
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2.5</sub> )	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total(Hg) [2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O <sub>3</sub> )	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM <sub>10</sub>	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM <sub>10</sub> (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.  
[1] o método equivalente aprobado.  
[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: Dirección general de salud e inocuidad (Digesa)

Los niveles de contaminación que se presentan a nivel nacional son alarmantes, según el ministerio del ambiente, más del 70% de los niveles de contaminación son producidos por el parque automotor. A continuación, el cuadro n°4.4, muestra el resultado del monitoreo de la calidad del aire en el centro histórico de Lima, cuyos resultados mensuales son mayores al promedio anual indicado en el D.S. N° 003-2017-MINAM (ver cuadro 6.3).

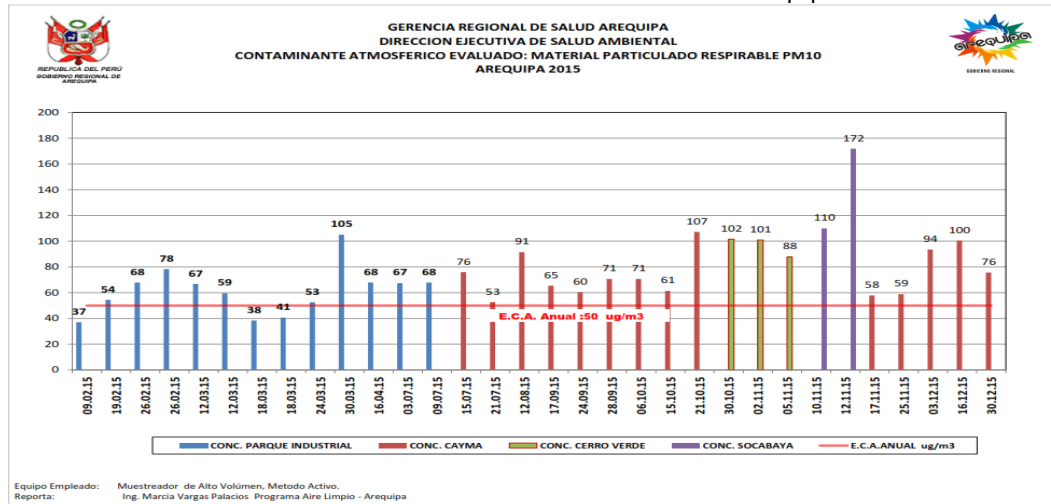
Cuadro N°4.4 Monitoreo de la calidad del aire - Lima



Fuente: Dirección general de salud e inocuidad (Digesa) - Lima

También se muestra el Cuadro N°4.5, con el monitoreo de la calidad del aire en el centro en la ciudad de Arequipa, cuyos resultados son mayores al promedio anual indicado en el D.S. N° 003-2017-MINAM (ver cuadro 6.3).

Cuadro N°4.5 Monitoreo de la calidad del aire - Arequipa



Fuente: Dirección general de salud e inocuidad (Digesa) – Arquipa

#### 4.1.3 Estrategias de manejo ambiental

En esta sección indica las principales estrategias de manejo ambiental, que se desarrollan en la etapa de planeamiento, estas fueron aplicadas para la ejecución de obra de la Línea 1 del metro de Lima, y deben ser aplicadas en una probable construcción del monorriel en la Ciudad de Arequipa. (Etapa de construcción)

##### 4.1.3.1 Reubicación

Para disminuir el impacto de este aspecto es necesario un programa de reubicación y compensación de la población. Donde se acata la salvaguarda social de CAF, que instruye el mantener y mejorar las condiciones de calidad de vida de redes sociales, de ingreso económico y actividades productivas previas a la relocalización y de acuerdo con marco jurídico vigente, y hacerlo en forma coordinada y participativa con la población.



#### 4.1.3.2 Remodelación de jardines

Los sistemas como el Monorriel de Arequipa y la línea 1 del metro de Lima, tienen su trazo de vía por el centro de las avenidas, provocando en algunas avenidas el retiro de árboles y plantas.

El objetivo es recuperar las áreas verdes ubicadas dentro del proyecto y reubicarlos en una zona de influencia directa, considerando la buena composición y armonía de los elementos paisajistas de los jardines con las estructuras civiles ubicadas en el área, logrando así la adecuación al entorno y la preservación del medio ambiente.

#### 4.1.3.3 Retiro y traslado de Árboles

Dentro del Estudio de Impacto Ambiental se debe plantear un programa para identificación del Individuo como toda especie vegetal de tipo arbóreo, arbustivo o palmera que se verá afectada en el desarrollo de la obra, tendrá que ser retirado, traslado y posteriormente reubicado, cumpliendo las condiciones necesarias para resistir al stress del traslado y así evitar la tala de individuos.

#### 4.1.3.4 Plan de desvío

En toda ejecución de obra que afecte el tránsito vehicular, previamente se debe realizar el “Plan de Desvío de Tránsito Vehicular”, el cual debe comprender los siguientes principios fundamentales:

- La seguridad de los usuarios en áreas de control temporal del tránsito como un elemento integral y de alta prioridad de todo proyecto.
- La circulación vial deberá ser restringida u obstruida lo menos posible.
- Los conductores y los peatones deben ser guiados de manera clara mediante dispositivos en la aproximación y en el cruce en zona de obras.
- Garantizar niveles de operación aceptables, lo que conlleva en un futuro a implementar el Plan de Desvío y realizar inspecciones rutinarias de los elementos de regulación del tránsito.
- Difusión y divulgación de los trabajos temporales por desarrollar, con el propósito de que se tenga un buen conocimiento de ellos por parte de los usuarios de las vías y los habitantes de la zona. (Deuman, 2014)

#### 4.1.3.5 Plan de señalización

Conforme al tipo de desvío se deben definir las cantidades de dispositivos de control de tránsito vehicular a utilizarse en las vías afectadas, como señales verticales, parantes perimétricos, cercos elaborados con mallas de seguridad color naranja de 1m de altura, cintas de seguridad color amarilla, conos de seguridad de 0.70m, cilindros de PVC y otros dispositivos de acuerdo al Manual de

Dispositivos de Control de Tránsito R.M. 210-2000-MTC. La implementación del Plan de Señalización se debe realizar durante la ejecución de obras, determinando las cantidades de señales para el Plan de Desvío y a lo largo de las alternativas de desvíos.

- **Posición de las Señales:** Las señales serán ubicadas en un lugar que permita la mayor efectividad y claridad del mensaje que se desea transmitir, teniendo en cuenta las características individuales de cada vía; permitiendo así que el conductor reciba el mensaje oportunamente y con la debida anticipación.
- **Señales Preventivas:** son aquellas que se utilizan para indicar con anticipación la aproximación de ciertas condiciones de la vía que implican un peligro potencial y naturaleza de éste, motivada por la ejecución de la obra; así como, proteger a peatones, trabadores y equipos de posibles accidentes.
- **Señal Restrictiva o Reglamentarias:** Se emplean para indicar a los conductores ciertas restricciones y prohibiciones que regulan el uso de las vías por donde se ejecutan las obras.
- **Señales Informativas:** Tiene por objeto guiar a los conductores en forma ordenada y segura, de acuerdo con los cambios temporales necesarios como producto de la ejecución de las obras.
- **Señales de Seguridad:** como de Caída de objetos, riesgo de derrumbe, Peligro de caídas, señales de prohibición como Prohibido ingreso de peatones. (Deuman, 2014)

#### 4.1.3.6 *Canalizadores o Dispositivos Auxiliares*

Tendrán por objeto encausar el tránsito de vehículos y peatones a lo largo de la obra, para indicar cierres, estrechamientos y cambios de dirección de la ruta con motivo de la obra. Se clasifican en:

- **Barreras o Tranqueras:** Móviles y Portables
- **Dispositivos Luminoso:** Lámparas, Linternas y Lámpara de destellos
- **Cintas de Seguridad:** 500 m cada rollo, contiene impreso "PELIGRO HOMBRES TRABAJANDO".
- **Mallas de Seguridad:** 50 m. cada rollo de 1m de altura, para mayor visibilidad
- **Conos, Cilindros de PVC Y Parantes Perimétricos.**

- Señales Manuales: Las señales manuales son banderas y lámparas operadas manualmente que sirven para controlar el tránsito de vehículos y peatones en las zonas a lo largo de la obra.
- Barrera de Tránsito – Barreras para Peatones: para cercar o delimitar el espacio de trabajo. (Deuman, 2014)

## 4.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de las obras civiles y electromecánicas de la Línea 1 del Metro de Lima, se realizaron diferentes actividades, tales como excavaciones, rellenos, construcción de zapatas, columnas, vigas cabezal, montaje de vigas prefabricadas, etc. Estas actividades generaron diferentes impactos positivos y negativos, y que, en una futura construcción del Sistema de transporte tipo Monorriel, ya sea para la ciudad de Arequipa o como está previsto construir un monorriel para la Lina 6 del Metro de Lima, se producirán los mismos tipos de impactos ambientales, no necesariamente de con la misma intensidad, pues se determinará por el estudio de impacto ambiental. Podemos entonces deducir que las actividades para el monorriel y la Línea 1, son similares y por lo tanto las también medidas de mitigación, además para describir el caso del monorriel, como una manera didáctica usaremos imágenes de la obra del monorriel de la ciudad de Sao Paulo en Brasil, ya que el diseño entre el Monorriel propuesto para la ciudad de Arequipa es similar al construido en la ciudad de Sao Paulo.

A continuación, indicamos los siguientes impactos ambientales que se producen en la construcción de los dos tipos de sistemas de transporte mencionados anteriormente.

### 4.2.1 Impactos Ambientales Positivos

#### *6.2.1.1 Mejora económica por la generación de puestos de trabajo*

Las actividades de construcción del viaducto y las estaciones, generan más puestos de trabajo y que son cubiertos en cierta parte por la población local principalmente aquellos relacionados a la mano de obras no calificada.

### 4.2.2 Impactos Ambientales Negativos

#### *4.2.2.1 Contaminación atmosférica*

En la etapa de construcción, se altera la calidad del aire debido a la movilización de maquinarias, vehículos y equipos, carga y descarga de material agregado y excedente, procesos constructivos como movimiento de tierras y excavaciones; lo que genera el exceso de polvo en la zona de construcción. Así también, el

aumento de los niveles de ruido y vibraciones debidos a la congestión del tráfico y a la movilización de maquinaria y equipo durante la ejecución de obras civiles. Identificadas las causas que provocan la contaminación del aire es necesario y desarrollar programas para controlar el exceso del polvo e intensidad del ruido en las zonas de trabajo:

- Programa de Monitoreo Ambiental: Medidas de monitoreo de la calidad del aire, monitoreo del nivel de ruido, monitoreo del suelo e impactos en el monitoreo de flora y fauna
- Subprograma de control de emisiones atmosféricas y de ruido: Medidas diseñadas para controlar los contaminantes atmosféricos, el ruido y los niveles de vibración. (Deuman, 2014).

La figura n° 4.1 muestra como las obras a consecuencia de sus diferentes actividades alteran la calidad del aire debido a las diversas actividades que se realizan.

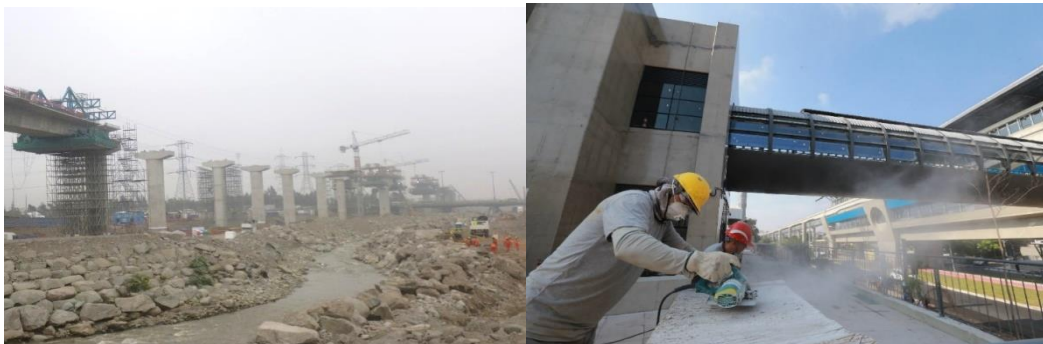


Figura N° 4.1 Partículas de polvo

Fuente: Obras de la Línea 1 del Metro de Lima y Monorriel de Sao Paulo

#### 4.2.2.2 Contaminación del suelo

Existe la alta probabilidad de contaminación del suelo debido a la eliminación inadecuada de residuos sólidos o derrames involuntarios de combustible y aceites de las maquinas o equipos durante las obras de construcción, remoción de la cobertura vegetal y la avifauna. Ante esto es necesario desarrollar programas y subprogramas para reducción de la contaminación del suelo, son los siguientes:

- Programa de cierre de instalaciones auxiliares: Procedimientos para el desmantelamiento de instalaciones auxiliares, remoción y eliminación de los residuos del cauce de los ríos y medidas para la remediación del suelo, entre otros.
- Subprograma de Protección de Espacios Verdes: Medidas de conservación de espacios verdes, procedimientos de reubicación de

árboles y medidas orgánicas de conservación de suelos, entre otros.  
(Deuman, 2014).

La figura n° 4.2, muestra a las grúas para el montaje de las vigas en ambos proyectos, para la recarga del combustible de estos equipos, es necesario una cisterna de combustible, y la actividad de recarga, se debe realizar con los procedimientos necesarios y medidas de seguridad y así evitar contaminación de los suelos a causa de derrames de combustibles



Figura N° 4.2 Maquinaria y Equipos en Obra

Fuente: Obras de la Línea 1 del Metro de Lima y Monorriel de Sao Paulo

#### 4.2.2.3 Contaminación de aguas superficiales

Impactos en las aguas superficiales debido a trabajos de movimiento de tierras, eliminación inadecuada de desechos sólidos o descarga de aguas residuales y la posible alteración de la dinámica fluvial de los ríos debido a la ejecución de obras civiles en el cauce de los ríos, Ante esto es necesario desarrollar programas y subprogramas para reducción de la contaminación de las aguas, son los siguientes:

- Programa de Efluentes sólidos y líquidos.
- Subprograma de manejo de desechos: Para estos es necesario establecer procedimientos internos para el manejo de desechos sólidos y líquidos y vertidos de efluentes (Deuman, 2014).



Figura N° 4.3 Obras en el río Rímac

Fuente: Obras de la Línea 1 del Metro de Lima

La figura n° 4.3, muestra la afectación en las aguas superficiales a causa de las obras de enrocado de protección y la cimentación para los puentes.

#### *4.2.2.4 Alteración paisajística e impacto visual*

La alteración del paisaje es debido a la presencia de maquinaria, vehículos e instalaciones auxiliares durante las obras, y está relacionado al impacto visual en toda el área de influencia directa durante la etapa constructiva, a consecuencia de la ejecución de las actividades de obra, para minimizar estos efectos, es necesario desarrollar el siguiente plan:

- Plan de Gestión Paisajística y Estética: EL objetivo es tomar medidas destinadas a evitar distorsiones innecesarias del paisaje, siguiendo criterios estéticos para minimizar la fragmentación territorial. (Deuman, 2014).

La figura n° 4.4, muestra como la ejecución de las diversas actividades como el cerco perimétrico, las maquinarias, alzaprimados, encofrados y las propias estructuras finales de obra afectan la apreciación del paisaje urbano.



Figura N° 4.4 Alteración visual en construcción

Fuente: Obras de la Línea 1 del Metro de Lima y Monorriel de Sao Paulo

#### *4.2.2.5 Afectación del normal tránsito de vehículos y peatones*

Las obras para la Línea 1 y el monorriel ocupan la parte central de las avenidas, quitando espacio a las vías de trancito y altera la circulación normal de los peatones y vehículos, a consecuencia de esto aumenta el riesgo de atropellos e incremento de accidentes de tránsito, la sensación de inseguridad a causa del incremento de actos delictivo, además de la congestionamiento vehicular por la reducción de vías y este último genera un malestar en la ciudadanía pues produce más horas de viaje, más tiempo soportando el ruido del tráfico, generando en el usuario stress y rechazo a la obra, por último el desvió de transito genera deterioro de las vías alternas a causa del incremento carga de transporte que originalmente circulaba.



La figura n° 4.5, muestra como la ejecución de las obras de la línea 1 y el monorriel quitan el parte de las vías de las avenidas y afectan el libre tránsito del peatón.



Figura N° 4.5 Delimitación de la zona de construcción

Fuente: Obras de la Línea 1 del Metro de Lima y Monorriel de Sao Paulo

#### 4.2.3 Afectación de áreas verdes y ahuyentamiento de aves

Está relacionado directamente con la ejecución de las obras, las áreas verdes afectadas son aquellas que se encuentran en la berma central de las avenidas. La pérdida de áreas verdes, afecta directamente a la avifauna, pues entre los arbustos ubican de sus nidos y/o lugares temporales de descanso.

#### 4.2.4 Disminución económica de los comerciantes

Durante la ejecución de las actividades constructivas de la obra, se producirá una baja del movimiento económico local, disminuirá los ingresos económicos de manera temporal, de los propietarios de los establecimientos comerciales, como consecuencia del cierre de algunas calles por la ejecución de los frentes de trabajo.

#### 4.2.5. Aplicación de las medidas de identificación del EIA

De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental, es necesario aplicar en la etapa de construcción el plan de gestión ambiental, desarrollando los siguientes programas de prevención, mitigación y remediación:

##### 4.2.5.1 Programa de Reubicación

Estableciendo actividades con el objetivo de garantizar instalaciones adecuadas para las familias afectadas. Esta actividad, sujeta al monitoreo, y permite mantener el valor de los activos y mejorar la calidad de vida de la población y vecinos.

La figura n° 4.6, muestra el plano de expropiación con los terrenos que se expropiaron en la zona de Barrios altos, en la actualidad se ubica la estación Presbítero Maestro de la Línea 1 del tramo 2 del metro de Lima.

Las propiedades resaltadas en círculos fueron expropiadas y reubicadas en el condominio Martinete construido en un terreno continuo de propiedad de Cementos Lima, la compra del terreno y la construcción de las viviendas fueron asumidas por la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE).

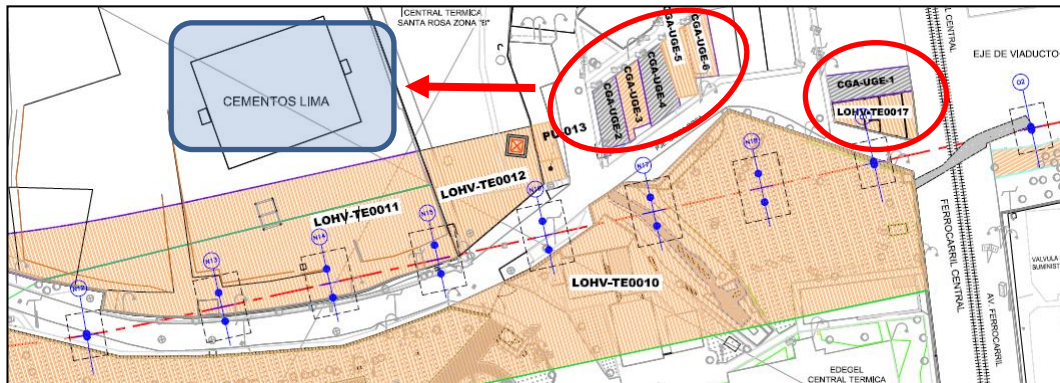


Figura N° 4.6 Plano de expropiación

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC.

#### 4.2.5.2 Programa de seguridad, señalizaciones y desvío Vial

Medidas destinadas a permitir la continuidad del flujo de tráfico durante la fase de construcción del proyecto. La figura n° 4.7, muestra los cilindros de seguridad vial, la señalización peatonal y el anexo 4, muestra el plan de desvío para la ejecución de las obras del tramo 2 de la Línea 1.



Figura N° 4.7 Señalización en Obra

Fuente: Obras de la Línea 1 del Metro de Lima y Monorriel de Sao Paulo

#### 4.2.5.3 Programa de retiro y traslado Arboles

Para el caso de la Línea 1 tramo 2 del metro de Lima, el mantenimiento de áreas verdes. Desde 2011 y hasta marzo de 2014 se realizó la siembra de gras, macizos florales y plantones adicionales a los compromisos establecidos en el EIA (32.500 m<sup>2</sup>), de acuerdo con el procedimiento aprobado. En la obra ha sembrado césped con un área total de 20.987,85 m<sup>2</sup>, además 1.554,80 m<sup>2</sup> de macizos florales y 871 individuos, todo esto en las bermas centrales de las avenidas

Próceres de la Independencia, Grau y Locumba. La figura n° 4.8 muestra la reubicación y mantenimiento de las áreas verdes en la av. Los Postes en San Juan de Lurigancho – Lima.



Figura N° 4.8 Reubicación y mantenimiento de arboles

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC.

#### 4.2.5.4 Programa de Contingencia

Medidas preventivas y mecanismos de acción en accidentes y / o emergencias.

La figura n° 4.9 muestra que el consorcio constructor de la obra tenía un plan de seguridad y salud en obra, el cual estaba basado en lo que indicaba el EIA.



Figura N° 4.9 Seguridad en obra.

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC.

#### 4.2.5.5 Programa de Educación y Capacitación Ambiental

Son las acciones que realizaba el consorcio constructor de acuerdo a lo indicado en el EIA, destinadas a educar, sensibilizar y capacitar al personal del proyecto y los miembros de la comunidad local sobre temas de seguridad y conservación ambiental, como lo muestra la figura n° 4.10.





Figura N° 4.10 Acciones de educación y capacitación ambiental

Fuente: Expediente técnico Línea 1 tramo 2, MTC

#### 4.3 ETAPA DE OPERACIÓN

La ciudad donde vivimos, puede ser definido de la siguiente manera; “El medio ambiente urbano está integrado por componentes: fisicoquímicos, biológicos y sociales que interactúan y ocasionan efectos ya sean directos o indirectos sobre los seres vivos” (Ayála, 2017). Los distintos factores que se modifiquen o introduzcan, generan un impacto en el medio ambiente, en su mayoría lo relacionamos con los recursos naturales, sin embargo, en las ciudades existen otros impactos como son la visual, sonora, Lumínica, etc.

Lo descrito anteriormente nos sirve como una idea para analizar cuáles son los impactos ambientales que se producirá, en la operación de un sistema de transporte tipo un monorriel con vía elevada y también en un metro sobre viaducto elevado.

##### 4.3.1 Impactos Ambientales Positivos

Para el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, para la etapa de operación se produjeron impactos ambientales positivos y los que posiblemente se produzcan en una eventual construcción del Monorriel de Arequipa, los impactos ambientales positivos son los siguientes.

##### 4.3.1.1 Mejora de la economía local.

La realización de estos sistemas de transporte, en la etapa de operación necesitaran personal empleado y técnico calificado para la operación y mantenimiento de los sistemas, generando así nuevos puestos de trabajo, además la actividad comercial aumentaría en las zonas ubicadas alrededor de las estaciones y una valorización del terreno por su carácter comercial.

#### 4.3.1.2 Mejora de la calidad de vida de la población.

La operación de los sistemas de transporte masivo como el monorriel y la línea 1 del metro de Lima, permiten que los distritos se integren, ya que se reduce los tiempos de viaje y facilita el desplazamiento de la población entre distintos distritos, sobre todo en los de influencia directa, así también dotándole a la población de más horas al día y lo inviertan en otras actividades, además afronta el congestionamiento vehicular y disminuye los accidentes vehiculares.

#### 4.3.1.3 Mejora de la Calidad del Aire.

Los sistemas de transporte masivo como el monorriel y la línea 1 del metro de lima, emplean como principal suministro para su operación, la energía eléctrica, y este al ser una energía limpia, no genera emisión de gases de combustión que afecte la calidad del aire de la zona de influencia directa e indirecta. Además, a ser un sistema de transporte masivo, indirectamente reduce las unidades de transporte publico motorizados, por ende, una reducción de los gases de combustión. Según la Autoridad Autónoma del tren eléctrico, la Línea 1 del metro de Lima, se han reducido 32 000 toneladas de emisión de CO<sub>2</sub> en la ciudad de lima por cada año, comparándola con las denominadas taxis y combis, que son los medios de transporte más contaminantes de la ciudad. La figura n° 4.11, muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas, para los diferentes tipos de transporte.

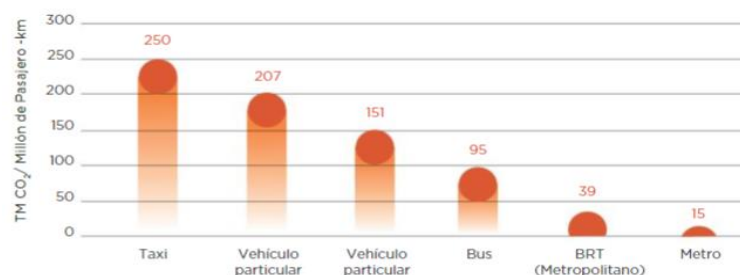


Figura N° 4.11 Emisiones de CO<sub>2</sub> al Año

Fuente: Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE)

#### 4.3.2 Impactos Ambientales Negativos

Los estudios realizados para la etapa de operación para estos dos de sistemas de transporte, indican que, los impactos ambientales negativos son de baja

significación, siendo categorizados principalmente como específicos, de baja intensidad, de magnitud ligera e impactos temporales, reversibles a corto plazo y son los siguientes.

#### 4.3.2.1 Contaminación visual

La contaminación visual “es una expresión que crea un exceso a través de formas, colores, movimientos y todos aquellos elementos que causan un efecto de saturación visual dificultando la lectura del paisaje” (Ayála, 2017). A continuación se muestran las figuras n° 4.12 y la figura n° 4.13, que representan a la Línea 1 del metro de Lima y al Monorriel de Sao Paulo, respectivamente, donde se puede observar que el Monorriel tiene menor contaminación visual y permite apreciar mejor la lectura del paisaje, en comparación con la Línea 1 del metro de Lima. Sin embargo en ambas imágenes se verifica el severo impacto visual que produce la implantación de estos tipos de sistemas de transporte masivo, y para minimizar este impacto se establecen las inserciones urbanas y realizar el mejoramiento o rehabilitación del área circundante a los usos peatonales, con tratamiento de jardines, rampas, veredas, mejor iluminación y todas aquellas actividades y soluciones que mejoren el confort del usuario, y así generar una imagen positiva del área afectada. En la figura n° 4.12 y la figura n° 4.13 podemos observar la generación de áreas verdes, la instalación de elementos de seguridad vial y señalización para los peatones.



Figura N° 4.12 Línea 1 del Metro de Lima

Fuente: Google street view





Figura N° 4.13 Monorriel de Sao Paulo

Fuente: Google street view

#### 4.3.2.2 Contaminación acústica vibraciones y campo electromagnético.

Para el caso de la Línea 1 del metro de Lima, la generación de los ruidos en la etapa de operación, se da con la aparición del denominado “desgaste ondulatorio” que produce, entre otras cosas, un incómodo balanceo del tren y un ruido molesto, sobre todo, en tramos con curva. El “desgaste ondulatorio” del carril es un fenómeno común a todas las líneas ferroviarias del mundo. Pero gracias al balasto que se encuentra en los rieles, ofrece una superficie sólida, pero con una cierta elasticidad que permite absorber las vibraciones. Es por esto, que se puede afirmar que los niveles de ruido y vibraciones si bien es cierto se incrementarán, éstos se darán ligeramente. (ver figura n° 4.14)

Para el caso del Monorriel, la contaminación acústica es prácticamente nula, ya que este sistema a diferencia del tren, utiliza llantas de goma. (ver figura n° 4.14)



Figura N° 4.14 Ruedas de los trenes

Fuente: Concesionario de la Línea 1 del metro de Lima y Obras del monorriel de Sao Paulo

Con respecto al campo electromagnético en trenes eléctricos y el monorriel se puede inferir que la intensidad del campo disminuye drásticamente con la distancia al suelo, de manera que la exposición hacia los pasajeros es casi nula. Por lo tanto, se considera este impacto ambiental negativo como un impacto ligero.

#### 4.3.2.3 Contaminación del suelo

Esto se produciría debido a la eliminación inadecuada de residuos sólidos o derrames involuntarios de combustibles, lubricantes y / o aceites de hidrocarburos durante el mantenimiento de instalaciones y equipos técnicos. Este tipo de impacto ambiental se puede dar básicamente en el patio de maniobras y las estaciones, de acuerdo la frecuencia de mantenimiento este impacto ambiental es de carácter negativo y es de magnitud ligera. (Deuman, 2014)

#### 4.3.3 Medidas de prevención, en la etapa de operación

Para el caso de la Línea 1 del metro de Lima, este se basa en el estudio de impacto ambiental (EIA) para el tramo 1 y el estudio de impacto ambiental semi-detallado (EIASd) para el tramo 2, estos estudios y se podrían aplicar en una futura construcción de un monorriel con vía elevada. Las figuras que mostraran a continuación son las aplicaciones que realiza el operador de la Línea 1 del metro de Lima, de acuerdo a los que indica el EIA y EIASd.

##### 4.3.3.1 Programa de Monitoreo Ambiental

El monitoreo de la calidad del aire, nivel de ruido, vibraciones, radiaciones no ionizantes e impactos en flora y fauna, según el operador, “estos se encuentran dentro de los rangos y estándares establecidos en las normativas ambientales descritas en el plan de manejo socio ambiental” (Linea 1 Metro de Lima, 2015)

##### 4.3.3.2 Programa de medidas preventivas, mitigadores y correctivas

Procedimientos internos para la gestión de residuos sólidos y líquidos, manejo de aguas residuales, procedimientos preventivos y correctivos para la conservación del suelo y mantenimiento de áreas verdes. La figura n° 4.15 muestra como el operado de la línea 1 viene gestionando el manejo de residuos producidos a consecuencia de la operación de metro, así también los residuos peligrosos son gestionados con DIGESA y los no peligrosos con gestionados con las municipalidades. (Linea 1 Metro de Lima, 2015)

Generación de residuos	2013	2014	2015
Total de Residuos sólidos generados (Tn)	97	119.13	188.25
Residuos Peligrosos (Tn)	11	35.44	42.23
Residuos No Peligrosos (Tn)	86	83.69	146.02

Figura N° 4.15 Gestión de residuos  
Fuente: Operador Línea 1 Metro de Lima

#### 4.3.3.4 Programas de Contingencia

Son medidas diseñadas para abordar accidentes, incidentes o emergencias durante el funcionamiento del Proyecto.

- El operador implemento el plan ola verde, cuyo objetivo es gestionar el ingreso de los clientes a las estaciones a fin de reducir los riesgos de seguridad, asegurar la continuidad, gestionar adecuadamente la afluencia de los usuarios. (Línea 1 Metro de Lima, 2015)
- El operador garantiza la seguridad operacional y para esto, brinda una adecuada señalización en las estaciones, comunicación al cliente mediante valores y conductas, implementación de paneles informativos, capacitación, atención y simulacros de los primeros auxilios, como lo muestra la figura n° 4.16

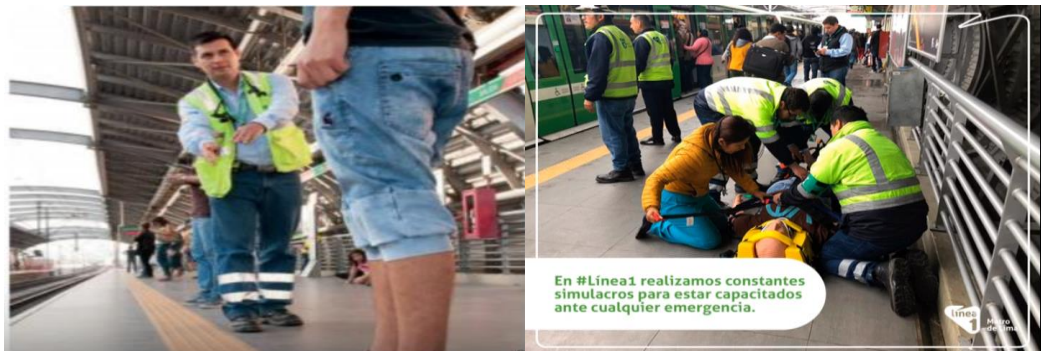


Figura N° 4.16 Simulacros de accidentes

Fuente: Operador Línea 1 Metro de Lima

#### 4.3.3.5 Programas de educación y capacitación ambiental

Acciones destinadas a educar, sensibilizar y capacitar al personal del proyecto y los miembros de la comunidad local sobre cuestiones de seguridad y conservación ambiental. Para el caso de la Línea 1, el operador despliega capacitaciones tanto para los colaboradores y comunidades vecinas y fomenta campañas de cultura y sensibilización, como lo muestra la figura n° 4.17



Figura N° 4.17 Simulacros de accidentes

Fuente: Operador Línea 1 Metro de Lima