

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**DISEÑO DEL PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION EN CADENA DEL
TRAMO "V" DEL VIADUCTO ELEVADO DE LA LINEA 1 TRAMO 2
METRO DE LIMA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ALEJANDRO MARTIN VILCAPOMA LA ROSA

Informe de suficiencia para optar el título profesional de Ingeniero Civil, en el área de Ingeniería Civil, en el área de Ingeniería Civil, en el área de Ingeniería Civil.

Lima- Perú

2014

INDICE

RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE FOTOS	6
INTRODUCCION	7
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	9
1.1. RESEÑA HISTÓRICA DEL TREN ELÉCTRICO	9
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
1.2.1. Ubicación	12
1.2.2. Datos Generales.....	13
1.2.3. Alcance del Proyecto	14
1.2.4. Obras Civiles	15
1.2.5. Obras Electromecánicas	21
CAPÍTULO II: PLANEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN EN CADENA	28
2.1. EL OBJETO DE CONSTRUCCIÓN.....	28
2.1.1 Objeto de Construcción – Por su Distribución en el Espacio	28
2.1.2 Objeto de Construcción – Por su Innovación Tecnológica....	29
2.1.3 Objeto de Construcción – Pos su Especialidad.....	29
2.2. ETAPAS TECNOLÓGICAS.....	31
2.3. CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO	31
2.3.1 Trabajo Productivo	31
2.3.2 Trabajo Contributorio	32
2.3.3 Trabajo No Contributorio o Improductivo.....	32
2.4. TEORÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN CADENA	32
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE PRODUCCIÓN EN CADENA DEL TRAMO V DEL METRO DE LIMA	42
3.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL VIADUCTO.....	42
3.1.1 Excavación de Zapatas	43
3.1.2 Nivelación de fondo de zapata	44
3.1.3 Solado.....	44
3.1.4 Zapatas.....	45
3.1.5 Columnas	46

3.1.6	Relleno y Compactación.....	49
3.1.7	Vigas Cabezales.....	50
3.1.8	Montaje de Vigas Prefabricadas	52
3.1.9	Montaje de Pre-losas	52
3.1.10	Tableros.....	53
3.1.11	Montaje de Bordes típicos.....	53
3.1.12	Canaletas	54
3.2	DESCRIPCION DE LAS RESTRICCIONES	54
3.2.1	Ingeniería	55
3.2.2	Tránsito Vehicular.....	55
3.2.3	Interferencias.....	56
3.2.4	Logística	58
3.3	CANTIDAD DE TRABAJO A EJECUTAR.....	58
3.4	PLANEAMIENTO EN CADENA DEL TRAMO V	65
3.4.1.	Desmembramiento del Proceso de Construcción.....	65
3.4.2.	Construcción del Normal Tecnológico	66
3.4.3.	Construcción de la Programación en Cadena	67
3.4.4.	Ciclograma de la Cadena del Objeto	68
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		69
4.1	CONCLUSIONES	69
4.2	RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA		72
ANEXOS		73
ANEXO 1: PLAN DE DESVIO PARA EL TRAMO V.....		73
ANEXO 2: PLANILLA DE METRADOS DEL VIADUCTO EN TRAMO V		75
ANEXO 3: NORMAL TECNOLÓGICA DE LA SUB Y SUPER ESTRUCTURA.....		77
ANEXO 4: TREN DE ACTIVIDADES DEL TRAMO V.....		78

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia nace a partir de la necesidad de elaborar un correcto Planeamiento y adecuada Programación de un sector del viaducto elevado que conforma el proyecto especial del Metro de Lima, Tramo 2 de la Línea 1, proyecto que fue adjudicado al consorcio Tren Eléctrico conformado por las empresas Odebrecht (Brasil) y Graña y Montero (Perú) en el año 2011.

El informe busca establecer la metodología de trabajo que garantice la entrega del proyecto en el plazo acordado y utilizando la cantidad de recursos mínimos necesarios. Bajo esta premisa el objetivo específico es, elaborar un adecuado método de planificación para el desarrollo del Tramo V del viaducto elevado, sector a analizar; en ese sentido se evalúan los factores que influyen en la ejecución de la obra asimismo se plantea como método de planificación la Teoría de Producción en Cadena de la Construcción o Tren de Actividades.

Para el desarrollo del trabajo se presentan los Antecedentes de la obra, a fin de evaluar el entorno donde se va a realizar el trabajo y conocer cuál es el alcance del proyecto. Entre otras cosas el factor más importante, y por el cual se realiza la Programación en Cadena, es el plazo de ejecución del proyecto. Además se hace una descripción general de la obra.

Por otro lado se presenta el marco teórico del cual se parte para la elaboración del Planeamiento y Programación en Cadena, principalmente la teoría de Producción en Cadena y su aplicación en las obras civiles. El entendimiento de la teoría es fundamental para la correcta elaboración del Planeamiento de la Obra.

Finalmente se desarrolla la teoría planteada, analizando el proceso constructivo del Viaducto, asimismo se analizan las principales restricciones que existen en el proyecto y con las cantidades de trabajo que se tienen que ejecutar (metrados).

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01: Recorrido de las Líneas de la Red Básica del Metro de Lima.....	12
Tabla N° 02: División del Viaducto elevado.....	16
Tabla N° 03: Estaciones de Pasajeros.....	17
Tabla N° 04: Distribución de Bloques de Edificación del Patio de Maniobras.....	20
Tabla N° 05: Descripción de Interferencias en Tramo V.....	57
Tabla N° 06: Ubicación de ejes del Viaducto	59
Tabla N° 07: Metrado de Eje V1	64
Tabla N° 08: Resumen de Metrados Viaducto Subestructura Tramo V	65

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01: Red Básica del Metro de Lima – Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao.....	12
Figura N° 02: Ubicación del Proyecto, recorrido por distritos.....	14
Figura N° 03: Proyección el Viaducto elevado, longitud 12.40 Km.....	16
Figura N° 04: Ubicación de estaciones de pasajeros.....	18
Figura N° 05: Vista de elevación del Puente sobre el río Rímac.....	19
Figura N° 06: Vista de elevación del Puente sobre la Vía de Evitamiento.....	19
Figura N° 07: Ubicación del Patio de Maniobras – San Juan de Lurigancho.....	20
Figura N° 08: Ubicación de la Alameda Cultural entre estación El Ángel y Presbítero Maestro.....	22
Figura N° 09: Ejemplo de Etapa Tecnológica para Edificaciones.....	32
Figura N° 10: Esquema gráfico del Método Sucesivo.....	40
Figura N° 11: Esquema gráfico del Método Paralelo.....	40
Figura N° 12: Esquema gráfico del Método de la Cadena.....	41
Figura N° 13: Modulo MV1, entre ejes V1 hasta V4.....	61
Figura N° 14: Modulo MV2, entre ejes V5 hasta V9.....	61
Figura N° 15: Modulo MV3, entre ejes V10 hasta V14.....	62
Figura N° 16: Modulo MV4, entre ejes V15 hasta V19.....	62
Figura N° 17: Modulo MV5, entre ejes V20 hasta V24.....	62
Figura N° 18: Modulo MV6, entre ejes V25 hasta V28.....	63
Figura N° 19: Modulo MV7, entre ejes V29 hasta V33.....	63
Figura N° 20: Modulo MV8, entre ejes V34 hasta V37.....	63
Figura N° 21: Plano para construcción Típico de la Zapata y Columna del Viaducto.....	64
Figura N° 22: Desmembramiento del Proceso de Construcción para el Viaducto elevado – Tramo V.....	67
Figura N° 23: Proceso de Construcción del Viaducto.....	68

LISTA DE FOTOS

Foto 01: Excavación de zapata con equipo.....	45
Foto 02: Solado para zapata.....	46
Foto 03: Habilitación de acero para la zapata	47
Foto 04: Concreto de zapata.....	47
Foto 05: Pre-armado de acero de columna a nivel de terreno.....	48
Foto 06: Acero de columna en posición vertical, sostenidos al terreno por tensores.....	49
Foto 07: Encofrado de columna, primera etapa de la columna	49
Foto 08: Concreto de columna.....	50
Foto 09: Desencofrado de columna	50
Foto 10: Relleno y compactación de la zapata.....	51
Foto 11: Alzaprimados o apuntalamiento para encofrado de cabezal	52
Foto 12: Colocación de acero para cabezal.....	52

INTRODUCCIÓN

No cabe duda que el punto de partida de toda obra o proyecto de construcción es el Planeamiento y la Programación, pues a partir de este trabajo de análisis se determinan los plazos, costos, recursos necesarios y las principales restricciones que podrían afectar su desarrollo.

Es en buena cuenta el Planeamiento de la obra, visión macro, lo que permite hacer una evaluación completa del proyecto, en donde se revisan los factores que determinarían el éxito o fracaso de la obra; trabajando principalmente con el conocimiento de los participantes y en muchos casos con la experiencia de la organización.

Sin embargo el conjunto de conocimiento y experiencia no determina, por sí solos, la metodología de trabajo para desarrollar el Planeamiento de la obra; es a partir de esta situación que surgen en el mundo diversas teorías para el desarrollo del planeamiento y la programación.

Siendo en nuestro medio de la construcción, Perú, muy usada la teoría de redes; esta filosofía no alcanza a evaluar detalladamente el entorno que gobierna el proyecto y más bien si permite interrelacionar las actividades o tareas que se deben ejecutar en un proyecto.

Pues bien, en la evaluación del trabajo presentado se propone utilizar una metodología que actualmente se utiliza con mayor presencia en los proyectos locales y que fue desarrollada en los años 20 en la ex Unión Soviética y en los años recientes ha sido promocionada con mayor fuerza en los países occidentales, principalmente Estados Unidos. La teoría de Producción en Cadena o Tren de Actividades es una metodología de trabajo que busca la mejora continua y la optimización de los recursos, específicamente las cuadrillas de trabajo a través de la sistematización de los procesos que componen el proyecto.

La teoría de Producción en Cadena o Tren de Actividades se aplica en el proyecto del Metro de Lima – Línea 1 para poder cumplir las metas que fueron planteadas por la organización; es decir el cumplimiento del plazo, costo y la entrega del proyecto bajo los estándares de calidad ofertados al cliente.

Para cumplir las metas propuestas fue necesario evaluar las condiciones externas en las que se desarrolla la obra, como son: las interferencias de agua, desagüe, redes eléctricas, etc. Además del problema del tránsito vehicular, por estar en la zona urbana.

También se evaluaron las condiciones internas del proyecto; como son: el desarrollo de la ingeniería, la ubicación de los proveedores capaces de atender la demanda solicitada y sobre todo la capacidad de la organización para conseguir el personal necesario para ejecutar la obra.

Entonces, de lo indicado, el presente informe tiene por finalidad el desarrollo del Planeamiento y Programación de la Línea 1 Tramo 2 del Metro de Lima, bajo los criterios que propone la teoría de Producción en Cadena; así pues, se apunta a establecer la metodología de trabajo que nos permita el cumplimiento de las metas propuestas (cumplimiento del plazo y utilización de los recursos necesarios)

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. RESEÑA HISTÓRICA DEL TREN ELÉCTRICO

A inicios de los años 70, entre 1972 y 1973 durante el gobierno del Gral. Juan Velazco Alvarado se elaboró el primer estudio de factibilidad técnico – económico y el anteproyecto del “Sistema de Transporte Rápido Masivo de Pasajeros en el Área Metropolitana de Lima – Callao”, el cual fue aprobado en 1974. Sin embargo debido a los problemas políticos y la crisis internacional económica que vivió el país en aquellos años impidieron conseguir el financiamiento económico y consecuentemente el inicio de los trabajos.

En la década de los años 80, durante el primer gobierno del Dr. Alan García Pérez (1985 - 1990) se creó la Autoridad Autónoma del Proyecto Especial del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, entidad gubernamental encargada de convocar a concurso público la ejecución del Metro de Lima o también conocido como “Tren Eléctrico”.

Fue en el año de 1986 que se otorgó la buena pro al Consorcio Tralima para que se encargue de la ejecución de la Línea 1 del Metro de Lima. El 18 de Octubre de ese mismo año se darían inicio los trabajos del viaducto elevado y un Patio Taller en el distrito de Villa El Salvador, al sur de la ciudad de Lima. Sin embargo a finales del gobierno del Dr. García Pérez, debido a problemas sociales y económicos (terrorismo e hiperinflación respectivamente); se tuvo que paralizar la obra y el 28 de Abril de 1990 se inauguró un tramo de 9.20 Km que recorría los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores. Inconclusa la obra, los trenes sólo circulaban en ocasiones esporádicas y/o realizando pruebas en vacío a fin de evitar su deterioro.

En el año 2001 la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE) pasó a la administración de la Municipalidad Metropolitana de Lima con la intención que este organismo reactivara la construcción del Tren Eléctrico, sin embargo no se llegó a concretar el propósito.

En el año 2009, ya en el segundo gobierno del Dr. Alan García Pérez (2006 - 2011), la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE) pasó a ser administrada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTC). En ese año se encargaría a Provias Nacional la licitación pública internacional para seleccionar a la empresa que se encargue de la ejecución de las obras civiles y el equipamiento electromecánico del tramo faltante. El financiamiento de la obra provino de un endeudamiento externo con la Corporación Andina de Fomento (CAF) por \$ 300 millones de dólares.

Luego de la evaluación técnica y económica de los postores, en Diciembre del 2009, se otorgó la buena pro para la culminación de las obras civiles y electromecánicas del Tramo 1 de la Línea 1, que comprendía rehabilitar el tramo que ya existía en ese momento, desde el Patio Taller en Villa El Salvador hasta la estación de Atocongo en San Juan de Miraflores. Además culminar la infraestructura hasta la avenida Grau en el Cercado de Lima.

El 11 de Julio del 2011, se inauguró el Tramo 1 de la Línea 1 que recorre un total de 21.40 Km cruzando nueve (09) distritos: Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Surquillo, San Borja, San Luis, La Victoria y el Cercado de Lima. En todo el recorrido se ubican 16 estaciones de pasajero; en donde se tuvieron que rehabilitar 7 estaciones existentes: Villa El Salvador, Parque Industrial, Pumacahua, Villa María, María Auxiliadora, San Juan y Atocongo; además se construyeron 9 estaciones nuevas: Jorge Chávez, Ayacucho, Cabitos, Angamos, San Borja Sur, La Cultura, Nicolás Arriola, Gamarra y Miguel Grau.

Ese mismo año, 2011, la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE) como parte de la ejecución de la Red Básica del Metro de Lima, convoca a concurso la elaboración del Expediente Técnico y Ejecución de las Obras Civiles y Electromecánicas del Tramo 2 que recorre los distritos del Cercado de Lima, El Agustino y San Juan de Lurigancho, completando con esta obra la Línea 1.

El 28 de Julio del 2011, el consorcio conformado por las empresas Odebrecht (Brasil) y Graña y Montero (Perú) se adjudican la buena pro para la ejecución del Tramo 2 y se iniciarían los trabajos con la elaboración del Expediente Técnico. Con un plazo inicial de obra de 900 días calendarios.

En la primera etapa del proyecto se tiene previsto la elaboración del Expediente Técnico de Obra, con un plazo de 300 días calendarios y en donde se incluyen el Cronograma de Obra y el Presupuesto final.

En la segunda etapa se tiene previsto iniciar la ejecución de las obras civiles y la instalación de los sistemas electromecánicos.

Finalmente están previstas las Pruebas y puesta en marcha del Sistema Electromecánico del Tramo 2 y la interface con el Tramo 1, tal que se compatibilice toda la Línea 1.

El 10 de Noviembre del 2011, se iniciaron los trabajos del Viaducto elevado del Tramo 2, en la avenida Grau con la excavación de la primera zapata.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Línea 1 forma parte del plan maestro de la Red Básica del Metro de Lima que fue elaborada y aprobada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el año 2010 mediante Decreto Supremo N° 059-2010-MTC.

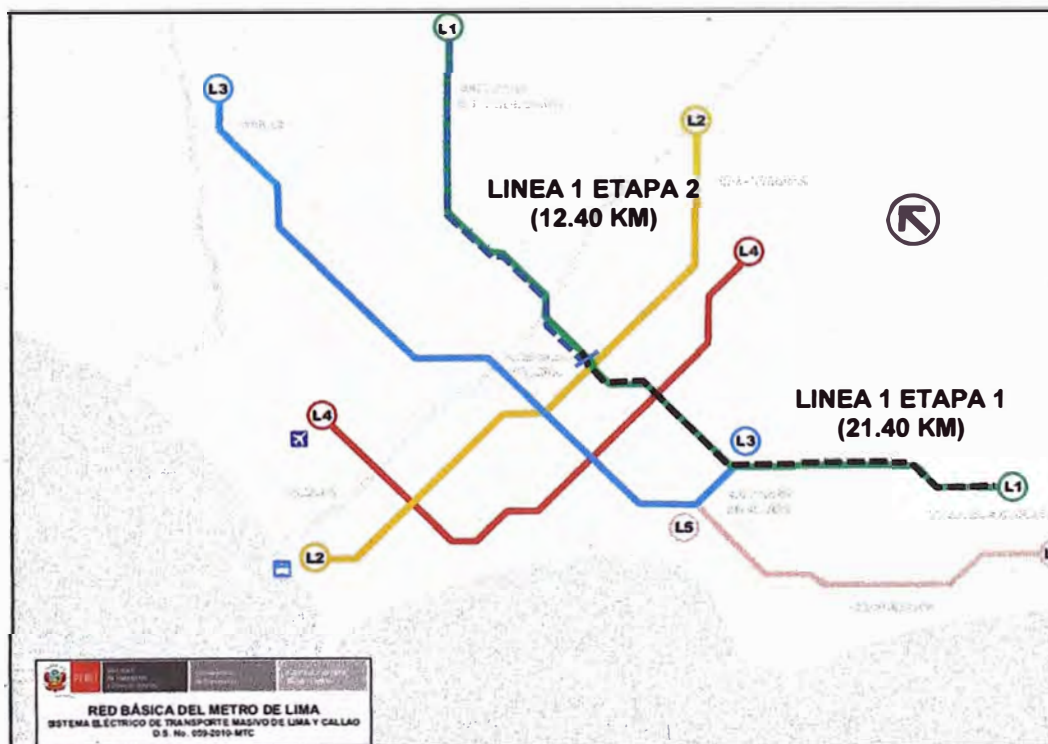


Figura N° 01: Red Básica del Metro de Lima – Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao.

En el siguiente cuadro se indican las distancias y el recorrido de las 5 líneas de la Red Básica del Metro de Lima (RBML)

Tabla N° 01: Recorrido de las Líneas de la Red Básica del Metro de Lima

LÍNEAS	LONGITUD (KM)	RECORRIDO
LÍNEA 1	33.80	VILLA EL SALVADOR - SAN JUAN DE LURIGANCHO
LÍNEA 2	34.90	ATE - CALLAO
LÍNEA 3	31.60	SURCO - COMAS
LÍNEA 4	26.00	CALLAO - LA MOLINA
LÍNEA 5	13.90	CHORRILLOS - MIRAFLORES

Fuente: Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE)

Posteriormente el 10 de Agosto del 2013, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) mediante Decreto Supremo N° 009-2013-MTC incorpora la Línea 6 a la Red Básica del Metro de Lima, conectando los distritos de Independencia con Surco.

1.2.1. Ubicación

El proyecto del Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima tiene una longitud de 12.40 Km, en un recorrido que cruza los distritos de Cercado de Lima, El Agustino y San Juan de Lurigancho, sentido sur a norte de la ciudad de Lima.

En su mayor parte el trazo recorre la Avenida Próceres de la Independencia en el distrito de San Juan de Lurigancho, aproximadamente 10 Km.

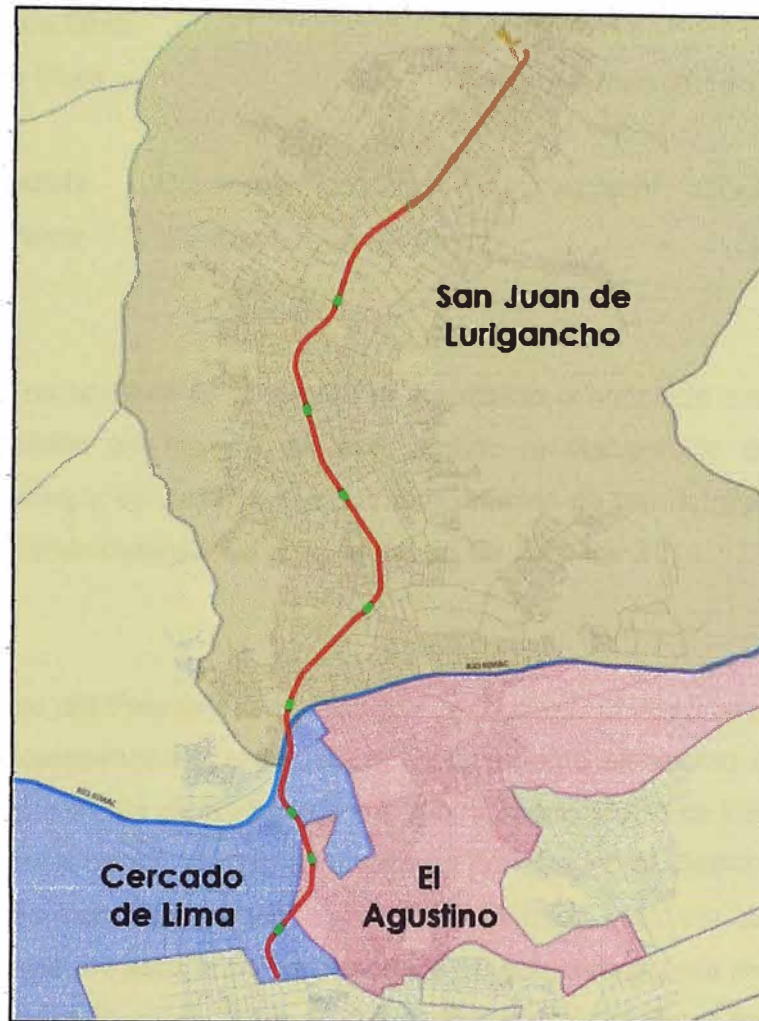


Figura N° 02: Ubicación del Proyecto, recorrido por distritos.

1.2.2. Datos Generales

El proyecto del Tramo 2 de la Línea 1 presenta los siguientes datos técnicos:

- Tipo de Obra : Por concurso oferta
- Financiamiento : con recursos ordinarios y recursos por operaciones oficiales de crédito
- Plazo de Elaboración del Expediente Técnico: 300 días calendarios
- Plazo de Ejecución de la Obra : 1,135 días calendarios
- Monto de la Obra : \$ 900,610,620.14 (Inc. IGV)
- Firma del Contrato : 08.Julio.2011

- Inicio de Obra : 28.Julio.2011
- Fin de Obra : 04.Septiembre.2014

- Contratista : Consorcio Tren Eléctrico (Odebrecht – Graña y Montero)
- Supervisor : Consorcio Cesel - Poyry

El desarrollo de la Obra es mediante la vía rápida o conocida como Fast Track (su denominación en inglés), en ese sentido la elaboración del Expediente técnico así como la ejecución de la Obra se realizan de forma traslapada, con un total de 1,135 días calendarios a partir del 28 de Julio del 2011.

1.2.3. Alcance del Proyecto

El proyecto comprende la construcción, equipamiento electromecánico y puesta en marcha del sistema de transporte masivo, llamado Metro de Lima que recorre una longitud total de 12.40 Km; en donde se construyen el Viaducto elevado y 2 puentes especiales que cruzan el cauce río Rímac y la vía de Evitamiento, además se tiene prevista la construcción de 10 estaciones para los pasajeros: El Ángel, Presbítero Maestro, Caja de Agua, Pirámides del Sol, Los Jardines, Los Postes, San Carlos, San Martín, Santa Rosa y Bayovar. La ubicación de las estaciones se determina según los estudios de demanda que se realicen.

También está prevista la construcción de un terminal o también llamado Cola de la vía, obra que es la etapa final del Viaducto y que permite el descenso al nivel del terreno, esta obra consta de muros de contención con relleno de suelo reforzado y tiene una longitud de 278.77 ml, se ubica en el distrito de San Juan de Lurigancho.

Finalmente se contempla un Patio de Maniobras con área de 36,292.85 m², también ubicado en San Juan de Lurigancho, cuya finalidad es la de permitir la llegada del material rodante, asimismo sirve como zona para realizar trabajos de mantenimiento y/o reparación de los equipos.

El proyecto está dividido en 2 grupos de trabajo, según se indica:

- Obras Civiles
- Obras Electromecánicas

1.2.4. Obras Civiles

Los trabajos comprenden la ejecución de la infraestructura necesaria para la instalación de los equipos Electromecánicos y los de la vía férrea.

Las Obras Civiles corresponden a:

- **Viaducto elevado**

Esta obra corresponde a la estructura de concreto reforzado sobre la cual se instalará la vía férrea y los equipos de transmisión electromecánicos, que permitirán la circulación del material rodante (trenes).

El Viaducto consta de 12.40 Km de longitud y está dividido en diez (10) tramos, tal como se indica en el siguiente esquema:

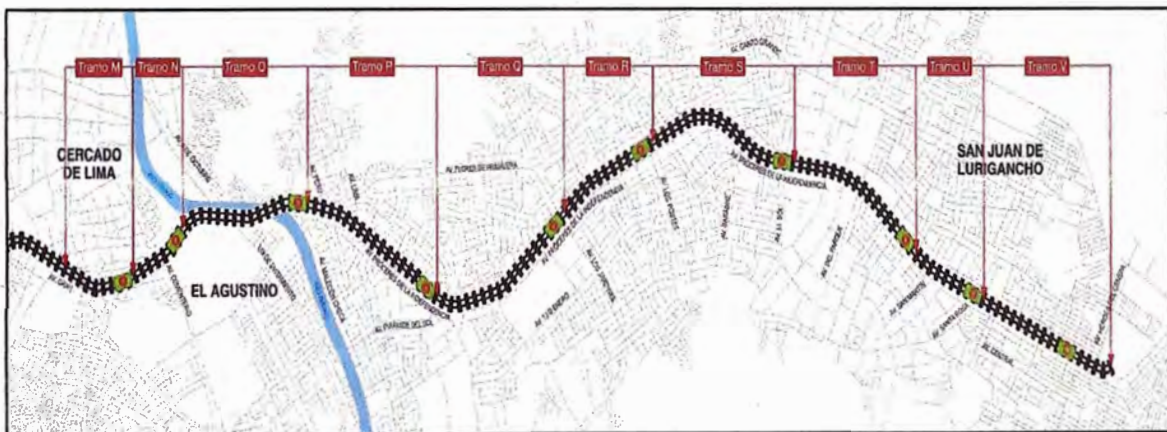


Figura N° 03: Proyección el Viaducto elevado, longitud 12.40 Km

En el siguiente cuadro se detallan los tramos en que está compuesto el Viaducto elevado.

Tabla N° 02: División del Viaducto elevado

TRAMO	LONGITUD (ML)	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FIN
M	795.00	21+557.59	22+352.59
N	535.17	22+352.59	22+887.76
O	1,632.83	22+887.76	24+520.59
P	1,409.00	24+520.59	25+929.59
Q	1,380.00	25+929.59	27+309.59
R	1,283.00	27+309.59	28+592.59
S	1,445.00	28+592.59	30+037.59
T	1,378.00	30+037.59	31+415.59
U	1,043.63	31+415.59	32+459.22
V	1,222.00	32+459.22	33+681.22
Cola de Vía	278.78	33+681.22	33+960.00
TOTAL	12,402.41	21+557.59	33+960.00

Además, parte del Viaducto incluye una Tercera Vía que se ubica entre las progresivas 26+344.591 hasta 26+749.591 dentro del Tramo Q, con una longitud de 405 ml, esta estructura cumple la función de ensanchar la trocha del viaducto a fin de permitir el mantenimiento de alguno de los trenes en caso presente problemas mecánicos durante su operación, así evita ocupar una de las vías de circulación.

- **Estaciones de pasajeros**

Se tiene previsto la construcción de 10 estaciones para pasajeros a lo largo del recorrido y ubicadas al final de cada tramo de Viaducto.

En el siguiente esquema se muestra la ubicación de las 10 estaciones a lo largo del recorrido.

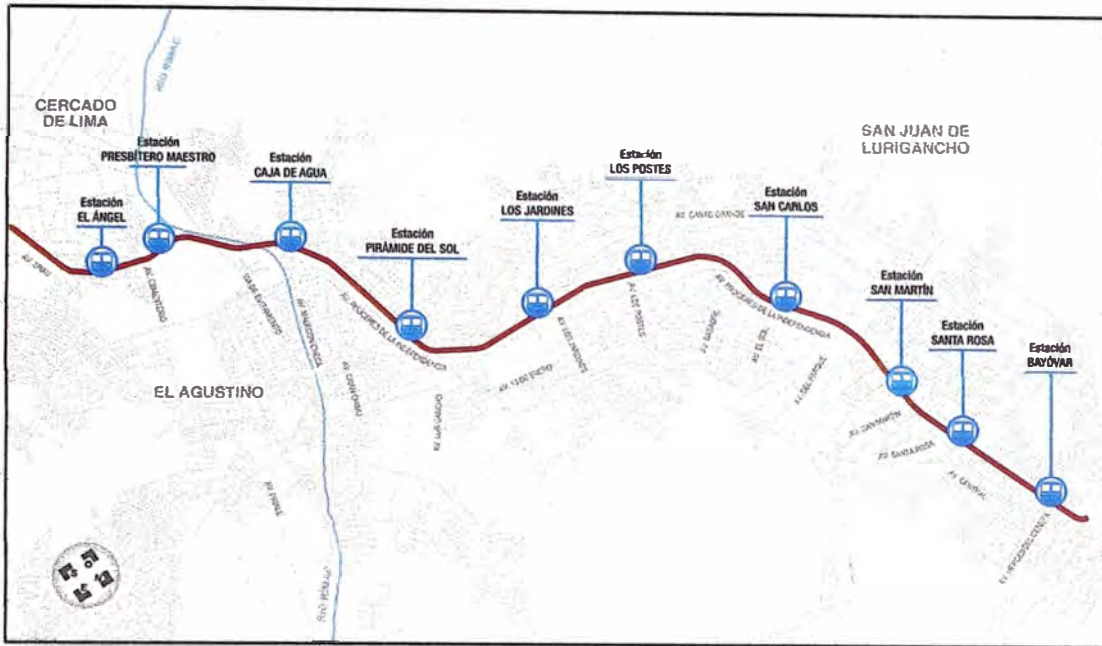


Figura N° 04: Ubicación de estaciones de pasajeros

Las estaciones son dimensionadas y diseñadas en un espacio de 120.00 ml de largo por 18.00ml de ancho y ubicadas bajo el viaducto; conectando a la zona de embarque o andenes mediante ascensores y escaleras mecánicas.

Tabla N° 03: Estaciones de Pasajeros

ESTACION	TRAMO	PROGRESIVAS	
		INICIO	FINAL
EL ANGEL	M	22+207.591	22+327.591
PRESBITERO MAESTRO	N	22+742.850	22+862.850
CAJA DE AGUA	O	24+381.568	24+501.568
PIRAMIDES DEL SOL	P	25+784.591	25+904.591
LOS JARDINES	Q	27+149.591	27+269.591
LOS POSTES	R	28+447.591	28+567.591
SAN CARLOS	S	29+875.591	29+995.591
SAN MARTIN	T	31+270.591	31+390.591
SANTA ROSA	U	32+314.225	32+434.225
BAYOVAR	V	33+421.225	33+541.225

La estación El Ángel se ubica en el distrito del Cercado de Lima, la estación Presbítero Maestro en el Agustino y las restantes 08 estaciones, es decir desde Caja de Agua hasta Bayovar se encuentran en el distrito de San Juan de Lurigancho.

• **Puentes Especiales**

En el proyecto se plantea la construcción de dos puentes especiales que cruzan el río Rímac y la Vía de Evitamiento sobre el puente Huáscar, ambos de 240.00ml y 274.00ml respectivamente.

La ejecución de ambos puentes se realizará mediante el procedimiento constructivo de dovelas sucesivas o segmentales con carros de avance, de tal forma que se evite el cierre del tránsito en la Vía de Evitamiento (vía de alto tránsito).

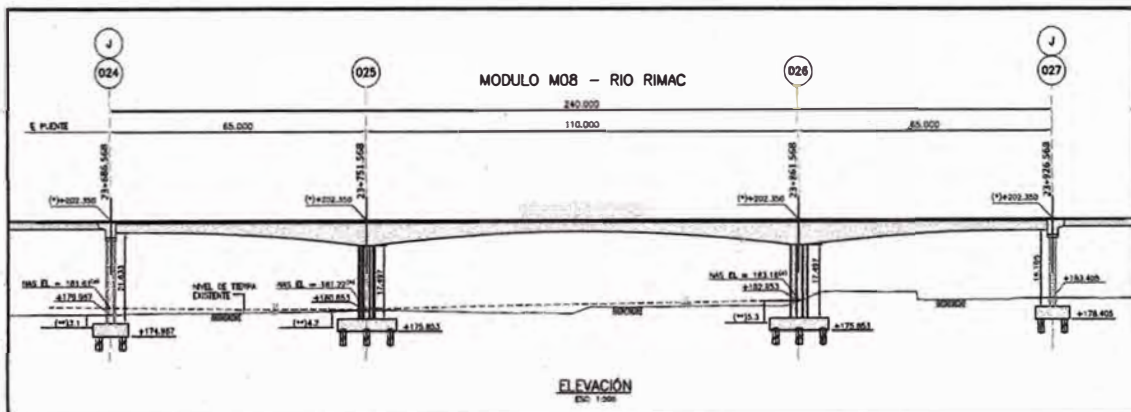


Figura N° 05: Vista de elevación del Puente sobre el río Rímac

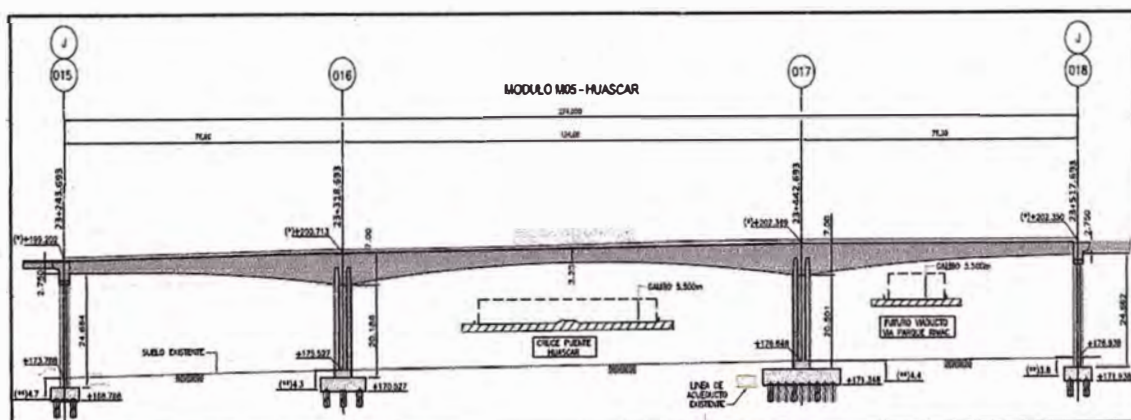


Figura N° 06: Vista de elevación del Puente sobre la Vía de Evitamiento

- **Patio de Maniobras**

Se planea la construcción de una zona para maniobrar el material rodante al final del Viaducto, que permita la llegada del material rodante y además que sirva para realizar trabajos de mantenimiento de estos vehículos.

Por otro lado, parte de esta zona contará con una subestación de alta tensión (SEAT Bayovar) que permitirá abastecer de energía al Tramo 2, desde la Subestación de Jicamarca. Además de la subestación, se tiene previsto la construcción de bloques o módulos de edificaciones destinados para uso administrativo y de almacenes o depósitos.

La zona destinada para la ejecución de este proyecto se ubica entre las intersecciones de las avenidas Próceres de la Independencia y Héroes del Cenepa (ex Av. Bayovar) ocupando un área de 36,292.85m².



Figura N° 07: Ubicación del Patio de Maniobras – San Juan de Lurigancho

En el siguiente cuadro se muestran los ambientes o bloques que corresponden a las edificaciones que forman parte del Patio de Maniobras y sus respectivas áreas de construcción:

Tabla N° 04: Distribución de Bloques de Edificación del Patio de Maniobras

SECTORES	AREA (m2)
Bloque A - Caseta de Control	27.70
Bloque B - Oficinas Administrativas	125.10
Bloque C - Vestuarios	424.96
Bloque E - Almacén	789.63
Bloque F/H - Subestación 60/20 kV y Transformadores	393.80
Bloque G - Subestación y Cabina	118.12
Bloque I - Cuarto de Bomba	205.00
Bloque J - Central de aire	114.75
Bloque K - Edificación en zona de lavado	381.65
Zona de Lavador de Trenes	---
Fosa de Inspección	828.96
Andén de servicio	528.00

En total se cuenta con 3,937.67 m2 de áreas construida en el Patio de Maniobras.

- **Obras Complementarias**

Los trabajos que comprenden son:

- Demolición de Predios a expropiar
- Inserción Urbana de las 10 Estaciones de Pasajeros
- Inserción Urbana del Área demolida dentro del derecho de vía
- Remodelación de Jardines
- Retiro y Traslado de árboles
- Alameda Cultural

En general estos trabajos son de adecuaciones viales, reposiciones o trabajos previos al inicio de otras actividades.

Entre las Obras complementarias a ejecutar, la principal es la Alameda Cultural, que consiste en una zona de esparcimiento y recreación que integra las estaciones de pasajeros El Ángel y Presbítero Maestro con el exterior. Siendo esta zona parte del centro histórico se buscó no alterar el entorno a fin de no afectar predios existentes.

La Alameda Cultural cuenta con un área dividida en módulos para el comercio, áreas verdes y canchas deportivas.

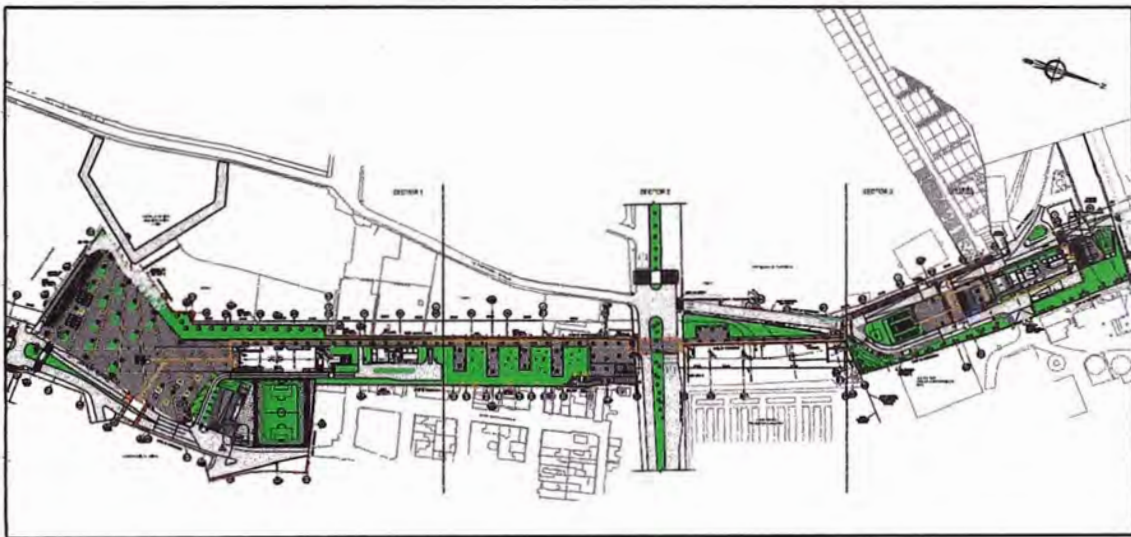


Figura N° 08: Ubicación de la Alameda Cultural entre estación El Ángel y Presbítero Maestro

1.2.5. Obras Electromecánicas

Estos trabajos corresponden al suministro, instalación, calibración y pruebas de todos los equipos eléctricos y mecánicos necesarios para el funcionamiento del Metro.

Están conformados por los siguientes sistemas:

- **Vía Férrea**

Los trabajos de vía férrea constan en la ejecución de la infraestructura necesaria para la circulación del Material rodante, es decir la construcción del camino de rodadura con la dimensión exacta de la trocha para la circulación de los trenes especificados.

En el proyecto se ha separado la vía férrea en dos grandes frentes de trabajo: el primero ubicado sobre la superficie del Patio de maniobras, aproximadamente 2 Km de vía.

Y el segundo frente que corresponde a la longitud del viaducto, es decir la vía férrea del tramo principal, 12.4 Km.

En total el proyecto cuenta con 14.4 Km de vía férrea para la rodadura del material rodante. Tanto en el sentido de ida como de regreso.

- **Sistema de Catenaria**

La Catenaria es el sistema aéreo de captación de la corriente eléctrica.

Consiste en el suministro de energía eléctrica al material rodante a través de cables de cobre suspendidos mediante equipos mecánicos.

Para el proyecto se utilizó el sistema de catenaria flexible, que está compuesto por: postes metálicos, sistemas de ménsulas, hilo de contacto de cobre, péndolas, cables sustentadores y conjunto de suspensión.

En el proyecto la catenaria se divide, al igual que la vía férrea, en dos grupos o frentes: el primero en el Patio de Maniobras y el segundo en la vía principal, es decir sobre el viaducto elevado de 12.4 Km.

- **Alimentación Eléctrica**

El sistema de Alimentación eléctrica consta de la instalación y puesta en servicio de los equipos necesarios para suministrar energía eléctrica a las estaciones de pasajeros y al sistema de catenaria, es en buena cuenta el sistema que permite el abastecimiento de la energía para el funcionamiento del Metro.

El sistema se trabaja en tres frentes: el viaducto elevado, las cabinas eléctricas ubicadas en cada una de las estaciones y en el Patio de Maniobras.

En el viaducto elevado se trabaja en las canaletas, pues es donde se hace el tendido de los cables de media tensión.

En las estaciones de pasajeros se ubican las cabinas eléctricas en donde se instalan los transformadores de potencia, equipos que reducen la potencia que llega del viaducto a través de los cables de media tensión y se suministran a toda la estación en baja tensión.

Finalmente en el Patio de Maniobras se trabaja en la sub-estación de alta tensión (SEAT), que es la zona del proyecto de donde se suministra la energía. En la SEAT se ubican los transformadores que reducen la potencia de llegada de alta tensión a media tensión.

- **Señalización y Automatización**

El sistema de Señalización garantiza la seguridad en la circulación de los trenes, evitando colisiones y regulando la frecuencia de trenes en la línea. Es el sistema de Señalización y la capacidad de los trenes, lo que define en última instancia la capacidad de transporte en una línea, estableciendo el Headway de la operación, es decir, el intervalo mínimo entre trenes que una línea soporta, el mismo que para el caso de este proyecto es de 3 minutos.

Este sistema de Señalización está conformado por equipos instalados a lo largo de la vía y en las salas técnicas de las estaciones, controlados a partir del Puesto Central de Operaciones (PCO) ubicado en el Patio de Maniobras, donde se obtiene en tiempo real la ubicación de los trenes en la línea y se controlan los itinerarios. Cuando menor sea el itinerario de la línea y mayor el nivel de automatización de la conducción de los trenes, mayor la complejidad tecnológica de este sistema.

- **Telecomunicaciones**

El sistema de Telecomunicaciones permite la comunicación entre las estaciones, dentro de cada una de ellas y con los operadores de los trenes.

En el proyecto se contempla la implantación de sistemas de transmisión datos, telefonía, radiocomunicación, videovigilancia, difusión sonora y sincronismo a lo largo de todo el tramo y su integración con la primera etapa de la línea 1 (ya construida).

En total luego de concluir la segunda etapa, la Línea 1 del Metro de Lima contará con 280 cámaras, 460 puestos telefónicos, 1400 altavoces y 70 Km de fibra óptica.

A su vez el sistema de Telecomunicaciones comprende los siguientes sub-sistemas:

- Difusión sonora
- Transmisión Digital
- Circuito cerrado de Televisión
- Radio Troncalizado (Tetra)
- Telefonía IP & emergencia
- Grabación y gestión de audio y video
- Networking

- **Control de Pasajeros**

El sistema permite gestionar mediante tecnología de tarjetas sin contacto, el acceso de los viajeros a las estaciones así como la asistencia en la venta de dichas tarjetas; asimismo el planteamiento del sistema permite la integración de la etapa 1 con la etapa 2 que conforman la Línea 1 del Metro.

Para el funcionamiento del sistema, este debe estar compuesto por los siguientes equipos:

Maquina semi automática expendedora de tarjetas sin contacto (MET)

Maquina automática expendedora de tarjetas sin contacto (TVM)

Torniquetes Y Puertas para personas con movilidad reducida (PMR)

Concentrador de Estación

Concentrador Central

- **Sistema Contraincendios**

El sistema Contraincendios cumple principalmente dos funciones, detectar y notificar al Puesto Central de Operaciones (PCO) la ocurrencia de algún siniestro dentro de las estaciones; y además actuar de forma automática ante la presencia de algún evento de incendio en las instalaciones de las estaciones.

A su vez el sistema Contraincendios se divide en dos sub-sistemas: Detección y Alarma de Incendios y Extinción de Incendios.

El sistema de Detección y Alarma de Incendios está basado en una red de centrales de alarmas y conformado por un conjunto de equipos cuya finalidad es detectar e identificar puntualmente el lugar donde se está produciendo el evento de incendios.

Entre sus principales componentes están: Central de Alarma, Dispositivos de iniciación (conformados por los Detectores y las

Estaciones manuales de alarma) y Dispositivos de anunciación (las Sirenas con luces estroboscópicas).

El Sistema de Extinción de Incendios está basado en una red automática de agua, alimentada de una cisterna de almacenamiento exclusivo para contraincendios, mediante un equipo de bombeo, a través de una red de tuberías.

Los equipos que conforman el sistema de Extinción son:

- Cisterna de agua Contraincendio
- Estación de bombeo de agua contraincendio
- Red de agua contraincendio
- Gabinetes contraincendio
- Rociadores
- Conexión para inyección de agua por bombeo

La estación de bombeo de agua contraincendio, consta de dos equipos: la electrobomba jockey y la motobomba principal.

El planeamiento del proyecto propone una metodología de trabajo a seguir a fin de poder cumplir con el plazo y en el costo que se tiene previsto, sin embargo para llegar esa meta es necesario que los involucrados en el proceso aporten su conocimiento y se logre una sinergia entre ambos. Es en ese sentido que surge la necesidad de plantear, además de una ingeniería óptima, una comunicación constante entre los involucrados en el desarrollo del proceso: especialistas civiles y electromecánicos; que a través de su conocimiento y experiencia propongan las soluciones en cada etapa del proceso.

Para conseguir el objetivo se propuso una gestión en base a la comunicación constante, mediante reuniones semanales entre los responsables de las obras civiles y las obras electromecánicas, durante todas las etapas del proyecto; desde la elaboración del expediente técnico, pasando por la ejecución misma de la obra hasta la etapa del cierre de la obra.

Para la implementación de las ideas se trabajó con la metodología de Lean Construction, utilizando herramientas como el Lookahead y el Análisis de las Restricciones.

CAPÍTULO II: PLANEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN EN CADENA

2.1. EL OBJETO DE CONSTRUCCIÓN

En el campo de la Ingeniería el objeto de construcción se define como el fin para el cual un conjunto de especialistas y no especialistas conjugan esfuerzos. Es decir representa toda obra física que involucra una cadena de especialidades y entidades que persiguen el desarrollo de la sociedad, es en buena cuenta todo proyecto de ingeniería que permite alcanzar la satisfacción de los usuarios finales.

El Objeto de Construcción puede a su vez clasificarse de la siguiente manera:

- Por su Distribución en el Espacio
- Por su Innovación Tecnológica
- Por su Especialidad

2.1.1 Objeto de Construcción – Por su Distribución en el Espacio

Esta clasificación identifica al objeto de construcción por las condiciones de la zona de trabajo y la cantidad de frentes en que puede ejecutarse el objeto.

En función de las condiciones de trabajo, se identifican tres tipos de objetos de construcción:

- **Lineales**

Son los frentes de trabajo de tipo abierto, es decir aquellos objetos de construcción en donde puede ejecutarse en 1, 2, 3, 4, "n" frentes, dependiendo del plazo de la obra.

En este tipo de objetos se encuentran: las carreteras, las líneas de impulsión, los túneles y todos aquellos en donde sea posible, por condiciones de espacio, aperturar mas de un frente de trabajo.

- **Concentrados**

Corresponden a los objetos de construcción en donde por condiciones lógicas de trabajo no es posible aperturar un nuevo frente de trabajo sin antes no concluir la actividad que realiza el frente dimensionado.

En este tipo de objetos se encuentran: las edificaciones, naves industriales, silos, tanques y todo aquel objeto que no permita aperturar más de un frente en simultáneo sin completar las actividades preliminares.

- **Dispersos**

Como indica su nominación, corresponden a esta clasificación aquellos objetos en donde por su ubicación en el espacio cada frente se ubica en diversos puntos.

2.1.2 Objeto de Construcción – Por su Innovación Tecnológica

Esta clasificación corresponde a los Objetos de Construcción, que de acuerdo al nivel de tecnificación que se emplea, pueden realizar sus actividades generando beneficios principalmente a nivel de la productividad.

2.1.3 Objeto de Construcción – Por su Especialidad

Esta clasificación define al Objeto de Construcción según su finalidad, es decir lo que lo relaciona al campo de la ingeniería para el cual va a generar algún desarrollo.

De esta forma se pueden agrupar en los siguientes conjuntos de OC.:

- **Civiles**

En este conjunto se pueden agrupar aquellos objetos de construcción que contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas y les brinda mejores servicios.

En este grupo se encuentran los caminos, carreteras, puentes, puertos, aeropuertos, redes ferroviarias y en general todos aquellos sistemas de comunicación.

- **Industriales**

En este grupo se encuentran todas aquellas obras que se vinculan con la Industria, no siendo específica.

Es decir todo aquel objeto de construcción que sirva para producir algo.

Podemos indicar: las fábricas cementeras, almacenes, tijerales, complejos textiles, planta concentradora, entre otros.

- **Agrícolas**

Corresponden a las obras de ingeniería que se relacionan con el campo y/o que permiten el desarrollo de este.

Dentro de este grupo podemos mencionar: canaletas o cunetas, presas, bocatomas, túneles, andenes, entre otros.

- **Energéticos**

Corresponden a las obras de ingeniería que están vinculadas al desarrollo energético de una zona o región.

Contempla toda la infraestructura necesaria para llevar energía.

En este grupo se encuentran: las centrales hidroeléctricas, las torres de transmisión, buzones para cableado eléctrico, entre otros.

- **Otros**

Finalmente en este grupo se encuentran todas aquellas obras de ingeniería que no pertenecen a ninguna de las clasificaciones indicadas

líneas arriba pero que corresponden a algún ámbito específico de desarrollo.

2.2. ETAPAS TECNOLÓGICAS

Las Etapas Tecnológicas son aquellas tareas o fases que definen un objeto de construcción y que se necesitan ejecutar para su concepción. Es entonces que a cada objeto de construcción le corresponde su propio sistema de etapa tecnológica.

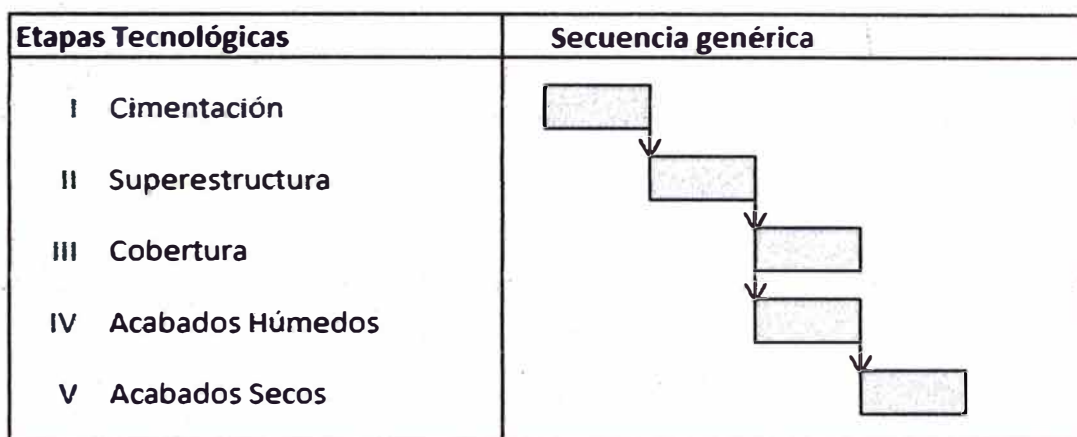


Figura N° 09: Ejemplo de Etapa Tecnológica para Edificaciones.

2.3. CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO

La clasificación o distribución del trabajo está basada en la eficiencia de la actividad que se realiza.

Esta clasificación del trabajo busca medir en base al tiempo, que tan productivo se es en el desarrollo de cierta actividad.

Dentro de este esquema el trabajo se divide de la siguiente forma:

2.3.1. Trabajo Productivo

Corresponde a aquella tarea o actividad que agrega valor, es decir aquello que concreta una determinada acción.

Por ejemplo para un trabajo de construcción de un muro, el trabajo productivo es el asentado de los ladrillos.

2.3.2 Trabajo Contributorio

Es aquel que solo aporta para poder completar una tarea o actividad productiva.

Del ejemplo de la construcción de un muro, podríamos indicar que un trabajo contributorio sería la colocación del mortero en cada hilada para posteriormente asentar los ladrillos.

2.3.3 Trabajo No Contributorio o Improductivo

Es aquella acción que no aporta ningún valor a la tarea o actividad que se desarrolla.

2.4. TEORÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN CADENA

La construcción en cadena es una tecnología dirigida al campo de la organización de un proceso productivo. Es parte de la industrialización de la construcción, porque trata de emplear los recursos y técnicas constructivas en forma mecanizada y automática.

La cadena de construcción es una herramienta que nos permite programar una obra, efectuando las actividades en forma continua y uniforme, obteniendo un ritmo adecuado en la organización de los procesos de construcción, disminuyendo de esta manera los tiempos improductivos en la realización de dichos procesos, aumentando la productividad mejora la calidad de la construcción, disminuye los plazos de ejecución y los costos de producción del objeto de construcción.

Normal Tecnológica

Es el particionamiento del proceso de construcción, en actividades que son necesarias para realizar un objeto de construcción, se efectúa este

particionamiento de acuerdo a las características principales del objeto, determinando que actividades deben realizarse y estableciendo la secuencia lógica de ejecución.

Según el volumen de trabajo, las alternativas de ejecución, los plazos de obra y en general, según la forma como organicemos su desarrollo, el objeto de construcción se puede subdividir en procesos de tal forma que constituyen un sistema de unidades de producción.

El particionamiento del proceso de construcción se debe realizar teniendo en cuenta que, siendo necesario establecer un conjunto de unidades de producción, la NORMAL TECNOLÓGICA para cada uno de ellos, sea la misma.

Requisitos para la Construcción en Cadena

Para la aplicación el método de construcción en cadena se requiere contar con los requisitos siguientes:

- El proceso de construcción debe ser posible de particionar en las actividades necesarias para la ejecución de un objeto de construcción, de tal manera que a cada una de ellas se le asigne convencionalmente los recursos correspondientes.
- Debe ser posible el establecimiento del ritmo de ejecución para cada una de las actividades que componen el proceso de construcción denominándose módulo de ciclicidad, que define el ritmo de la cadena particular.
- El espacio que viene a ser el parámetro donde se va a desarrollar una actividad específica, es el denominado frente de trabajo, el cual es posible particionar en un conjunto de unidades de producción, cuyos volúmenes sean los necesarios para permitir a las cuadrillas desarrollar sus respectivos rendimientos.

Cadena de Construcción

Es el conjunto de cadenas particulares que se desarrollan a través de las unidades de producción, interrelacionándose en el tiempo según determinados parámetros.

La cadena de construcción se representa en un ciclograma, en el cual las cadenas particulares representan a las actividades que son necesarias ejecutar, para realizar el objeto de construcción.

Cadena Particular

Es la cadena que representa la ejecución de una actividad de un proyecto, pudiendo ejecutarse como actividades simples o complejas que no son posibles de particionar.

Parámetros de la Cadena de Construcción

La cadena de construcción se desarrolla interrelacionando: espacio, tiempo y actividades, las cuales se describen a continuación:

Parámetro de Espacio

- **Unidades de Producción (m):** Se define como el espacio donde se desarrollan, a través del tiempo, todas las actividades necesarias para la obtención de un objeto de construcción que son las cadenas particulares que conforman la cadena de construcción.

Es un frente de trabajo horizontal; generalmente este frente de trabajo se subdivide en otros para constituir un sistema de unidades de producción.

Cada cadena particular puede tener su propio sistema de unidades de producción; dependerá de la forma como se organiza la cadena de construcción.

- **Frente de Trabajo:** Es el parámetro que se define como el espacio donde se va a desarrollar una actividad específica, depende de las características propias del proyecto a ejecutar; puede ser abierto o cerrado y también muy amplio como restringido.
- **Sector:** Es un conjunto de unidades de producción que corresponden a un objeto de construcción dado.

- **Parcela:** Es el frente de trabajo que, de acuerdo a la complejidad del proceso de producción que se tenga que realizar, se le asigna a un obrero, una cuadrilla o una brigada de trabajo. La parcela debe tener como mínimo, un tamaño tal que permita obtener el rendimiento que se especifica para la cuadrilla.
Se debe tener presente también que en él se puede desplazar (realizar normalmente sus actividades) los obreros componentes de la cuadrilla que ejecutará la actividad correspondiente.
- **Nivel:** Este parámetro está referido al desarrollo vertical del objeto que estamos considerando.

Parámetros Tecnológicos

- **Numero de cadenas particulares (n):** Es el parámetro que representa a las parte en que se ha particionado al objeto de construcción.
Su magnitud depende de la forma en que establezcamos la Normal Tecnológica de la cadena de construcción.
- **Volumen de trabajo (P):** Es la cantidad de trabajo que se debe ejecutar en una cadena particular. Tiene un valor constante cuando el área de construcción está definido.
Este parámetro se determina calculando el metrado de la actividad.

$$P = p \times m \quad (\text{Cuando las unidades de producción son iguales})$$

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_m \quad (\text{Cuando las unidades de producción son diferentes})$$

Dónde:

P: Volumen de trabajo en cada unidad de producción.

m: Número de unidades de producción.

- **Trabajosidad (Q):** es la cantidad de recursos (horas hombre u otra unidad lógica) que se requiere para ejecutar una cadena particular. La trabajosidad está en función del rendimiento de la cuadrilla o del equipo mecánico que se utilice; se calcula multiplicando la inversa del rendimiento por el volumen de trabajo.

$$Q = \left(\frac{1}{S}\right) \times P$$

Dónde:

S: Rendimiento de la cuadrilla en la unidad de tiempo.

P: Volumen de trabajo de la cadena particular.

- **Intensidad de la cadena:** Llamada también Potencia de la Cadena. Se define como el volumen de trabajo en la unidad de tiempo. Puede estar referido a la cadena particular o a la cadena de construcción.

Intensidad de la cadena particular:

$$i = \frac{P}{t}$$

Para el caso de una cadena particular rítmica,

$$t = m \times K$$

$$i = \frac{P}{m + K}$$

Dónde:

P : Volumen de producción de la cadena particular

t : Duración de la cadena particular

m: Número de unidades de producción de la cadena particular

K: Modulo de ciclicidad de la cadena articular

Intensidad de la cadena de construcción:

$$I = \frac{Pcc}{T}$$

Dónde:

Pcc: Volumen de trabajo de la cadena de construcción

T : Tiempo total de ejecución de la cadena de construcción

Parámetros de Tiempo

- **Módulo de Ciclicidad (K):** Es el tiempo que se necesita para ejecutar la cadena particular en cada unidad de producción. El módulo de ciclicidad define el ritmo de ejecución de la cadena particular. Cuando ella es rítmica, el valor del módulo es constante para cada unidad de producción.
- **Factor de Módulo de Ciclicidad (c):** Es el factor que multiplica al módulo de ciclicidad de una cadena particular dada para obtener otra cadena que sea múltiplo de él.
- **Ritmo de producción de la cadena:**

Ritmo de la cadena particular (V): Es la cantidad de unidad de producción que salen de una cadena particular, en la unidad de tiempo.

$$V = \frac{m}{t}$$

Para el caso particular de cadena rítmica:

$$t = mk \rightarrow V = \frac{m}{mk} \rightarrow V = \frac{1}{k}$$

Ritmo de la cadena de construcción (V): es la cantidad de unidades de producción que salen de la cadena de construcción en la unidad de tiempo.

$$V = \frac{m}{t}$$

Para el caso particular de cadena de construcción rítmica:

$$V = \frac{m}{T} = \frac{m}{(m+n-1)k}$$

- **Indicadores de la calidad de la cadena de construcción:**

Indicadores de la Uniformidad (α)

$$\alpha = \frac{T^{11}}{T^1} = \frac{m-n+1}{m+n-1}$$

Indicadores de la Productividad (β)

$$\beta = \frac{m}{T} = \frac{m}{(m+n-1)k}$$

Indicadores del consumo de tiempo por unidad de producción (γ)

$$\gamma = \frac{T}{m} = \frac{(m+n-1)k}{m}$$

Indicador de Uniformidad de consumo de recursos (δ)

$$\delta = \frac{T_{spt}}{T} = \frac{m}{m+n-1}$$

METODO DE CONSTRUCCIÓN

- **Método Sucesivo**

Es un método factible, con un bajo nivel de producción en consecuencia de costo elevado.

No hay especialización porque existirán diferentes cuadrillas para una actividad determinada en cada cierto tiempo.

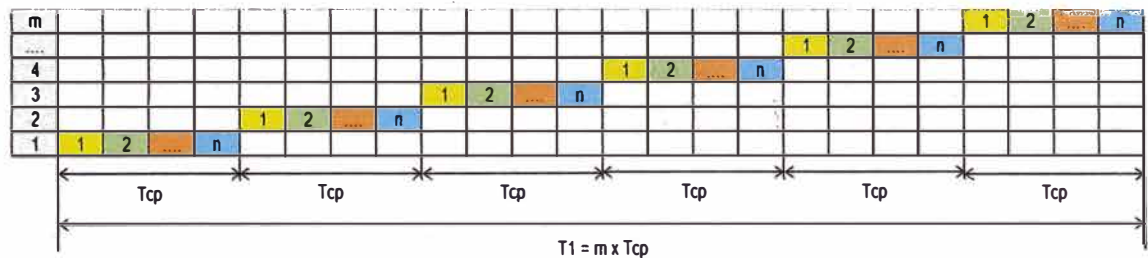


Figura N° 10: Esquema gráfico del Método Sucesivo

- n : Cantidad de procesos o actividades
- m : Cantidad de unidades de producción

- **Método de Producción Simultaneo o Paralelo**

Este método es viable cuando existe buen recurso financiero, disponibilidad de ejecutores y de materiales en el mercado.

En este caso se necesitará "m" cuadrillas para cada actividad y no se puede pensar en especialización.

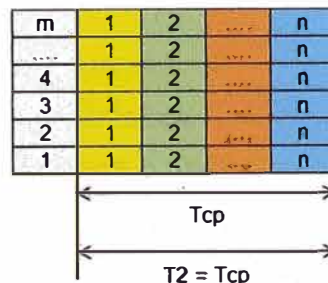


Figura N° 11: Esquema gráfico del Método Paralelo

• **Método de Producción Seriado o en Cadena**

Con este método se logra la especialización y sin interrupciones, se disminuyen los tiempos improductivos.

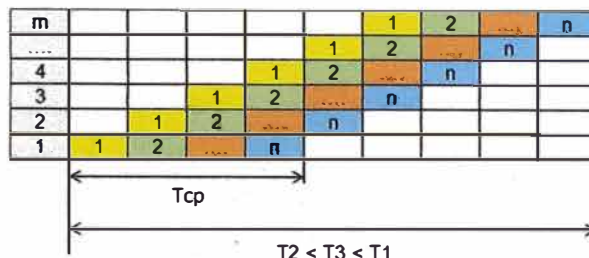
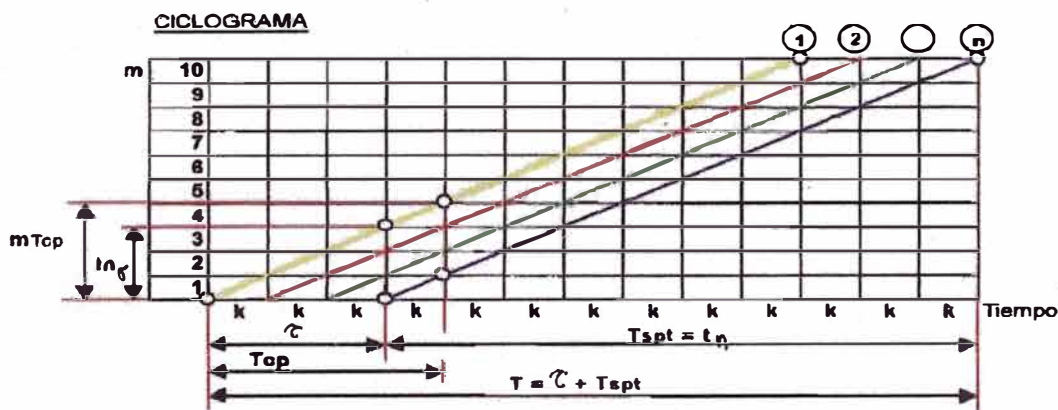


Figura N° 12: Esquema gráfico del Método de la Cadena

CICLOGRAMA DE LA PRODUCCIÓN EN CADENA

• **Cadena Rítmica**

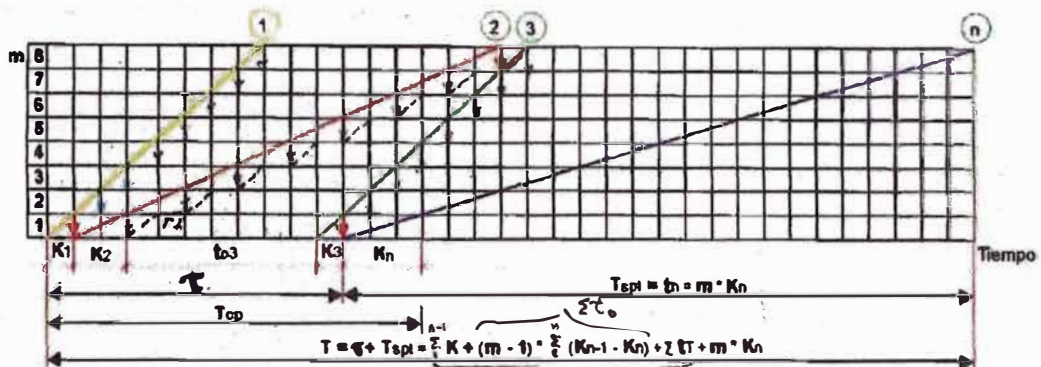
Las unidades de producción tienen que ser iguales o aproximadamente iguales.



- m : Unidades de Producción
- n : Procesos componentes
- t : Espera tecnológica o tiempo tecnológico
- T : Duración del ciclo tecnológico
- Tcp : Duración del ciclo de producción
- Tspt : Tiempo de salida del producto terminado
- T : Duración de la cadena de construcción

• **Cadena de Ritmo Múltiple**

En este caso los tiempos son diferentes y los ritmos también diferentes pero las unidades de producción son iguales.

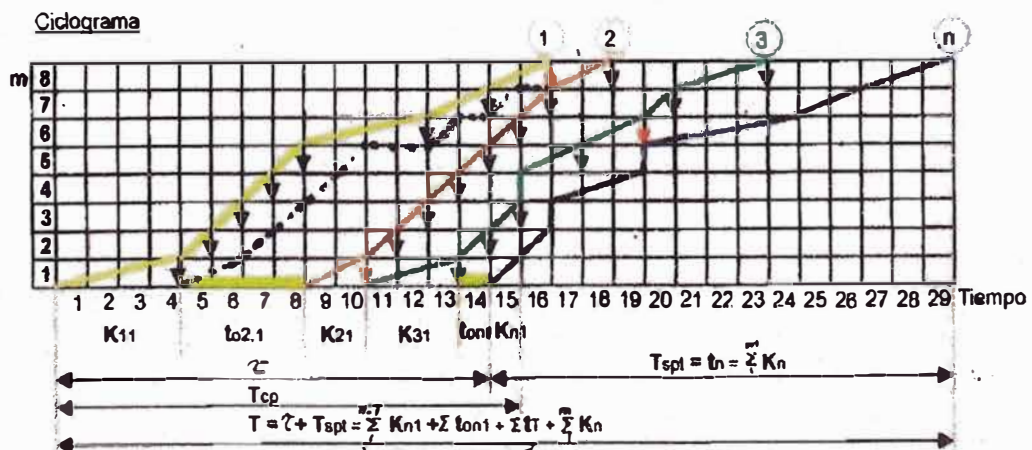


Nivelación de Ritmos

Se nivelan los procesos más lentos y a los más acelerados.

En el gráfico anterior se observa que los procesos más acelerados son el 1 y 3 donde: $K_1=K_3=K$

• **Cadena de Construcción Arritmica**



CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE PRODUCCIÓN EN CADENA DEL TRAMO V DEL METRO DE LIMA

En este capítulo se desarrollara el Planeamiento y Programación por el método de la producción en cadena o también conocido en el medio local de la construcción como *Tren de Actividades*.

Durante el desarrollo del trabajo se hará una descripción de los principales pasos o secuencias que fueron necesarios realizar para obtener el producto final, el Tren de Actividades del Tramo V del Viaducto elevado del Metro de Lima

3.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL VIADUCTO

El primer paso para la elaboración del Planeamiento y Programación en Cadena es la descripción de las actividades y secuencia constructiva que se utilizará.

El Viaducto elevado está dividido en dos etapas: la Sub-estructura y la Súper-estructura.

A continuación se detallan las actividades que comprenden cada etapa del Viaducto elevado:

SUB-ESTRUCTURA

- Excavación de zapatas
- Nivelación de fondo de zapata
- Solado
- Zapatas
- Columnas
- Vigas Cabezales
- Relleno y Compactación

SUPER-ESTRUCTURA

- Montaje de Vigas Prefabricadas
- Montaje de Pre-losas
- Tableros

- Montaje de Bordes Prefabricados
- Canaletas

SUB-ESTRUCTURA

La sub-estructura del Viaducto corresponde a la estructura que soporta las vigas prefabricadas longitudinales y que transmiten las cargas al terreno.

La sub-estructura está conformada por: la cimentación, columnas y vigas cabezales. En ese sentido la cimentación corresponden los trabajos de excavación, nivelación de fondo de zapata, solado y la zapata, como elemento estructural que transmite las cargas al terreno.

3.1.1 Excavación de Zapatas

Esta actividad corresponde a la excavación de la zanja de forma rectangular en donde se construirá la cimentación del Viaducto, con excavadora de tipo oruga.

Dependiendo de las características geotécnicas del terreno, habrá excavaciones con cuñas que eviten el desprendimiento del terreno y en algunos casos será necesario hacer excavaciones con banquetas.

Además como medida preventiva para la estabilidad del talud se coloca una mezcla de agua-cemento.

La profundidad de excavación varía dependiendo de las condiciones del terreno. En promedio la profundidad de cimentación es de 4.00 m.

Además la geometría en planta de la zapata tiene dimensiones de 10 x 7.50 m.



Foto 01: Excavación de zapata con equipo

3.1.2 Nivelación de fondo de zapata

La actividad posterior a la excavación de la zapata, es la nivelación y compactación del nivel de fondo de zapata (NFZ).

Para la compactación del fondo de la zapata se realiza el ensayo Proctor, que permita obtener los parámetros geotécnicos requeridos en el estudio de mecánica de suelos.

3.1.3 Solado

Es la capa de concreto de baja resistencia, de aproximadamente 5 cm de espesor, que se coloca sobre el terreno compactado en el fondo de la zapata y que sirve de superficie de nivelación, sobre la cual se coloca la armadura de la cimentación.



Foto 02: Solado para zapata

3.1.4 Zapatas

El tipo de cimentación propuesta para la obra es: zapatas aisladas, de sección rectangular y peralte de 2.00 m, en promedio.

La ejecución de las zapatas, se realiza posterior al vaciado del solado y está dividido en 3 actividades principales: la habilitación del acero, el encofrado (de ser necesario) de las caras laterales y el vaciado de concreto.

Para la armadura de la zapata se utiliza acero dimensionado, esto permite un ahorro de tiempo en la actividad de habilitado y su colocación es directa, pues el proveedor del material envía según los cortes y dobleces que indican los planos de construcción aprobados.

Posteriormente se habilita el encofrado para la zapata o, de ser necesario, se hará un vaciado contra terreno; en cuyo caso no es necesario emplear cuadrilla para la actividad de encofrado.

Finalmente se hace el vaciado de la zapata con concreto de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (21 MPa).



Foto 03: Habilitación de acero para la zapata



Foto 04: Concreto de zapata

3.1.5 Columnas

Corresponden a los elementos estructurales verticales que transmitirán las cargas de la súper estructura a las zapatas del Viaducto.

Las columnas son de sección octogonal y altura variable, en función del pre dimensionamiento estructural, el procedimiento constructivo consta de un pre-armado del acero de la columna, izaje de la armadura, encofrado, vaciado de concreto y desencofrado. Dependiendo de la altura de la columna el vaciado de concreto puede hacerse en 2 o 3 etapas.

El pre-armado del acero consiste en habilitar el acero longitudinal y los estribos de la columna a nivel de terreno natural, en simultáneo con la ejecución de la cimentación. Únicamente para el acero de la columna se utilizará el normado por el ASTM del tipo A706, es decir el acero soldable ya que, debido a la altura de algunas columnas, será necesario hacer soldaduras del acero, en los empalmes.

Posterior al pre-armado del acero de la columna y la soldadura de los puntos de conexión, se procede con el izaje de la armadura y colocación sobre la armadura de la zapata. La armadura se sostiene mediante cables de acero, al piso, para evitar su caída; asimismo se completa el refuerzo de acero en la unión de la columna con la zapata.

Luego se preparan los andamios y estructuras de seguridad para la colocación de los cuerpos de encofrado de la columna. Debido a la altura de las columnas, mayores a 10 metros, es necesario usar dos o más cuerpos de encofrado por columna.

Los planos de construcción indican que para columnas mayores a 8.00 m. es necesario usar otro cuerpo de encofrado, es decir solo se permite el vaciado de alturas de columna indicada.

Finalmente y luego de habilitar el encofrado se realiza el vaciado de la columna con concreto de resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 MPa). El desencofrado de la columna se realiza a los 2 días posteriores al vaciado.



Foto 05: Pre-armado de acero de columna a nivel de terreno



Foto 06: Acero de columna en posición vertical, sostenidos al terreno por tensores



Foto 07: Encofrado de columna, primera etapa de la columna



Foto 08: Concreto de columna



Foto 09: Desencofrado de columna

3.1.6 Relleno y Compactación

Estos trabajos se realizan posteriores al desencofrado de las columnas y consiste en alcanzar el nivel de terreno natural mediante un relleno con material granular seleccionado y la compactación requerida por los ensayos de suelo.



Foto 10: Relleno y compactación de la zapata

3.1.7 Vigas Cabezales

Son elementos estructurales diseñados para soportar las cargas de las vigas prefabricadas y de la súper estructura del Viaducto.

Luego del relleno y la compactación de la zapata se habilitan los andamios y/o alzaprismados para el encofrado de fondo de las vigas cabezales.

La siguiente actividad corresponde a la colocación del acero de refuerzo de la viga cabezal, mediante piezas de acero pre dimensionado.

Se completa el encofrado de los cabezales con las paredes laterales y posteriormente se colocan los rigidizadores o elementos de restricción sísmica que permiten dar rigidez al viaducto.

Finalmente se realiza el vaciado de concreto de los cabezales con concreto de resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 MPa).



Foto 11: Alzaprimados o apuntalamiento para encofrado de cabezal



Foto 12: Colocación de acero para cabezal

SUPER-ESTRUCTURA

Corresponde a la estructura superior del Viaducto y que es soportada por las vigas cabezales en cada eje. Es la etapa final del Viaducto y sobre la cual se instalarán los equipos de vía férrea y sistemas Electromecánicos, principalmente de Alimentación Eléctrica, Catenaria y de Señalización; lo que en conjunto permite la circulación del Material rodante,

La súper-estructura está conformada por las actividades de montaje de vigas prefabricadas, montaje de pre-losas o losas prefabricadas, los tableros, montaje de bordes prefabricados y las canaletas (centrales y laterales).

3.1.8 Montaje de Vigas Prefabricadas

Las vigas prefabricadas son elementos estructurales de concreto postensado diseñados para soportar la demanda solicitada debido al peso de la superestructura y al paso de los trenes; además construida bajo el concepto de producción en serie.

Para el desarrollo de la producción en serie de las vigas es necesaria la aplicación de la ingeniería que estandarice el diseño, pero que al mismo tiempo cumpla los requerimientos de las normas y códigos de diseño. Esto permite alcanzar un alto rendimiento en la fabricación de vigas y reducir el plazo de ejecución de la súper-estructura.

La actividad de montaje de vigas prefabricadas consiste en el izaje de las mismas sobre las vigas cabezales. Para la ejecución de esta actividad es necesario el uso de equipos pesados, grúas de oruga con capacidad de carga de 80 toneladas a más.

En el proyecto se plantea que en cada vano, que corresponde al espacio entre ejes, se coloquen 4 vigas prefabricadas; a excepción de la Tercera Vía en donde por las características propias de la estructura se requieren 6 vigas por cada vano.

3.1.9 Montaje de Pre-losas

Las pre-losas o losas prefabricadas son elementos de concreto reforzado que se diseñan para cumplir la función de encofrado perdido para poder armar el tablero del viaducto, de tal forma que permita una superficie apoyada sobre las vigas prefabricadas y sobre la cual se habilita el acero del tablero. Estos elementos no estructurales permiten ahorro en el tiempo de habilitado y desarmado de los encofrados, a diferencia de los típicos apuntalamientos, usados en puentes carreteros.

La actividad del montaje de pre-losas se ejecuta después del montaje de las vigas prefabricadas.

Para ello se requiere el uso de un camión grúa de 40 tn de capacidad y operarios.

3.1.10 Tableros

El tablero del viaducto es la losa de concreto reforzado con espesor de 25cm. Sobre la cual se va a construir la vía férrea.

El proceso constructivo del tablero se divide en tres etapas: la habilitación de acero, el vaciado de concreto y la ejecución de los diafragmas.

En la primera etapa se habilita el acero corrugado formado el enmallado de la losa. Concentrando mayor cuantía de acero en los extremos de cada vano (espaciamiento entre vigas) debido al incremento de los momentos flectores. Asimismo se pasan varillas de acero de un vano a otro para dar continuidad al viaducto.

Posterior al habilitado del acero sobre las pre-losas, se realiza el vaciado de concreto mediante bombas hidráulicas. Las pre-losas cumplen la función de encofrado perdido por lo que no es necesario usar encofrado, excepto en la transición entre tableros, en donde es necesario colocar listones de madera para evitar desperdicio de concreto.

Finalmente y luego del vaciado del tablero se trabaja en la habilitación del acero de los diafragmas para posteriormente colocar el encofrado y el pase de los ductos para el postensado de estas estructuras. Luego se realiza el vaciado de concreto de los diafragmas y finalmente se hace el tensado.

3.1.11 Montaje de Bordes típicos

Los bordes típicos son elementos prefabricados que cumplen la función de parapetos, y que permiten la instalación de los postes de acero para el paso de los cables de catenaria; además brindan seguridad para la circulación del personal que trabaja sobre el viaducto, evitando riesgo de caída.

Su ubicación sobre el Viaducto, se realiza utilizando un camión grúa de 40 ton; el trabajo se desarrolla posterior al vaciado de concreto del tableros y de los diafragmas de tal manera de tener una superficie de trabajo que permita el montaje de los bordes y su apuntalamiento, esto último con la finalidad de evitar la caída de los bordes.

3.1.12 Canaletas

En el proyecto se han definido dos tipos de canaletas: laterales y centrales. Las laterales se construyen en los bordes laterales del tablero del viaducto y sirven como base de los bordes típicos.

Mientras que las canaletas centrales se ubican en el eje central del viaducto sobre el tablero, estos elementos son prefabricados por lo que su producción es a nivel del terreno y son izados al viaducto mediante un camión grúa.

Ambas canaletas, laterales y centrales cumplen la función de estructuras de protección para el tendido de cables de los sistemas electromecánicos, como son los cables de media tensión y los cables de fibra óptica.

Las canaletas laterales se construyen in-situ ya que sirven de base para los bordes típicos. El proceso constructivo consiste en habilitar el acero de las canaletas según los detalles de ingeniería, posteriormente se prepara el encofrado y finalmente se realiza el vaciado de concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (21 MPa)

Para las canaletas centrales, se realiza su fabricación a nivel de terreno en donde se habilita el acero, se encofrado y se hace el vaciado de concreto. Luego del desencofrado las canaletas son izadas al nivel de tablero de viaducto en donde se disponen en fila siguiendo el eje del viaducto.

Se utiliza mortero mínimo de espesor 3 cm. para empalmar las canaletas a la superficie del tablero.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS RESTRICCIONES

En la etapa del Planeamiento se deben definir, además de la secuencia constructiva, las principales restricciones que se tienen para el inicio de la obra;

de tal forma que al identificar las restricciones oportunamente se realice la liberación de cada frente de trabajo a fin de garantizar el cumplimiento de lo que se planea.

En este trabajo se definen las restricciones como toda aquella acción, situación u objeto que impida el desarrollo continuo de las actividades previstas en la secuencia constructiva, que para este trabajo es la ejecución del Viaducto elevado.

De esta forma para el desarrollo del trabajo se identificaron restricciones como: definiciones de Ingeniería, Interferencias de luz, agua, desagüe, desvío del tránsito vehicular, logística de materiales y equipos, reclutamiento de personal, entre otros.

3.2.1 Ingeniería

Como parte del alcance del proyecto se contempla la elaboración del Expediente Técnico de Obra, dentro del cual se incluye la Ingeniería del Viaducto elevado.

Es en ese sentido que según los requerimientos, para el inicio de ejecución se exige al contratista que cuente con la aprobación del Expediente Técnico parcial de cada frente en ejecución.

Es por esta razón que la primera restricción que surge es la aprobación del (los) expediente (s) que conforman el Viaducto y que debe ser aprobado por el Supervisor y por la entidad para, a partir de ahí iniciar la obra.

Una vez que la supervisión de obra y la entidad aprueban mediante Resolución Directoral el Expediente Técnico Parcial se está aprobando planos para construcción, los que forman parte del expediente.

3.2.2 Tránsito Vehicular

Debido al impacto que genera la ejecución de la obra sobre la avenida Próceres de la Independencia en el distrito de San Juan de Lurigancho, es necesaria e

indispensable la elaboración de un Plan de Desvío del Tráfico que permita alternativas de circulación de los vehículos particulares y de transporte público.

El Plan de Desvío debe ser revisado y aprobado por la entidad a fin que se haga efectivo en su aplicación y pueda ejecutarse antes y durante el desarrollo de la obra.

Esta restricción debe ser una de las primeras en tener en cuenta en todo tipo de obra que se ejecute en el medio urbano, pues mitiga los impactos que genera en el transporte; específicamente en el transporte público.

Para el proyecto en desarrollo se dividieron los 12.40 Km de viaducto en cuatro (04) sectores para la elaboración del Plan de desvío.

Es así que el tramo V del Viaducto elevado corresponde a la Etapa 4 del Plan de Desvío del proyecto Metro de Lima. En el Anexo N°1 se encuentra el plan de desvío que comprende al tramo V, el cual abarca desde la avenida El Sol hasta el Jr. Educación.

3.2.3 Interferencias

Para identificar las interferencias que se presentan en la zona de trabajo es importante la inspección o visita a la zona a trabajar.

Las principales interferencias que se encontraron en el tramo V, entre las avenidas Héroes del Cenepa y Santa Rosa en el distrito de San Juan de Lurigancho, fueron las que se detallan:

- Interferencias Eléctricas (Redes de Alta, media y baja tensión)
- Interferencias de Redes de Agua
- Interferencias de Redes de Desagüe
- Redes de Telecomunicaciones (Fibra óptica)
- Semáforos

En el siguiente cuadro se detallan todas las interferencias que se encontraron a lo largo del tramo V.

Tabla N° 05: Descripción de Interferencias en Tramo V

TRAMO	INTERFERENCIA	UBICACION	OPERADORA
V	Línea de Alta Tensión de 60 KV	Localizado en la Av. Próceres de la Independencia	Edelnor
	Tubería de Desagüe CSN 600 mm Operativo	Localizado entre A. Bayovar y Av. Santa Rosa	Sedapal
	Tubería de Agua A/C 600 mm Operativo con Cable Eléctrico de Control	Localizado entre calle Los Sociólogos y Av. El Bosque	Sedapal
	3 Cables de Baja Tensión Operativo	Localizado en la Av. Próceres de la Independencia/paralelo al complejo IPD	Edelnor
	Tubería de Desagüe CSN 600 mm Operativo	Localizado en la Av. Próceres de la Independencia/paralelo al complejo IPD	Sedapal
	3 Líneas de cableado eléctrico de BT Operativo	Localizado en la Av. Wiese S/N Paralela al complejo I.P.D	Edelnor
	Tubería de desagüe de 8" Operativo	Localizado en la Av. Wiese S/N Paralela al complejo I.P.D	Edelnor
	Tubería de desagüe 200 mm CSN Operativo	Localizado en la Av. Bayovar	Sedapal
	Cableado Semafórico	Localizado en la Av. Bayovar	Municipalidad de San Juan de Lurigancho
	Cableado Telefónico Operativo	Localizado en Jr. Ricardo Palma	Telefónica
	Tubería de Agua 250 mm A/C Operativo	Localizado en Jr. Valencia	Sedapal
	Cableado Telefónico Operativo	Localizado en Jr. Los Magistrados	Telefónica
Tubería de Agua 160 mm A/C Operativo	Localizado en Jr. Los Antropólogos	Sedapal	

3.2.4 Logística

La logística para los equipos y materiales en esta obra es sumamente importante debido a los plazos de ejecución de los frentes de trabajo, asimismo la llegada anticipada de ciertos materiales determinaran el plazo de término de la obra.

Para el presente trabajo las principales restricciones en cuanto a materiales son el acero y el encofrado; pues debido al volumen de material a consumir y la demanda del mercado, es necesario evaluar la producción de los proveedores así como los picos de consumo que se generan en la obra.

Por otro lado el suministro del concreto, material básico para obras de concreto armado, se debe manejar en este tipo de obras de forma especial, pues en el mercado no se cuenta con diversidad de proveedores, así como con capacidad instalada de sus plantas de producción por lo que es necesario evaluar la construcción de una planta de producción de concreto dedicada a la obra, a fin de atender la demanda.

3.3 CANTIDAD DE TRABAJO A EJECUTAR

La disposición en el terreno y la cuantificación del trabajo a ejecutar es el siguiente paso para el diseño del Planeamiento en cadena.

Luego de establecer el procedimiento constructivo del viaducto se indica la cantidad de ejes que constituyen el tramo V, así como las progresivas en donde se ubican.

En el siguiente cuadro se indican los 37 ejes que constituyen el tramo V del Viaducto y sus respectivas progresivas, con una longitud total del viaducto típico del tramo V de 937.00 ml:

Tabla N° 06: Ubicación de ejes del Viaducto

TRAMO	EJE	PROGRESIVA
V	V1	32+459.225
	V2	32+494.225
	V3	32+529.225
	V4	32+554.225
	V5	32+579.225
	V6	32+604.225
	V7	32+639.225
	V8	32+664.225
	V9	32+689.225
	V10	32+714.225
	V11	32+739.225
	V12	32+769.225
	V13	32+794.225
	V14	32+819.225
	V15	32+844.225
	V16	32+869.225
	V17	32+904.225
	V18	32+929.225
	V19	32+954.225
	V20	32+979.225
	V21	33+004.225
	V22	33+029.225
	V23	33+054.225
	V24	33+079.225
	V25	33+100.225
	V26	33+125.225
	V27	33+150.225
	V28	33+171.225
	V29	33+196.225
	V30	33+221.225
	V31	33+246.225
	V32	33+271.225
	V33	33+296.225
	V34	33+321.225
	V35	33+346.225
	V36	33+371.225
	V37	33+396.225

Los ejes del viaducto se agrupan en módulos, típicos y no típicos; la clasificación va a depender de las características de los vanos que conforman el módulo.

El tramo V tiene 08 módulos comprendidos entre los ejes V1 hasta V37, que se indican en los siguientes esquemas:

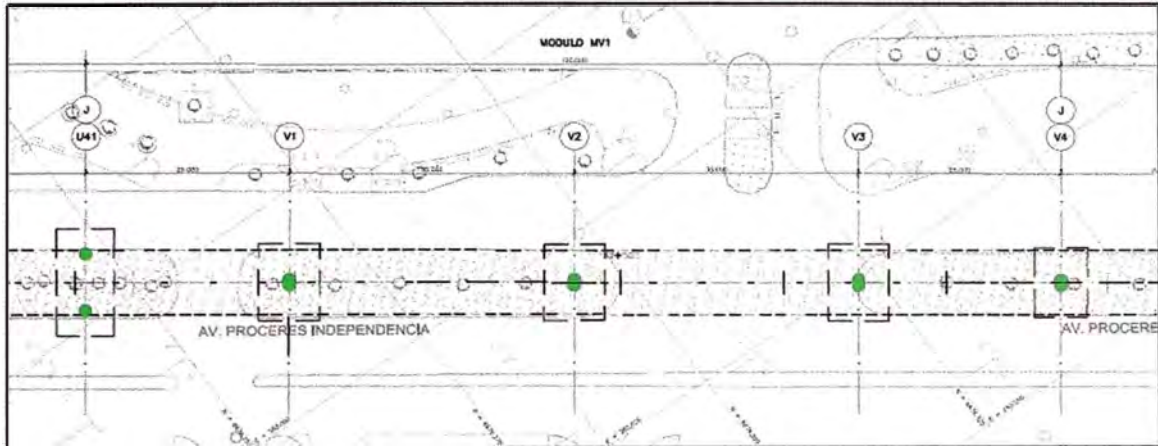


Figura N° 13: Modulo MV1, entre ejes V1 hasta V4

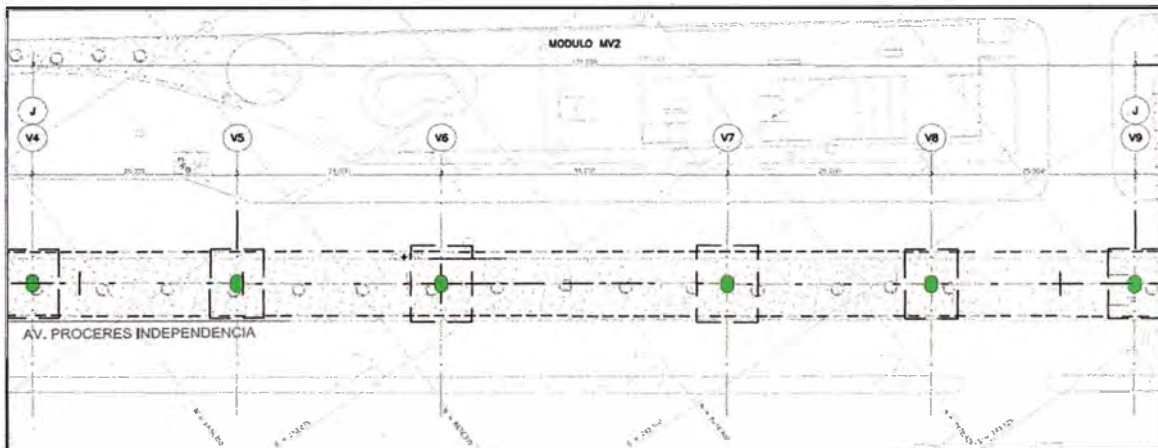


Figura N° 14: Modulo MV2, entre ejes V5 hasta V9

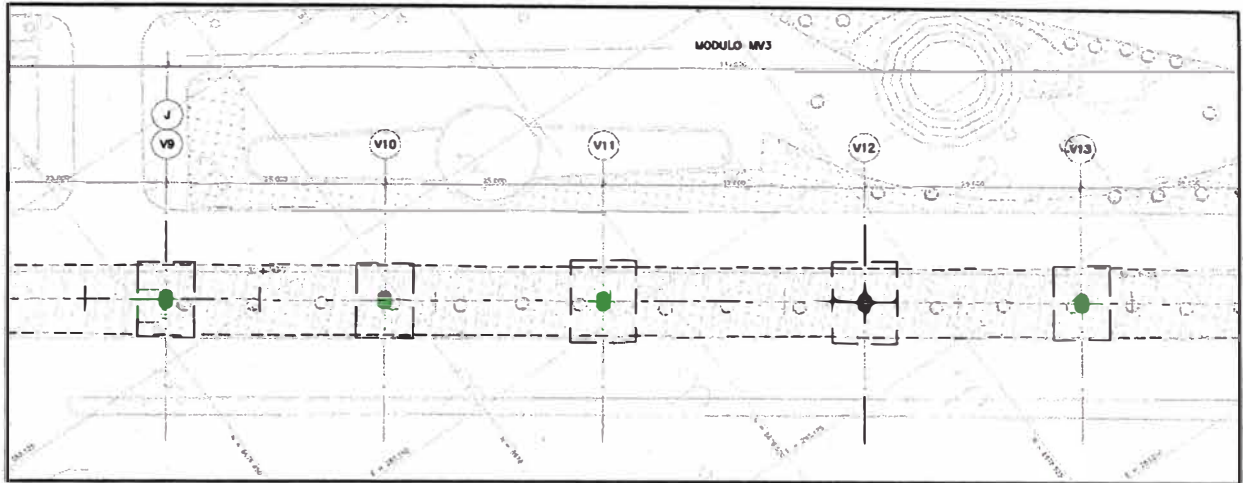


Figura N° 15: Modulo MV3, entre ejes V10 hasta V14

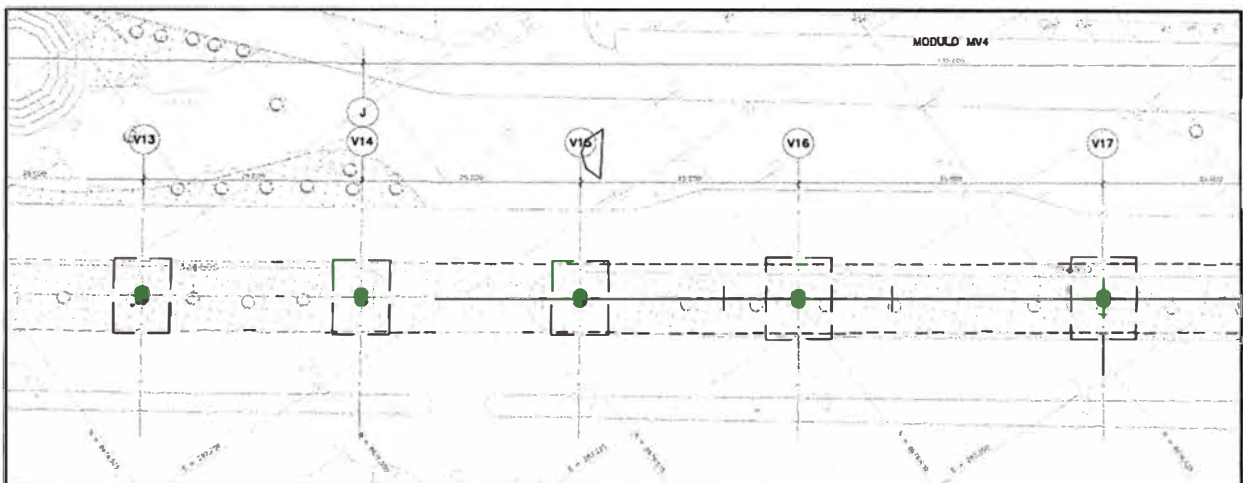


Figura N° 16: Modulo MV4, entre ejes V15 hasta V19

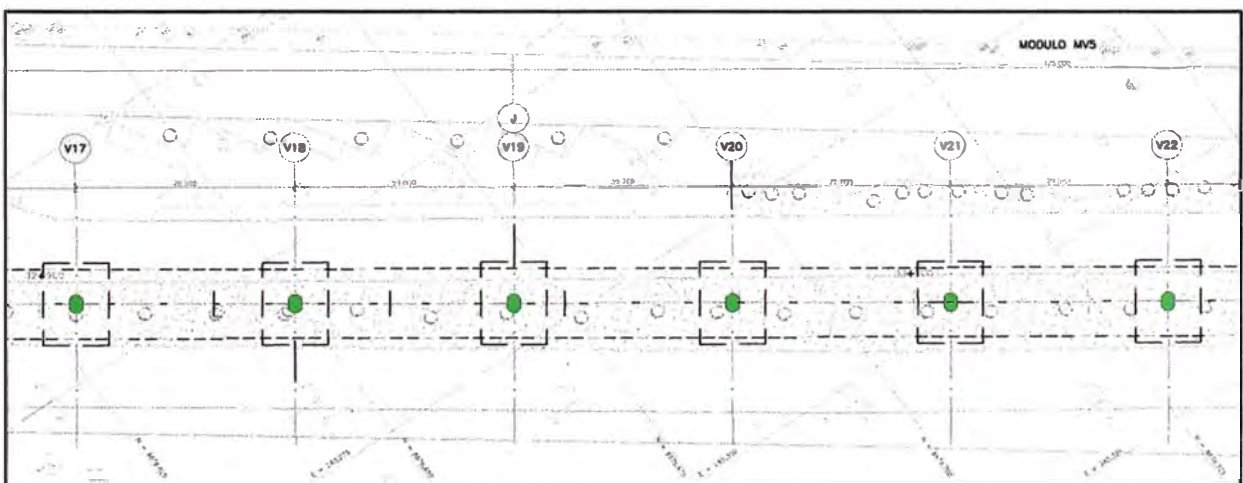


Figura N° 17: Modulo MV5, entre ejes V20 hasta V24

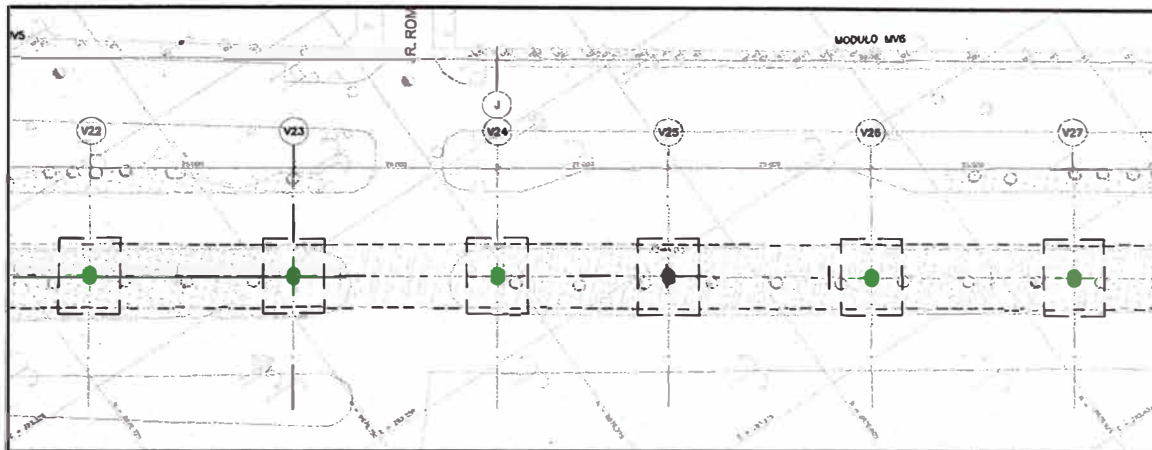


Figura N° 18: Modulo MV6, entre ejes V25 hasta V28

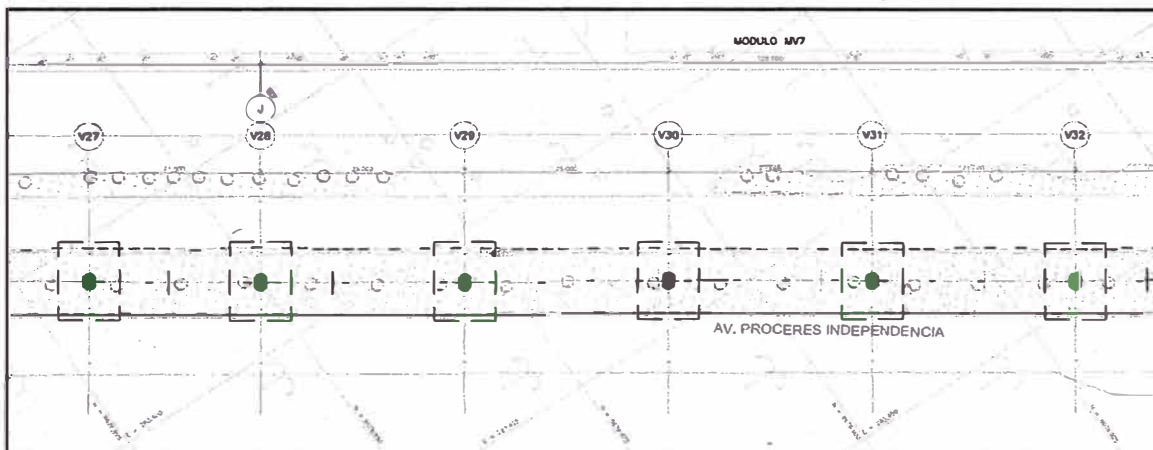


Figura N° 19: Modulo MV7, entre ejes V29 hasta V33

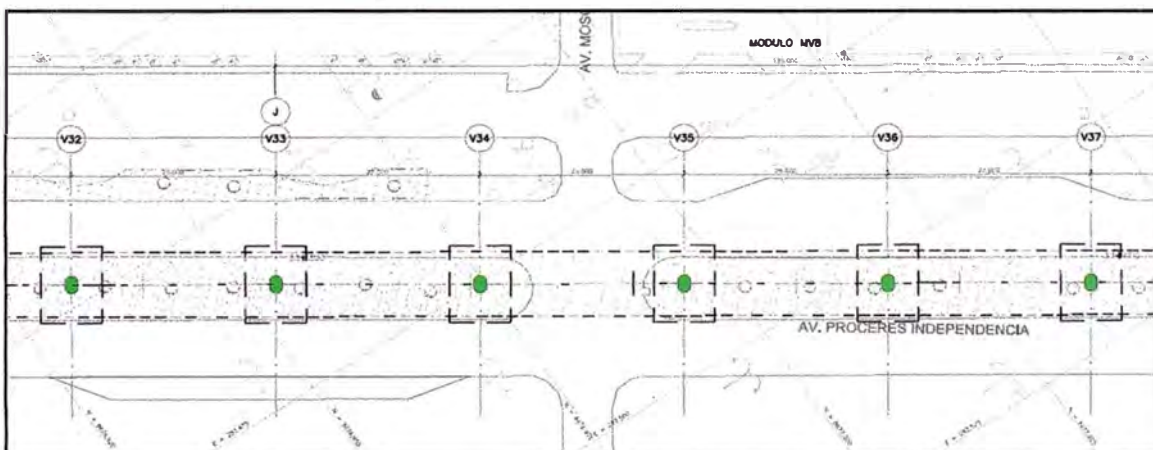


Figura N° 20: Modulo MV8, entre ejes V34 hasta V37

Al tener la cantidad total de ejes y su ubicación en el terreno, cuantificar el volumen de material que se va a utilizar para dimensionar las cuadrillas, representa la principal tarea para el desarrollo del Planeamiento en cadena.

El metrado de cada una de las actividades indicadas en el Procedimiento Constructivo, parte de los Planos para construcción revisado y aprobados por la Supervisión.

En la figura se muestra un plano típico de la estructura del Viaducto, Zapata y Columna, y de la cual se realiza el metrado respectivo:

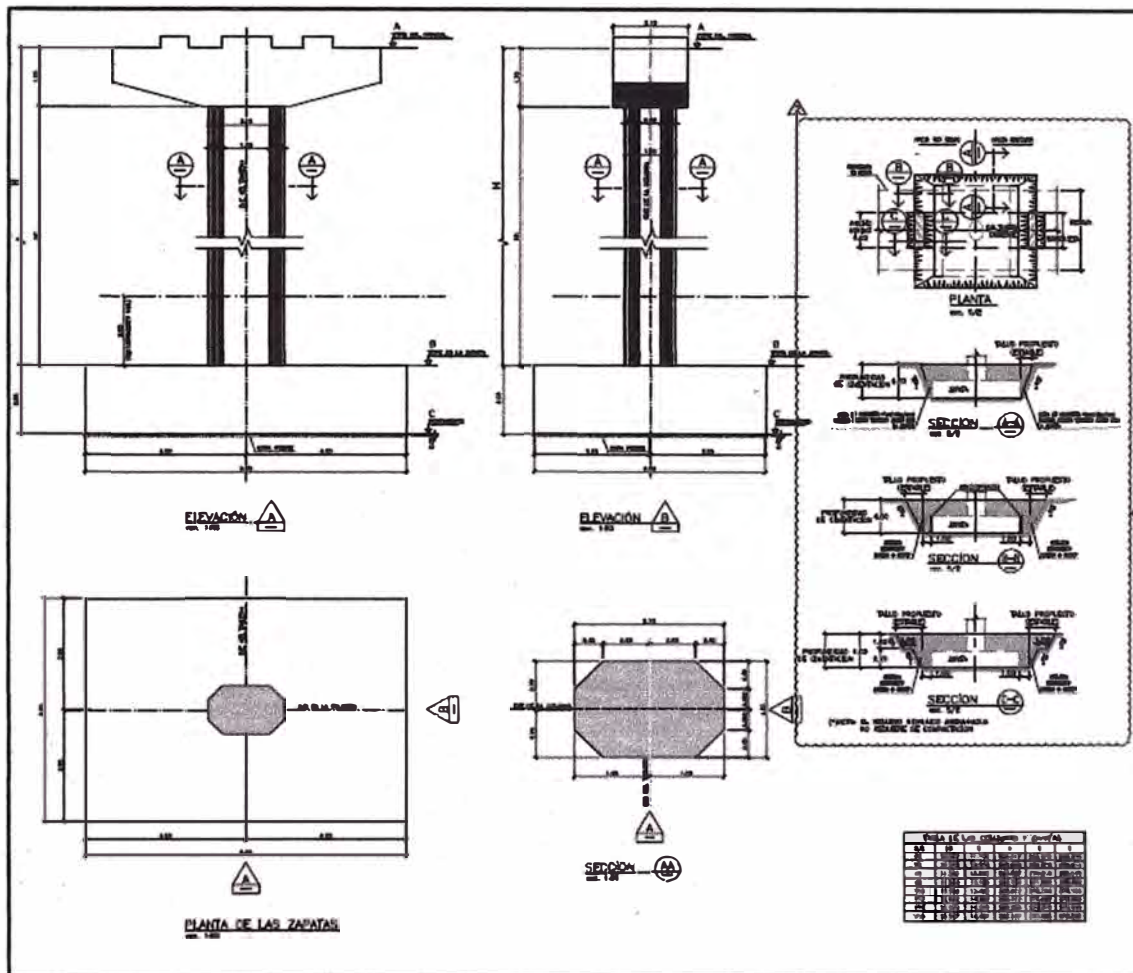


Figura N° 21: Plano para construcción Típico de la Zapata y Columna del Viaducto.

Luego de realizar el metrado de cada uno de los ejes del Viaducto Tramo V, se prepara la planilla de metrados final que servirá para el dimensionamiento de las cuadrillas.

En el siguiente cuadro, se indica el metrado de las actividades principales para el eje V1 del Viaducto:

Tabla N° 07: Metrado de Eje V1

ACTIVIDAD	PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD
Excavación	Movimiento de tierra	562.05	m3
Zapata	Acero	20,118.87	kg
	Concreto	150.00	m3
Columna	Acero	9,293.93	kg
	Concreto	30.99	m3
Viga Cabezal	Acero	9,175.50	kg
	Concreto	24.69	m3
Relleno	Movimiento de tierra	297.74	m3

En el Anexo N°2, se muestra la planilla completa de metrados para los 37 ejes del Viaducto en Tramo V.

En el siguiente cuadro se indica el resumen del volumen total del trabajo que representa la ejecución de los 37 ejes del Viaducto.

Tabla N° 08: Resumen de Metrados Viaducto Subestructura Tramo V

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD
MOVIMIENTO DE TIERRA		
Excavación	m3	17,712.84
Relleno con Material Propio	m3	7,799.81
Relleno con Material de Préstamo	m3	2,473.70
ZAPATAS		
Solado (e=5cm)	m2	2,643.00
Acero fy=42 MPa para Zapata	kg	713,659.75
Concreto fc=21 MPa para Zapata	m3	5,286.00
COLUMNAS		
Acero fy=42 MPa para Columnas A706	kg	379,517.49
Concreto fc=28 MPa para Columnas	m3	1,425.89
VIGAS CABEZALES		
Acero fy=42 MPa para Cabezales	kg	305,913.45
Concreto fc=28 MPa para Cabezales	m3	882.75

3.4 PLANEAMIENTO EN CADENA DEL TRAMO V

En esta etapa del trabajo se describirá la forma en que se desarrolló en Planeamiento y Programación en Cadena del Tramo V del Viaducto elevado del Metro de Lima.

Como ya se indicó en los capítulos anteriores el conocimiento de la Teoría de Producción en Cadena, sumados al entendimiento del proceso constructivo del objeto de construcción y el análisis de las principales restricciones que afectarían a una obra se reflejan en el Planeamiento propuesto.

3.4.1. Desmembramiento del Proceso de Construcción

Para la elaboración del presente trabajo se alcanzó el nivel de detalle necesario para identificar las actividades que requieren ser previstas con anticipación para evitar alguna paralización en el proceso de ejecución.

Se desarrolló un desmembramiento a nivel de Operaciones, pues abarca las actividades de control que se encuentran en el presupuesto y además se consideraron actividades que normalmente no son tomadas en cuenta en la programación tradicional y que sin embargo generan tiempos muertos, como por ejemplo: las liberaciones de estructuras realizadas conjuntamente con el Supervisor de la obra.

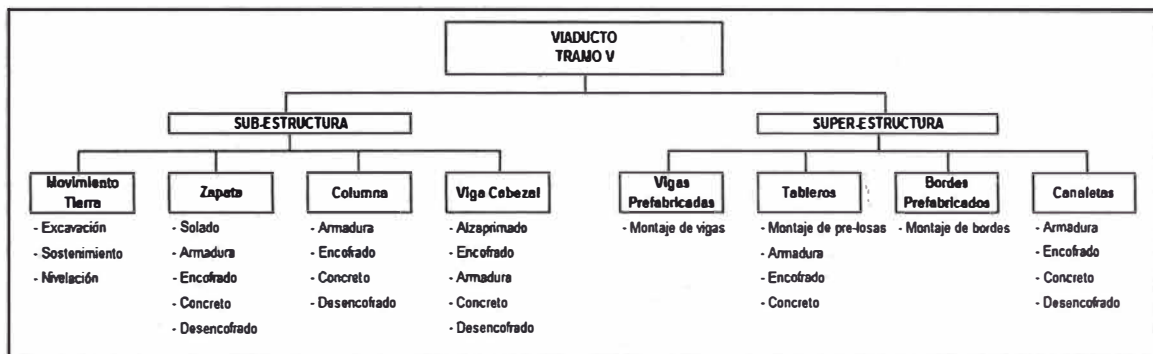


Figura N° 22: Desmembramiento del Proceso de Construcción para el Viaducto elevado – Tramo V

3.4.2. Construcción del Normal Tecnológico

Según la teoría de Construcción en Cadena, luego de analizar el proceso de construcción y hacer el desmembramiento, hasta el nivel que se vea conveniente según el grado de complejidad del objeto de construcción, se trabaja en el desarrollo de la Normal Tecnológica, pues esta es la base para la elaboración del tren de Actividades y el Ciclograma.

Para fines de este trabajo se analizaron las dos etapas del Viaducto, sub-estructura y súper-estructura, de forma independiente; pues si bien el objeto de construcción es la finalización de ambos y la segunda etapa depende directamente de la primera, en la unión de las dos normales tecnológicas el ensamble de ambas etapas será el montaje de las vigas prefabricadas. Esto implica que al ser la tarea de Montaje de vigas prefabricadas una actividad que no tiene conexión in-situ con los cabezales ni con las pre-losas permite analizar las dos etapas de forma independiente.

En la siguiente figura, se analiza el criterio planteado en el párrafo anterior, donde la sub-estructura conecta con el tablero y toda la súper-estructura a través de las vigas prefabricadas.

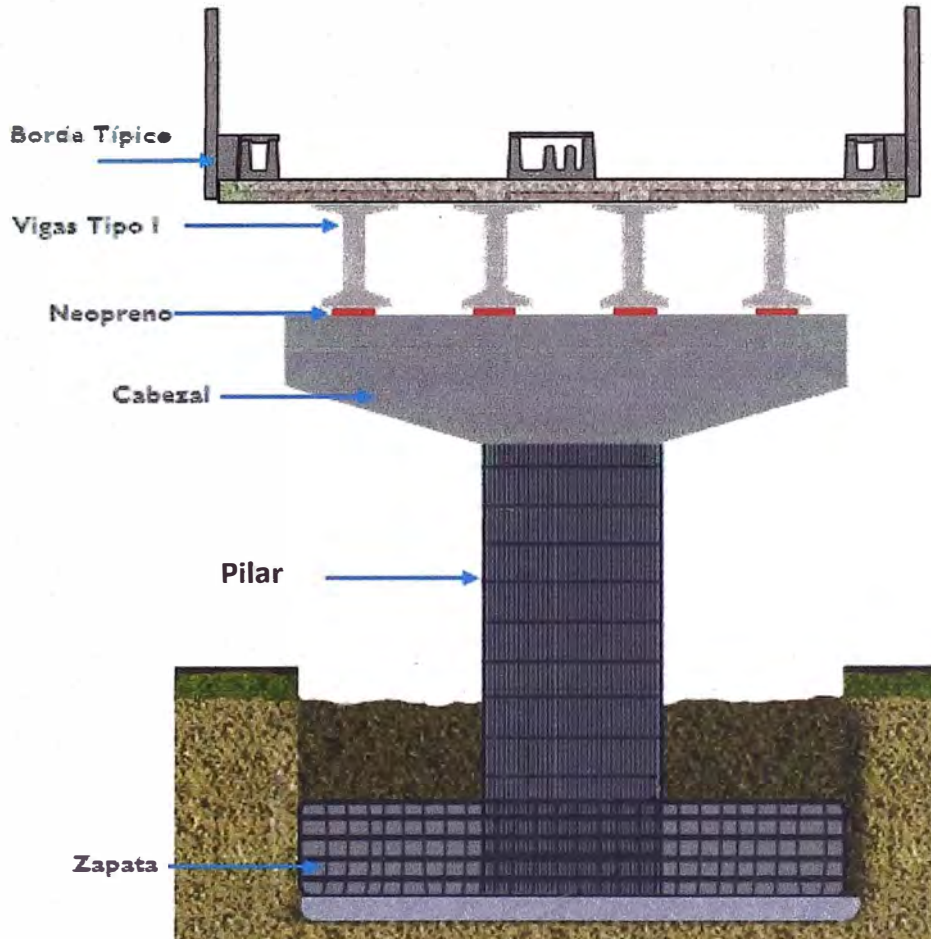


Figura N° 23: Proceso de Construcción del Viaducto

En el Anexo N°3 se presenta la normal tecnológica de la sub-estructura y la súper-estructura.

3.4.3. Construcción de la Programación en Cadena

Una vez elaborada la Normal tecnológica del Objeto de Construcción, que para este Informe es el Viaducto elevado, se procede a analizar de la misma forma todas las unidades de producción bajo el esquema planteado en la etapa anterior.

Revisar el Anexo N°4, donde se encuentra el Tren de Actividades o Programación en Cadena del Tramo V, para la subestructura.

3.4.4. Ciclograma de la Cadena del Objeto

El Ciclograma de la cadena del objeto de construcción viaducto elevado, parte de la Normal tecnológica que se muestra en el Anexo N°4.

Principalmente el ciclograma muestra gráficamente el desarrollo del objeto de construcción a partir de la consideración que es un esquema grafico de la duración de la tarea para cada elemento que compone el objeto de construcción.

El Ciclograma de la Cadena del Objeto también es conocido en el medio local de construcción como Gráfico Tiempo – Camino, pues refleja claramente la secuencia lógica de trabajo para cada progresiva o ubicación de los frentes que conforman el proyecto.

En el proyecto que es centro de análisis de este informe se utilizó la herramienta gráfica del Tiempo – Camino o Ciclograma para identificar los periodos de tiempo en donde se necesitarían más recursos y la cantidad de frentes que se tendrían en la ejecución, a fin de cuantificar los costos de los recursos involucrados, además de costear las movilizaciones de un frente a otro.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se comprueba que a través de la Programación en cadena se sistematiza la ejecución del objeto de construcción, la cual para este trabajo es el Tramo V del Viaducto elevado. Esto quiere decir que al tener en el proyecto varias actividades que se repiten en varias ocasiones las cuadrillas destinadas a cada actividad van mejorando su desempeño y la curva de aprendizaje se acelera, pues en cada unidad de tiempo repiten la actividad.
- En el Tren de Actividades o Programación en Cadena presentado se alcanza el nivel de detalle necesario para poder dimensionar las cuadrillas tal que se cumpla con el plazo requerido. En cada actividad se ha logrado definir la cantidad de cuadrillas que son necesarias para cumplir con la cantidad de trabajo que se requiere, esto como consecuencia que se ha buscado tener una cadena de producción rítmica.
- Durante el desarrollo del planeamiento se logró identificar que, además de las actividades previstas como parte del procedimiento constructivo, es importante indicar en el planeamiento aquellas tareas que impactan directamente en el desarrollo continuo de la actividad, como son las liberaciones por parte de la supervisión, o por parte del área de calidad del contratista. Toda vez que estas actividades representan tiempos en los cuales, por proceso de liberación, no se continúa con el proceso.
- Como resultado del Ciclograma para el Tramo V, se llega a la conclusión que las actividades que tienen mayor incidencia en el planeamiento son el habilitado de los aceros, tanto de la zapata, pilares y viga cabezal. Asimismo los trabajos de relleno y compactación, como el habilitado del andamio para los cabezales representan tareas que marcan el ritmo de la

producción en cadena. Pues son actividades que tiene un tiempo de ejecución mayor a la unidad por cada cuadrilla, por lo que para cumplir con la secuencia planteada y evitar tiempos improductivos es necesario incrementar las cuadrillas.

- A partir de la Normal tecnológica del Viaducto se logra determinar que el ciclo de producción de la sub-estructura es de 50 días, mientras que el de la súper-estructura es de 27 días.
- La aplicación de la teoría de Producción en Cadena o Tren de Actividades es fundamental para obras de tipo lineal como es el Metro de Lima, por cuanto al tener cantidades de elementos como zapatas, columnas o cabezales que se repiten en varias ocasiones permite un aprendizaje de las cuadrillas mucho más rápido del que se tendría si fueran pocas unidades de producción.
- La aplicación de la metodología utilizada en este trabajo dio como resultado, establecer la secuencia constructiva del objeto de construcción y a partir de ello realizar el seguimiento y control para cumplir con la fecha de entrega.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere que en lo posible, para la elaboración de la Normal tecnológica, se tomen en consideración las tareas referidas a liberaciones tanto con la supervisión de obra como con las áreas de apoyo como Calidad o Topografía. Pues como se ha podido ver en el presente trabajo el considerar estas tareas refleja más certeramente lo que se hará en el campo y nos dará una estimación más exacta del plazo de ejecución.
- Se recomienda para obras que se ejecutan en la zona urbana, establecer en todos los proyectos un área de Interferencias que se encargue de identificar y gestionar su liberación a fin de tener continuidad en el desarrollo de los trabajos y evitar paralizaciones por causa de interferencias no identificadas a tiempo.
- A manera de lección aprendida se deben tener, en la etapa del planeamiento de una obra, reuniones semanales con los encargados de la Ingeniería y los responsables de ejecutar en campo lo indicado en los planos; es decir involucrar a los responsables de elaborar los planos para construcción así como el personal en campo que realizará la obra, tanto ingenieros, capataces, operarios y peones.

BIBLIOGRAFIA

- Glenn Ballard, H (2000) “The Last Planner System of Production Control”.
- Graña y Montero (2008) “Manual de Gestión d Proyectos de construcción”
- Ríos Segura, Juan (2013) Apuntes de Clase del Curso de Titulación.
- Valerio Rosas, Luis A. “Planeamiento, Programación y la Optimización de recursos en la construcción de Pavimentos Urbanos”. Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, Perú, 2001.

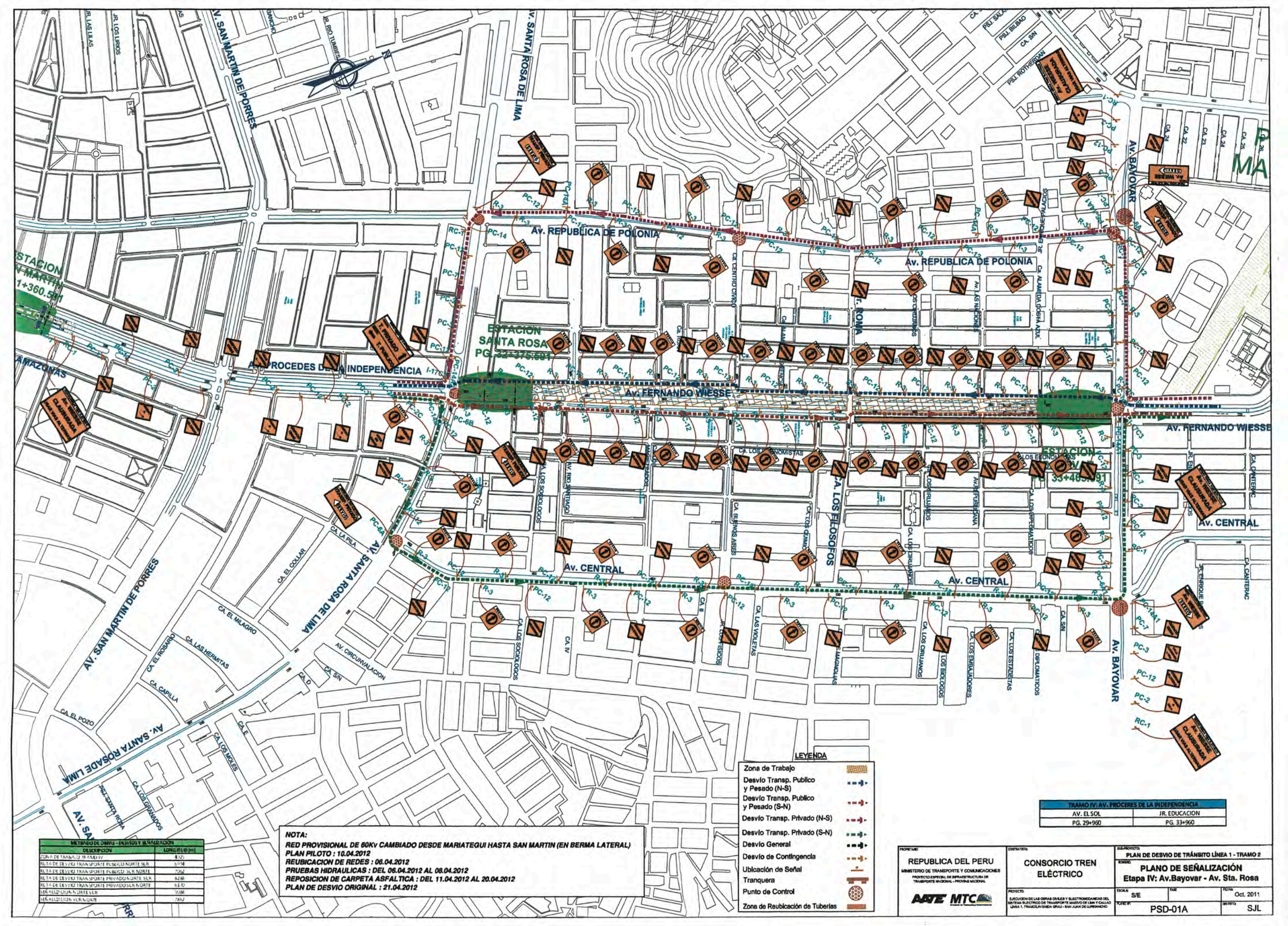
ANEXOS

ANEXO 1: PLAN DE DESVIO PARA EL TRAMO V

Como parte del análisis de restricciones, está el cuantificar la cantidad de vehículos que circulan por la vía que se va a intervenir, en este caso la Av. Próceres de la Independencia entre los cruces con las Av. Héroes del Cenepa hasta la Av. Santa Rosa, todo en el distrito de San Juan de Lurigancho.

Además de determinar la cantidad de vehículos que circulan por la vía en estudio, es necesario plantear rutas alternas de circulación que impacten lo menos posible en la calidad de vida de los usuarios del transporte público, conductores y peatones en general.

De esta forma en este Anexo se indica el Plan de Desvío utilizado en la ejecución del viaducto elevado del Tramo V.



NOTA:
 RED PROVISIONAL DE 60KV CAMBIADO DESDE MARIATEGUI HASTA SAN MARTIN (EN BERMA LATERAL)
 PLAN PILOTO : 10.04.2012
 REUBICACION DE REDES : 06.04.2012
 PRUEBAS HIDRAULICAS : DEL 06.04.2012 AL 08.04.2012
 REPOSICION DE CARPETA ASFALTICA : DEL 11.04.2012 AL 20.04.2012
 PLAN DE DESVIO ORIGINAL : 21.04.2012

DESCRIPCION	LONGITUD [m]
TRAMO DE OBRAS - DESVIO Y REUBICACION	
TRAMO DE OBRAS - DESVIO Y REUBICACION	812
REUBICACION DE REDES	6774
REUBICACION DE REDES	7062
REUBICACION DE REDES	8288
REUBICACION DE REDES	6130
REUBICACION DE REDES	7208
REUBICACION DE REDES	7862

LEYENDA

Zona de Trabajo	
Desvío Transp. Publico y Pesado (N-S)	
Desvío Transp. Publico y Pesado (S-N)	
Desvío Transp. Privado (N-S)	
Desvío Transp. Privado (S-N)	
Desvío General	
Desvío de Contingencia	
Ubicación de Señal Tranquera	
Punto de Control	
Zona de Reubicación de Tuberías	

TRAMO IV: AV. PROCEDERES DE LA INDEPENDENCIA	
AV. EL SOL	JR. EDUCACION
PG. 29+960	PG. 33+960

REPUBLICA DEL PERU MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONALES - PROGRAMA NACIONAL	CONSORCIO TREN ELÉCTRICO	PLAN DE DESVIO DE TRÁNSITO LÍNEA 1 - TRAMO 2 Etapa IV: Av. Bayovar - Av. Sta. Rosa
ARTE MTC	ESCALA: SE FECHA:	FECHA: Oct. 2011 DISEÑO: S.J.L.

ANEXO 2: PLANILLA DE METRADOS DEL VIADUCTO EN TRAMO V

Para la elaboración de la Normal Tecnológica y posterior Programación en Cadena o Tren de Actividades es necesario cuantificar la cantidad de trabajo que se va a ejecutar por cada una de las unidades de producción.

Para el desarrollo del presente informe las unidades de producción son cada uno de los ejes del viaducto. Es así que se cuantifican o metran cada uno de los procesos que conforman la unidad de producción.

El siguiente Anexo indica la cantidad de trabajo que se debe ejecutar por cada eje del viaducto para el Tramo V. En total este sector del proyecto cuenta con 37 ejes.

DESCOMPOSICION DEL VIADUCTO - TRAMO V

TRAMO	EJE	PROGRESIVA	EXCAVAC	SOLADO		ZAPATA				COLUMNA				CABEZAL				VIGAS			
			VOL (M3)	AREA	VOL (M3)	LARGO	ANCHO	VOL (M3)	ACERO (KG)	LARGO	ANCHO	ALTURA	VOL (M3)	ACERO (KG)	LARGO	ANCHO	VOL (M3)	ACERO (KG)	CANTIDAD	LONGITUD	PERALTE
V	V1	32+465.29	562.05	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	9.81	30.99	9,293.93	2.10	7.50	24.69	9,175.50			
V	V2	32+500.29	528.48	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	9.38	29.65	9,107.98	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	34.70	1.80
V	V3	32+535.29	546.45	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	9.61	30.35	9,203.92	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	34.70	1.80
V	V4	32+560.29	466.76	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,272.95	1.40	2.10	10.04	26.31	8,032.94	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	24.70	1.80
V	V5	32+585.29	452.88	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,274.43	1.40	2.10	10.38	27.19	8,176.43	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V6	32+610.29	456.44	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	10.65	33.66	9,686.10	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V7	32+645.29	527.82	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	11.01	34.80	9,821.28	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	34.70	1.80
V	V8	32+670.29	459.00	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,274.43	1.40	2.10	11.25	29.48	8,530.59	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V9	32+695.29	424.36	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,274.43	1.40	2.10	11.44	29.97	8,591.53	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	24.70	1.80
V	V10	32+720.29	436.04	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,274.43	1.40	2.10	11.76	30.82	8,732.45	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V11	32+745.29	530.56	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	11.89	37.58	10,239.57	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V12	32+775.29	527.98	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	12.44	39.31	10,480.25	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	29.70	1.80
V	V13	32+800.29	474.57	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,274.43	1.40	2.10	12.62	33.07	9,067.57	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V14	32+825.29	456.35	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,274.43	1.40	2.10	12.67	33.20	9,094.87	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	24.70	1.80
V	V15	32+850.29	423.04	58.50	2.93	9.00	6.50	117.00	16,272.95	1.40	2.10	12.79	33.50	9,139.44	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V16	32+875.29	494.07	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	12.99	41.06	10,740.12	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V17	32+910.29	506.31	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.10	41.41	10,786.27	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	34.70	1.80
V	V18	32+935.29	498.76	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.14	41.53	10,798.78	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V19	32+960.29	493.64	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.33	42.13	10,886.38	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	24.70	1.80
V	V20	32+985.29	504.52	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.39	42.32	10,919.35	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V21	33+010.29	508.27	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.52	42.71	10,971.82	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V22	33+035.29	505.70	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.58	42.91	11,007.88	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V23	33+060.29	497.75	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.48	42.59	10,961.33	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V24	33+085.29	510.37	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.55	42.81	10,979.63	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	24.70	1.80
V	V25	33+106.29	477.84	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.72	43.35	11,061.02	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	20.70	1.80
V	V26	33+131.29	477.80	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.79	43.57	11,099.22	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V27	33+156.29	438.54	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.87	43.84	11,138.90	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V28	33+177.29	473.98	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.84	43.74	11,113.49	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	20.70	1.80
V	V29	33+202.29	476.58	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.90	43.93	11,149.57	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V30	33+227.29	433.15	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	14.02	44.30	11,197.87	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V31	33+252.29	422.44	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	14.05	44.39	11,207.42	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V32	33+277.29	434.71	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	14.01	44.26	11,194.64	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V33	33+302.29	431.34	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,118.87	1.55	2.30	13.85	43.76	11,116.20	2.10	7.50	23.82	4,378.35	04	24.70	1.80
V	V34	33+327.29	443.99	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.88	43.85	11,142.01	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V35	33+352.29	464.84	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.76	43.49	11,092.50	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V36	33+377.29	467.94	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.58	42.92	11,007.88	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80
V	V37	33+402.29	477.52	75.00	3.75	10.00	7.50	150.00	20,120.54	1.55	2.30	13.02	41.14	10,746.36	2.10	7.50	24.69	9,175.50	04	24.70	1.80

ANEXO 3: NORMAL TECNOLÓGICA DE LA SUB Y SUPER ESTRUCTURA

PARTIDA	ITEM	DESCRIPCIÓN	DÍA 0	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	DÍA 9	DÍA 10	DÍA 11	DÍA 12	DÍA 13	DÍA 14	DÍA 15	DÍA 16	DÍA 17	DÍA 18	DÍA 19	DÍA 20	DÍA 21	DÍA 22	DÍA 23	DÍA 24	DÍA 25	DÍA 26	DÍA 27	DÍA 28	DÍA 29	DÍA 30	
		Vanos Típicos																																
Montaje	0	Montaje de Vigas	V1																															
Otros	1	Transporte de prelosas		V1																														
Montaje	2	Montaje de prelosas (1ra Cuadrilla)			V1	V1																												
Montaje	3	Montaje de prelosas (2da Cuadrilla)																																
Acero	4	Acero de Tablero + Tubería de PVC de drenaje (1ra Cuadrilla)					V1	V1	V1																									
Acero	5	Acero de Tablero + Tubería de PVC de drenaje (2da Cuadrilla)																																
Acero	6	Acero de Tablero + Tubería de PVC de drenaje (3ra Cuadrilla)																																
Concreto	7	Concreto de Tablero								V1																								
Otros	8	Tecnopor inferior en Diafragma									V1																							
Acero	9	Colocación Acero + Restricción + Vainas de postensado (1ra Cuadrilla)										V1	V1																					
Acero	10	Colocación Acero + Restricción + Vainas de postensado (2da Cuadrilla)												V1	V1																			
Encofrado	11	Encofrado de Diafragma (1ra Cuadrilla)													V1	V1																		
Encofrado	12	Encofrado de Diafragma (2da Cuadrilla)																																
Concreto	13	Concreto de Diafragma														V1																		
Otros	14	Postensado de Diafragma															V1																	
Otros	15	Inyección de Concreto en Vainas de postensado																V1																
Otros	16	Transporte de Borde Típico																V1																
Montaje	17	Montaje de Borde Típico																	V1															
Acero	18	Colocación Acero de Canaletas Laterales																		V1														
Encofrado	19	Encofrado de Canaletas Laterales																			V1													
Concreto	20	Concreto de Canaletas Laterales																				V1												
Encofrado	21	Desencofrado de Canaletas Laterales																					V1											
Acero	22	Acero de Bordes de Catenaria																					V1											
Encofrado	23	Encofrado de Bordes de Catenaria																						V1										
Concreto	24	Concreto de Bordes de Catenaria																							V1									
Encofrado	25	Encofrado de cajuelas de post-tensado en diafragma																							V1									
Concreto	26	Concreto de cajuelas de post-tensado en diafragma																								V1								
Otros	27	Transporte de Canaleta Central																								V1								
Montaje	28	Montaje de Canaleta Central																										V1						
Concreto	29	Solado y colocación de Canaleta Central																												V1				
Otros	30	Colocación de Tapajunta																													V1			

ANEXO 4: TREN DE ACTIVIDADES DEL TRAMO V

CICLOGRAMA DEL VIADUCTO ELEVADO TRAMO V METRO DE LIMA LINEA 1 TRAMO 2

