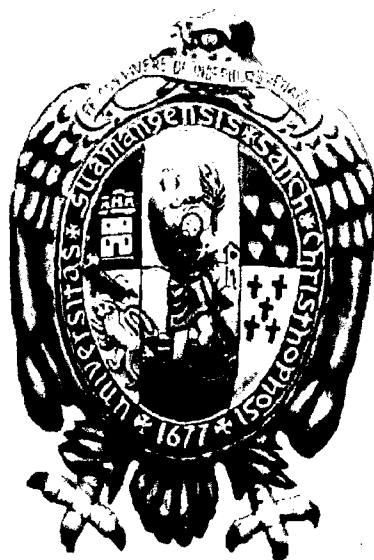


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Aplicación de Lego de Concreto en la Construcción de  
Viaductos de Trenes: Caso de Estudio Tren Eléctrico de Lima**

Presentado por : YUCRA RODAS, Rómulo

Dirigido por : Ing. Cristian Castro Pérez


AYACUCHO PERÚ

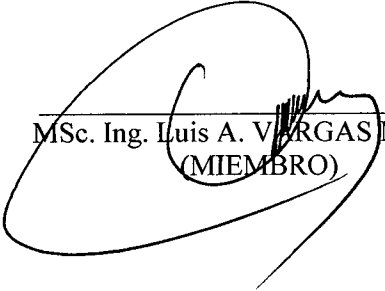
2015

“APLICACIÓN DE LEGO DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIADUCTOS DE TRENES: CASO DE ESTUDIO TREN ELÉCTRICO DE LIMA”.

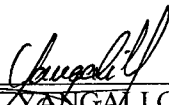
RECOMENDADO : 08 DE JULIO DEL 2015

APROBADO : 18 DE NOVIEMBRE DEL 2015

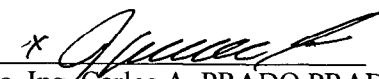
  
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO  
(PRESIDENTE)

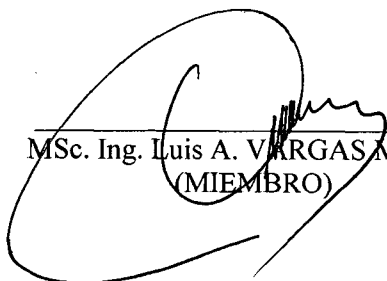
  
MSc. Ing. Luis A. VARGAS MORENO  
(MIEMBRO)

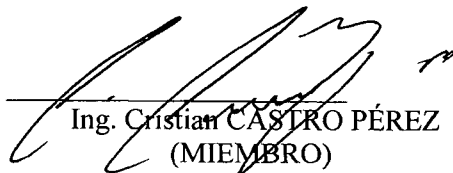
  
Ing. Cristian CASTRO PÉREZ  
(MIEMBRO)

  
Ing. Floro N. YANGALI GUERRA  
(SECRETARIO DOCENTE)

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantado el 18 de noviembre del 2015, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil Sr. **Rómulo YUCRA RODAS**, con la Tesis Titulado “**APLICACIÓN DE LEGO DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIADUCTOS DE TRENES: CASO DE ESTUDIO TREN ELÉCTRICO DE LIMA**”, fue calificada con la nota de DIECISÉIS (16) por lo que se da la respectiva **APROBACIÓN**.

  
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO  
(PRESIDENTE)

  
MSc. Ing. Luis A. VARGAS MORENO  
(MIEMBRO)

  
Ing. Cristian CASTRO PÉREZ  
(MIEMBRO)

  
Ing. Floro N. YANGALI GUERRA  
(SECRETARIO DOCENTE)

# DEDICATORIA

*A mi hermano Melanio Yucra Rodas, quien partió hacia a la eternidad; a quien hice una promesa de terminar mi carrera y sacar adelante a mi familia.*

# AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por iluminar y bendecir mi camino, haber hecho conocer las personas que conozco y poner las pruebas que han hecho de mí, la persona que soy.*

*A mis padres, Erasmo Yucra Silva e Isabel Rodas Arcce, quienes con sacrificio han hecho posible mi formación Profesional, apoyándome de manera incondicional; gracias a ustedes por apostar siempre en la educación; igualmente a mis hermanos y hermanas.*

*A mi asesor, Ing. Cristian Castro Pérez, por sus acertadas críticas y recomendaciones en la realización de la presente Tesis. Gracias por tu ayuda y tu tiempo desinteresado.*

*Al Ing. César A. Aranís García Rosell, por sus acertadas críticas y recomendaciones en la realización de la presente Tesis.*

*A todos los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil, que han volcado su sabiduría y experiencia para perfilar mis objetivos.*

*Un agradecimiento especial al Ing. Daniel Zegarra Chaparro (G.P.) y al Ing. Walter O. Fernández Córdor (R.P.); cuyas enseñanzas, experiencias, conocimientos y consejos que me inculcaron; así como su paciencia y tiempo pudieron ayudarme a crecer profesional y personalmente.*

*Al Consorcio Tren Eléctrico (Odebrecht S.A.C. y Graña y Montero S.A.), quien me dio la oportunidad de seguir una carrera Profesional en la empresa más grande del Perú "Graña y Montero S.A.", por brindarme la información y apoyo en cuanto a la investigación de campo en la Construcción de Viaductos de Trenes.*

# RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende la “**Aplicación de Lego de Concreto en la Construcción de Viaductos de Trenes: Caso de Estudio Tren Eléctrico de Lima**”, que consiste en el uso de prefabricados de concreto y presentación de un modelo del proceso constructivo, como una mejor alternativa práctica, rápida y económica, en la construcción de viaductos de trenes, con altos estándares de calidad, seguridad y medio ambiente; comparando los resultados obtenidos de un análisis cuantitativo y cualitativo, entre la construcción del Tramo 1 y el Tramo 2 de la Línea 1 del Tren Eléctrico de Lima . Además en esta investigación se muestra un análisis comparativo entre la ejecución de viaductos de trenes in-situ y el uso de elementos prefabricados desde varios puntos de vista: rentabilidad económica, plazos de ejecución, estándares de calidad, condiciones de seguridad y la sostenibilidad exigidos actualmente en el sector de la construcción; todo ello con el fin de ofrecer datos concluyentes que permitan decidir entre una estructura in-situ y una prefabricada, con pleno conocimiento de las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

**Key Words: Lego de Concreto, Prefabricados y Tren Eléctrico.**

## Abstract

*This research includes the “Using Lego Construction Concrete in Railway Viaducts: Case Study Lima Electric Train”, which consists in the use of precast concrete and providing a model of the construction process, as a best alternative practical, fast and economical construction of railway viaducts, with high standards of quality, safety and environment; comparing the results of a quantitative and qualitative analysis, including the construction of Section 1 and Section 2 of the Line 1 of the Lima Electric Train. Also in this study a comparative analysis of the implementation of railway viaducts In situ and use of prefabricated elements from several points of view is shown: economic profitability, deadlines, quality standards, safety and sustainability currently required the construction industry; all in order to provide conclusive data to decide between one-site and prefabricated structure, with full knowledge of the advantages and disadvantages of each one them.*

# Índice

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Portada</b>  |             |
| <b>Dedicatoria</b>  | <b>I</b>    |
| <b>Agradecimientos</b>  | <b>II</b>   |
| <b>Resumen</b>  | <b>III</b>  |
| <b>Índice General</b>   | <b>IV</b>   |
| <b>Índice de Figuras</b>  | <b>XIV</b>  |
| <b>Índice de Cuadros</b>  | <b>XXII</b> |
| <b>1. Introducción</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1. Generalidades . . . . .  | 1           |
| 1.2. Necesidad o motivación de la investigación . . . . .   | 2           |
| 1.3. El Problema . . . . .  | 2           |
| 1.3.1. Selección del problema . . . . .   | 3           |
| 1.3.2. Antecedentes . . . . .   | 3           |
| 1.3.2.1. Desde cuándo se tienen referencias del problema que afectan<br>en la construcción de infraestructuras. . . . . | 3           |
| 1.3.3. Formulación interrogativa del problema . . . . .   | 6           |
| 1.3.3.1. Problema principal . . . . .   | 6           |
| 1.3.3.2. Problema secundarios . . . . .   | 6           |
| 1.3.4. Justificación e Importancia . . . . .  | 7           |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.3.5. Limitaciones y restricciones de la investigación . . . . .                  | 7         |
| 1.4. Objetivos de la investigación . . . . .                                       | 8         |
| 1.4.1. Objetivo general . . . . .  | 8         |
| 1.4.2. Objetivos específicos . . . . .   | 8         |
| 1.5. Hipótesis . . . . .   | 9         |
| 1.5.1. Hipótesis global . . . . .  | 9         |
| 1.5.2. Subhipótesis . . . . .  | 9         |
| 1.6. Variables . . . . .   | 10        |
| 1.6.1. Identificación de variables . . . . .                                       | 10        |
| 1.7. Tipos de investigación y análisis . . . . .                                   | 11        |
| 1.7.1. Tipo de investigación . . . . .   | 11        |
| 1.7.2. Tipo de análisis . . . . .  | 12        |
| 1.8. Diseño de la ejecución del plan como desarrollo de la investigación . . . . . | 12        |
| 1.8.1. El universo de la investigación . . . . .                                   | 12        |
| 1.8.2. Técnicas, instrumentos e informantes o fuentes . . . . .                    | 12        |
| 1.8.3. Población de informantes y muestra . . . . .                                | 13        |
| 1.8.4. Forma de tratamiento de los datos . . . . .                                 | 13        |
| 1.8.5. Forma de análisis de informaciones . . . . .                                | 13        |
| <br>   |           |
| <b>2. Marco Teórico y Conceptual</b>   | <b>15</b> |
| 2.1. Antecedentes de prefabricados. . . . .  | 15        |
| 2.1.1. Antecedentes en el Mundo . . . . .  | 15        |
| 2.1.2. Antecedentes en el Perú . . . . .   | 17        |
| 2.2. Planta de prefabricados. . . . .  | 19        |
| 2.2.1. Prefabricación . . . . .  | 20        |
| 2.2.2. Industrialización en la Construcción . . . . .                              | 20        |
| 2.2.3. Esquema de una planta de prefabricados. . . . .                             | 21        |
| 2.2.4. Componentes de una planta de prefabricados. . . . .                         | 21        |
| 2.2.4.1. Áreas comunes. . . . .  | 21        |
| 2.2.4.2. Área administrativa. . . . .  | 22        |
| 2.2.4.3. Área operativa o de producción. . . . .                                   | 22        |
| 2.2.5. Maquinarias y equipos. . . . .  | 23        |

---

|   |    |
|---|----|
| 2.3. Viaducto . . . . .   | 23 |
| 2.3.1. Definición . . . . .   | 23 |
| 2.3.2. Características técnicas del viaducto de trenes . . . . .              | 24 |
| 2.3.2.1. Superestructura y subestructura del viaducto. . . . .                | 24 |
| 2.3.2.2. Características geométricas de la vía en la línea. . . . .           | 24 |
| 2.4. Prefabricados . . . . .  | 25 |
| 2.4.1. Definición . . . . .   | 25 |
| 2.5. Elementos prefabricados de concreto. . . . .                             | 25 |
| 2.6. Clasificación de prefabricados . . . . .                                 | 27 |
| 2.6.1. Simple . . . . .   | 27 |
| 2.6.2. Reforzado . . . . .  | 27 |
| 2.6.3. Pretensado . . . . .   | 27 |
| 2.6.3.1. Definición . . . . .   | 27 |
| 2.6.4. Postensado . . . . .   | 28 |
| 2.6.4.1. Definición . . . . .   | 28 |
| 2.7. Concepción de los Elementos Preesforzados . . . . .                      | 28 |
| 2.7.1. Definición . . . . .   | 28 |
| 2.7.2. Diagramas de Momentos Flexionantes . . . . .                           | 29 |
| 2.7.3. Diagramas de Esfuerzos . . . . .                                       | 30 |
| 2.7.4. Ventajas y Desventajas del Uso de Elementos Preesforzados . . . . .    | 31 |
| 2.7.5. Pretensado y Postensado . . . . .                                      | 32 |
| 2.7.5.1. Pretensado . . . . .   | 32 |
| 2.7.5.2. Postensado . . . . .   | 33 |
| 2.7.5.3. Deformación típica de Vigas pretensadas . . . . .                    | 35 |
| 2.7.5.4. Etapas de un elemento preesforzado . . . . .                         | 35 |
| 2.7.5.5. Perdidas de preesfuerzo. . . . .                                     | 36 |
| 2.7.5.6. Curva esfuerzo deformación de torón (diferentes diámetros) . . . . . | 37 |
| 2.8. Construcción con elementos prefabricados . . . . .                       | 38 |
| 2.8.1. Ventajas y desventajas de los sistemas prefabricados . . . . .         | 38 |
| 2.8.1.1. Ventajas: . . . . .  | 38 |
| 2.8.1.2. Desventajas: . . . . .   | 39 |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.8.2.    | Transporte de prefabricados . . . . .                              | 39        |
| 2.8.2.1.  | Equipos de transporte especializado . . . . .                      | 40        |
| 2.8.3.    | Montaje . . . . .  | 41        |
| 2.8.3.1.  | Equipos de montaje. . . . .  | 42        |
| 2.8.3.2.  | Tolerancias y holguras . . . . .                                   | 44        |
| 2.8.3.3.  | Montaje de elementos horizontales (vigas) . . . . .                | 45        |
| 2.9.      | Factores que afectan la productividad en el montaje . . . . .      | 45        |
| 2.10.     | Construcción in-situ. . . . .                                      | 47        |
| 2.10.1.   | Desventajas . . . . .  | 48        |
| 2.10.2.   | Ventajas . . . . .   | 49        |
| 2.11.     | Gestión de la seguridad en el trabajo y el medio ambiente. . . . . | 49        |
| 2.11.1.   | Plan de seguridad y salud en el trabajo . . . . .                  | 49        |
| 2.11.1.1. | Equipo de protección individual (EPI) . . . . .                    | 50        |
| 2.11.1.2. | Protecciones Colectivas . . . . .                                  | 50        |
| 2.11.1.3. | Documentos de Seguridad en el Trabajo. . . . .                     | 51        |
| 2.11.2.   | Manejo y movimiento de cargas . . . . .                            | 51        |
| 2.11.2.1. | Consideraciones antes de las actividades de trabajo. . . . .       | 51        |
| 2.11.2.2. | Consideraciones durante las actividades de trabajo. . . . .        | 52        |
| 2.11.2.3. | Consideraciones para terminar el trabajo. . . . .                  | 52        |
| 2.11.3.   | Gestión de residuos. . . . .                                       | 52        |
| 2.11.3.1. | Residuos No Peligrosos. . . . .                                    | 54        |
| 2.11.3.2. | Residuos Peligrosos. . . . .                                       | 54        |
| <b>3.</b> | <b>Desarrollo de la Investigación</b>                              | <b>55</b> |
| 3.1.      | Materiales y equipos empleados en el caso de estudio . . . . .     | 55        |
| 3.1.1.    | Normas específicas . . . . .                                       | 55        |
| 3.1.2.    | Agregados . . . . .  | 56        |
| 3.1.3.    | Cemento . . . . .  | 56        |
| 3.1.4.    | El agua . . . . .  | 56        |
| 3.1.5.    | Aditivos . . . . .   | 56        |
| 3.1.6.    | Concreto . . . . .   | 57        |
| 3.1.6.1.  | Concreto Premezclado . . . . .                                     | 57        |

---

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.1.6.2. | Dosificación de concreto premezclado . . . . .  | 57 |
| 3.1.6.3. | Mezclado de concreto . . . . .  | 59 |
| 3.1.6.4. | Colocación del concreto . . . . .   | 59 |
| 3.1.6.5. | Ensayos en el concreto recién mezclado . . . . .  | 60 |
| 3.1.6.6. | Ensayos de probetas . . . . .   | 61 |
| 3.1.6.7. | Cuadro de tolerancias según Norma . . . . .   | 61 |
| 3.1.6.8. | Recursos para inspección, pruebas y ensayos: . . . . .                                      | 62 |
| 3.1.7.   | Acero . . . . .   | 62 |
| 3.1.7.1. | Acero de preesfuerzo . . . . .  | 62 |
| 3.1.7.2. | Acero pretensor empleado en vigas del viaducto de Tren<br>Eléctrico-Lima . . . . .          | 63 |
| 3.1.7.3. | Acero de refuerzo . . . . .   | 63 |
| 3.1.7.4. | Acero de refuerzo en vigas del viaducto de Tren Eléctrico-Lima                              | 65 |
| 3.1.8.   | Encofrados . . . . .  | 65 |
| 3.1.8.1. | Diseño y Habilitado de Encofrado . . . . .  | 65 |
| 3.1.8.2. | Colocación de Encofrado . . . . .   | 65 |
| 3.1.8.3. | Cuadro de Tolerancias . . . . .   | 66 |
| 3.1.9.   | Solución ULMA . . . . .   | 66 |
| 3.1.10.  | Equipos . . . . .   | 67 |
| 3.2.     | Modelo del Proceso Constructivo . . . . .   | 69 |
| 3.2.1.   | Proceso constructivo del Tramo 1 . . . . .  | 70 |
| 3.2.1.1. | Situación existente antes de las innovaciones . . . . .                                     | 70 |
| 3.2.1.2. | Empalme del viaducto existente al viaducto con un nuevo sis-<br>tema constructivo . . . . . | 70 |
| 3.2.1.3. | Vigas tipo I –Tramo I . . . . .   | 71 |
| 3.2.1.4. | Modelo y producción de vigas tipo I pretensadas<br>típicas–Tramo 1 . . . . .                | 71 |
| 3.2.1.5. | Dimensiones de las vigas tipo I pretensadas típicas–Tramo 1 .                               | 72 |
| 3.2.1.6. | Ingeniería de detalle de vigas pretensadas típicas-Tramo 1 . . .                            | 73 |
| 3.2.1.7. | Vigas cabezales –Tramo 1 . . . . .  | 76 |
| 3.2.1.8. | Dimensiones de las vigas cabezales típicas–Tramo 1 . . . . .                                | 77 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.1.9. Ingeniería de detalle de vigas cabezales típicas—Tramo 1 . . . . .   | 78  |
| 3.2.2. Proceso y modelo constructivo del Tramo 2 . . . . .  | 82  |
| 3.2.2.1. Concepción de las vigas tipo I prefabricados – Tramo 2 . . . . .   | 82  |
| 3.2.2.2. Elementos prefabricadas de concreto . . . . .  | 83  |
| 3.2.2.3. Modelo y producción de vigas tipo I pretensadas<br>típicas—Tramo 2. . . . .  | 84  |
| 3.2.2.4. Dimensiones de las vigas tipo I pretensadas típicas—Tramo 2 . . . . .  | 85  |
| 3.2.2.5. Ingeniería de detalle de las vigas tipo I pretensadas<br>típicas—Tramo 2 . . . . .                                 | 86  |
| 3.2.2.6. Vigas cabezales—Tramo 2 . . . . .  | 88  |
| 3.2.2.7. Modelo y producción de Vigas Cabezales prefabricados típicos . . . . .   | 88  |
| 3.2.2.8. Modelo final e ingeniería de detalle de las vigas cabezales pre-<br>fabricados . . . . .                           | 92  |
| 3.2.2.9. Conexiones entre columna y viga cabezal . . . . .  | 97  |
| 3.2.2.10. Prueba de carga en barras de acero corrugado de construcción<br>(1 3/8”) ancladas en bloque de concreto . . . . . | 98  |
| 3.2.2.11. Ingeniería de detalle de la conexión entre la columna—Vigas<br>Cabezal . . . . .                                  | 101 |
| 3.2.3. Modelo de Procedimiento de fabricación de vigas pretensadas . . . . .  | 105 |
| 3.2.3.1. Equipos . . . . .  | 105 |
| 3.2.3.2. Actividades para construcción de vigas prefabricadas . . . . .   | 105 |
| 3.2.4. Modelo de Procedimiento de Fabricación de Vigas Cabezales . . . . .  | 116 |
| 3.2.4.1. Actividades para construcción de vigas prefabricadas. . . . .  | 116 |
| 3.2.5. Almacenamiento de los elementos prefabricados . . . . .  | 118 |
| 3.2.5.1. Codificación y transporte a la zona de despacho . . . . .  | 118 |
| 3.2.5.2. Detalle de Apoyo para Transporte de Vigas . . . . .  | 119 |
| 3.2.6. Control de Calidad . . . . .   | 121 |
| 3.2.6.1. Protocolos . . . . .   | 121 |
| 3.2.6.2. Tolerancias . . . . .  | 121 |
| 3.2.6.3. Matriz de responsabilidades . . . . .  | 122 |
| 3.2.6.4. Enfoque basado en procesos . . . . .   | 122 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 3.2.7.    | Comparación de áreas de planta de prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2 . . . . .               | 124 |
| 3.2.7.1.  | Optimización de espacio y tiempo en la nueva planta de prefabricados “Bayóvar” . . . . .           | 124 |
| 3.2.8.    | Comparación de áreas de patios de producción de prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2 . . . . . | 125 |
| 3.2.9.    | Comparación de líneas de producción de vigas entre el tramo 1 y tramo 2.                           | 125 |
| 3.2.10.   | Comparación de producción de prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2                              | 126 |
| 3.2.10.1. | Producción Mensual de Vigas Tipo I (h=1.3 m)–Tramo 2 . . . . .                                     | 128 |
| 3.2.10.2. | Producción Mensual de Vigas Cabezales Prefabricados–Tramo 2 . . . . .                              | 129 |
| 3.2.11.   | Gestión de la seguridad en el trabajo . . . . .  | 129 |
| 3.2.11.1. | Definiciones . . . . .   | 130 |
| 3.2.11.2. | Responsabilidades . . . . .  | 130 |
| 3.2.11.3. | Descripción de las Actividades . . . . .   | 133 |
| 3.2.11.4. | Procedimiento . . . . .  | 134 |
| 3.2.11.5. | Charla de Seguridad . . . . .  | 134 |
| 3.2.11.6. | Elaboración del Permiso de Trabajo . . . . .   | 135 |
| 3.2.11.7. | Instrucciones para el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) . . . . .                                   | 136 |
| 3.2.12.   | Gestión de Medio Ambiente . . . . .  | 137 |
| 3.2.12.1. | Residuos No Peligrosos . . . . .   | 137 |
| 3.2.12.2. | Residuos Peligrosos . . . . .  | 138 |
| 3.3.      | Procedimiento de transporte vigas tipo I y las vigas cabezales . . . . .                           | 138 |
| 3.3.1.    | Equipos Utilizados . . . . .   | 139 |
| 3.3.2.    | Cuadrilla del personal . . . . .   | 139 |
| 3.3.3.    | Descripción del proceso de transporte . . . . .  | 140 |
| 3.3.3.1.  | Consideraciones . . . . .  | 140 |
| 3.3.4.    | Gestión de la Seguridad y el Medio Ambiente en el Proceso de Transporte                            | 143 |
| 3.3.4.1.  | Impacto del proyecto sin sostenibilidad vial . . . . .   | 144 |
| 3.3.4.2.  | Solución: Minimizar los impactos en el Cierre de las Vías . . . . .                                | 145 |
| 3.3.4.3.  | Identificación de las vías alternas . . . . .  | 146 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.3.4.4. Conteo y estadística de paso de vehículos . . . . .                                    | 146        |
| 3.3.4.5. Elaboración de plan de desvío vehicular . . . . .                                      | 147        |
| <b>4. Caso de estudio: Aplicación de prefabricados al tren eléctrico</b>                        | <b>148</b> |
| 4.1. Procedimiento de montaje de vigas prefabricadas tipo I –Tramo 2 . . . . .                  | 148        |
| 4.1.1. Definiciones . . . . .   | 148        |
| 4.1.2. Equipos Utilizados . . . . .   | 149        |
| 4.1.3. Cuadrilla del personal . . . . .   | 150        |
| 4.1.4. Descripción del proceso de montaje . . . . .   | 150        |
| 4.1.4.1. Consideraciones . . . . .  | 150        |
| 4.1.4.2. Operación de Izaje . . . . .   | 152        |
| 4.1.4.3. Arriostre y Montaje de Vigas . . . . .   | 156        |
| 4.1.4.4. Control de Calidad en montaje de vigas . . . . .                                       | 156        |
| 4.2. Procedimiento de montaje de Vigas Cabezales . . . . .                                      | 157        |
| 4.2.1. Equipos Utilizados . . . . .   | 157        |
| 4.2.2. Cuadrilla del personal . . . . .   | 157        |
| 4.2.3. Descripción del proceso de montaje . . . . .   | 158        |
| 4.2.3.1. Consideraciones . . . . .  | 158        |
| 4.2.3.2. Operación de Izaje . . . . .   | 158        |
| 4.2.3.3. Operación de colocación del cabezal prefabricado . . . . .                             | 161        |
| 4.2.4. Control de Calidad en el montaje de vigas cabezales . . . . .                            | 166        |
| 4.3. Gestión de la Seguridad y el Medio Ambiente en el Proceso de Montaje . . . . .             | 166        |
| 4.3.1. Matriz de peligros . . . . .   | 166        |
| <b>5. Resultados y Discusión de la Investigación</b>  | <b>168</b> |
| 5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo         | 168        |
| 5.1.1. Reducción de riesgos en la construcción de vigas cabezales . . . . .                     | 168        |
| 5.1.2. Comparación de Tiempo de “Viga Cabezal In-Situ” vs “Viga Cabezal Prefabricado” . . . . . | 169        |
| 5.1.3. Comparación de Costo de “Viga Cabezal In-Situ” vs “Viga Cabezal Prefabricado” . . . . .  | 170        |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1.4. Comparación de Calidad de las Vigas Cabezales entre Prefabricado y Construido “in-situ” . . . . .   | 170 |
| 5.1.5. Comparación de Costos de fabricación por metro cúbico . . . . .   | 171 |
| 5.1.5.1. Comparación de Costos por metro cúbico de los Elementos Prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .  | 171 |
| 5.1.5.2. Comparación de Costos por elemento prefabricado entre el Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .  | 172 |
| 5.1.5.3. Comparación de Costos de fabricación para un módulo de 100 m. de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .  | 173 |
| 5.1.5.4. Comparación de costos de fabricación para un módulo típico de 100 m. de viaducto elevado entre el presupuesto contractual y costo real en la construcción del tramo 2 . . . . . | 174 |
| 5.1.6. Comparación de costos de transporte y montaje . . . . .   | 176 |
| 5.1.6.1. Comparación de costos de transporte y montaje por metro cubico del elemento prefabricado entre Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .  | 176 |
| 5.1.6.2. Comparación de Costos de transporte y montaje por elemento prefabricado entre el Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .  | 176 |
| 5.1.6.3. Comparación de Costos de transporte y montaje para un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .   | 178 |
| 5.1.7. Comparación de costo total de la construcción de un módulo de 100m de viaducto elevado entre Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .  | 178 |
| 5.1.8. Comparación del presupuesto contractual con costo real en la construcción del de un módulo típico de 100 m. de viaducto elevado - tramo 2 . . . . .                               | 180 |
| 5.1.9. Comparación sobre la gestión de la Seguridad y medio ambiente entre Tramo 2 y Tramo 1 . . . . .   | 181 |
| 5.1.9.1. Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo . . . . .   | 181 |
| 5.1.9.2. Gestión del Medio Ambiente . . . . .  | 185 |
| 5.1.10. Soluciones generales . . . . .   | 188 |
| 5.2. Discusión de la Investigación . . . . .   | 189 |

|   |            |
|---|------------|
| 5.2.1. Costos . . . . .   | 189        |
| 5.2.2. Tiempo . . . . .   | 190        |
| 5.2.3. Calidad . . . . .  | 190        |
| 5.2.4. Seguridad y medio ambiente . . . . .                             | 190        |
| 5.2.5. Discusión sobre el modelo de prefabricados de concreto . . . . . | 191        |
| 5.2.6. Discusión sobre el modelo de proceso constructivo . . . . .      | 192        |
| 5.3. Verificación de las hipótesis . . . . .                            | 193        |
| 5.3.1. Verificación de la hipótesis global . . . . .                    | 193        |
| 5.3.2. Verificación de las subhipótesis . . . . .                       | 193        |
| <b>6. Conclusiones y Recomendaciones</b>                                | <b>196</b> |
| 6.1. Conclusiones . . . . .   | 196        |
| 6.2. Recomendaciones . . . . .  | 198        |
| <b>Bibliografía</b>   | <b>200</b> |
| <b>A. Formatos de Protocolos de Control de Calidad</b>                  | <b>204</b> |
| <b>B. Sustento de precios unitarios y presupuesto-Firmados por AATE</b> | <b>210</b> |
| <b>C. Formatos de permisos de seguridad en el trabajo</b>               | <b>213</b> |
| <b>D. Plan de Izaje de Elementos Prefabricados</b>                      | <b>219</b> |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| 1.1. La filosofía de lego aplicado a la solución del problema de un megaproyecto. . .  | 2  |
| 2.1. Puente Luzancy – 1946. . . . .  | 15 |
| 2.2. Puente Walnut Lane Memorial – 1950. . . . .   | 16 |
| 2.3. Puente sobre el río Guadalquivir – 1963. . . . .  | 17 |
| 2.4. Manufacturas La Libertad –Montaje de las vigas prefabricadas de concreto postensado. . . . .  | 17 |
| 2.5. Centro Comercial Higuiereta en Lima – Montaje de las vigas prefabricadas pretensadas. . . . .   | 18 |
| 2.6. Puente Pativilca inaugurado el año 2008. . . . .  | 19 |
| 2.7. Planta de prefabricados Bayóvar – Tren Eléctrico – Línea 1 – Tramo 2. . . .   | 19 |
| 2.8. Esquema de la planta de prefabricados. <i>Fuente:[4]</i> . . . . .  | 21 |
| 2.9. Viaducto Elevado del Metro de Lima – Línea 1. . . . .   | 24 |
| 2.10. Jabalcones, directriz curva, dinteles y pilas y bóvedas prefabricados. . . . .   | 27 |
| 2.11. Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas. <i>Fuente:[30]</i> . . . . .                                    | 30 |
| 2.12. Esfuerzos al centro del claro y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad. <i>Fuente:[30]</i> . . . . .          | 31 |
| 2.13. Deformación y agrietamiento en vigas de: a)Concreto reforzado y b)Concreto preesforzado. . . . .   | 31 |
| 2.14. Fabricación de un elemento pretensado: a)Trayectoria horizontal, b) Desvío de torones y c) Producción en serie. <i>Fuente:[30]</i> . . . . . | 33 |
| 2.15. Trayectorias típicas de torones en vigas postensadas. <i>Fuente:[30]</i> . . . . .   | 34 |
| 2.16. Deformación típica de vigas postensadas. <i>Fuente:[30]</i> . . . . .  | 35 |

|  |    |
|--|----|
| 2.17. Gráfica carga-deflexión de una viga preesforzada típica. <i>Fuente:[30]</i> . . . . .  | 35 |
| 2.18. Curva fuerza-deformación para tres torones de distinto diámetro. <i>Fuente:[30]</i> . . . . .                                    | 37 |
| 2.19. Sistema de construcción de viaductos con prefabricados. . . . .  | 39 |
| 2.20. Tractocamión con semirremolque acoplado. . . . .   | 40 |
| 2.21. Tractocamión con semirremolque unido a viga. . . . .   | 40 |
| 2.22. Módulo direccional de 5 ejes para 65 toneladas. . . . .  | 41 |
| 2.23. Patín delantero y trasero. . . . .   | 41 |
| 2.24. Grúa estructural o de celosía. . . . .   | 43 |
| 2.25. Pernos de nivelación y armadura de montaje. . . . .  | 43 |
| 2.26. Los grilletes y ganchos de izaje. . . . .  | 44 |
| 2.27. Montaje de elementos horizontales. . . . .   | 45 |
| 2.28. Encofrado apoyado sobre el terreno. . . . .  | 48 |
| 2.29. Encofrado de un puente en arco en el sistema construcción convencional. . . . .  | 48 |
| 2.30. Equipos de protección personal. . . . .  | 51 |
| 2.31. Código internacional de señales de mano para trabajos con grúas/ <i>Fuete: American Society of Mechanical Engineers.</i> . . . . | 52 |
| 3.1. Equipo de preparación de concreto. . . . .  | 58 |
| 3.2. Equipo de preparación de concreto para vigas prefabricados en la planta Bayóvar   | 59 |
| 3.3. Torón utilizado en concreto preesforzado. . . . .   | 62 |
| 3.4. Propiedades mecánicas del fierro corrugado ASTM A706-Grado 60. . . . .  | 64 |
| 3.5. Propiedades mecánicas del fierro corrugado ASTM A615-Grado 60. . . . .  | 65 |
| 3.6. Encofrado metálico en vigas pretensadas con puntales de MK y ENKOFORM<br>HMK aplicado a vigas cabezales-Viaducto. . . . .         | 67 |
| 3.7. Grúa pórtico. . . . .   | 67 |
| 3.8. Funcionamiento de la Gata hidráulica. . . . .   | 68 |
| 3.9. Camión Grúa. . . . .  | 68 |
| 3.10. Tracto con semirremolque unido a la viga. . . . .  | 68 |
| 3.11. Telehandler (alza hombres). . . . .  | 69 |
| 3.12. Grúa estructural o de celosía.). . . . .   | 69 |
| 3.13. Situación del primer tramo –Obra inconclusa antes de las innovaciones. . . . .   | 70 |
| 3.14. Empalme del viaducto existente con nuevo sistema constructivo. . . . .   | 71 |

|   |    |
|---|----|
| 3.15. Vigas prefabricados y el viaducto del Tren Eléctrico. . . . .                           | 71 |
| 3.16. Tramo Estructural Continuo Típico –Longitud: 100 metros. . . . .                        | 72 |
| 3.17. Dimensiones de Viga Típica h=1.30 y L=19.70m, vista en Planta y elevación . . . . .     | 72 |
| 3.18. Detalle del agujero para izamiento de la viga. . . . .                                  | 73 |
| 3.19. Sección de la Viga Típica h=1.30 m y L=19.70 m. . . . .                                 | 73 |
| 3.20. Detalle del acero de refuerzo longitudinal de la viga. . . . .                          | 74 |
| 3.21. Detalle de distribución de torones en la viga. . . . .                                  | 74 |
| 3.22. Detalle del acero de refuerzo transversal de la viga. . . . .                           | 75 |
| 3.23. Resumen de lista de varillas y torones de la viga. . . . .                              | 75 |
| 3.24. Fabricación de vigas típicas en la planta de prefabricados de la Videna . . . . .       | 76 |
| 3.25. Planta y elevación de la viga cabezal fabricado “in-situ”. . . . .                      | 77 |
| 3.26. Elevación transversal de viga cabezal y apoyo de neopreno de vigas tipo I. . . . .      | 78 |
| 3.27. El acero de refuerzo de la viga cabezal. . . . .  | 79 |
| 3.28. El acero de refuerzo de la viga cabezal y restricción sísmica. . . . .                  | 80 |
| 3.29. Acero de refuerzo del cabezal y listado de varillas. . . . .                            | 81 |
| 3.30. Construcción de vigas cabezales “in-situ y calidad de acabados”. . . . .                | 81 |
| 3.31. Modelo de Análisis de Estructuras Prefabricadas. . . . .                                | 82 |
| 3.32. Elementos prefabricados del concreto para el viaducto del Tren–Tramo 2. . . . .         | 83 |
| 3.33. Vigas longitudinales y vigas cabezales prefabricados en la Planta Bayóvar. . . . .      | 83 |
| 3.34. Prelosas y bordes típicos prefabricados en la Planta Bayóvar. . . . .                   | 83 |
| 3.35. Fuente: Diario Oficial El Peruano (07 de mayo del 2013). . . . .                        | 84 |
| 3.36. Tramo Estructural Continuo Típico–Longitud: 125 metros. . . . .                         | 85 |
| 3.37. Dimensión de las Viga Típica h=1.30 y L=24.70m, vista en Planta y elevación. . . . .    | 85 |
| 3.38. Detalle del agujero para izamiento de la viga. . . . .                                  | 86 |
| 3.39. Sección de la Viga Típica h=1.30 m y L= 24.70 m. . . . .                                | 86 |
| 3.40. Detalle de la armadura pretensada. . . . .  | 86 |
| 3.41. Detalle del acero de refuerzo longitudinal de la viga. . . . .                          | 87 |
| 3.42. Detalle del acero de refuerzo transversal de la viga. . . . .                           | 87 |
| 3.43. Detalle de la distribución de torones en la viga. . . . .                               | 87 |
| 3.44. Resumen de la cantidad de refuerzos de la viga y las especificaciones técnicas. . . . . | 88 |
| 3.45. Modelo N° 01 de la viga cabezal. . . . .  | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.46. Planteamiento del Modelo N° 01 para fabricar vigas cabezales. . . . .  | 90  |
| 3.47. Vista isométrica del prototipo de viga cabezal-Modelo N° 01. . . . .   | 90  |
| 3.48. Vista isométrica del prototipo de viga cabezal del Modelo N° 02. . . . .   | 91  |
| 3.49. Prototipo de viga cabezal prefabricado y empleado en el Tramo 2. . . . .   | 91  |
| 3.50. Acero de refuerzo de la viga cabezal prefabricada. . . . .   | 92  |
| 3.51. Acero de refuerzo de la restricción sísmica y lista de varillas. . . . .   | 93  |
| 3.52. Acero de refuerzo de llave de corte en la viga cabezal. . . . .  | 94  |
| 3.53. Detalle del acero de la columna según el corte D. . . . .  | 95  |
| 3.54. Leyenda y notas del detalle de vigas cabezales prefabricados. . . . .  | 95  |
| 3.55. Detalle del acople para conexión mecánica. . . . .   | 96  |
| 3.56. Detalle de proyección de acero de columna, viga cabezal y llave de corte. . . . .  | 97  |
| 3.57. Conector mecánico del tipo "Grip-Twist". . . . .   | 98  |
| 3.58. Bloques de concreto de dimensiones 1mx1m y 1.70m de altura, para simular<br>una Viga Cabezal /Fuente: Área de Ingeniería–Consortio Tren Eléctrico. . . . . | 99  |
| 3.59. Prueba de carga de los bloques de concreto/Fuente: Área de<br>Ingeniería–Consortio Tren Eléctrico. . . . .   | 100 |
| 3.60. Análisis Carga (TN) – Deformación (mm)/Fuente: Área de Ingeniería<br>–Consortio Tren Eléctrico. . . . .  | 100 |
| 3.61. Análisis de Ciclo de Carga (TN) – Tiempo (seg.)/Fuente: Área de Ingeniería<br>– Consortio Tren Eléctrico. . . . .  | 101 |
| 3.62. Detalle de distribución de acero de columna y viga cabezal. . . . .  | 101 |
| 3.63. Detalle de acero de columna y el empalme con la viga cabezal. . . . .  | 102 |
| 3.64. Detalle de la proyección del acero y ducto para empalme. . . . .   | 103 |
| 3.65. Detalle del encuentro entre el acero de columna y viga cabezal. . . . .  | 103 |
| 3.66. Detalle de conexión entre la columna–viga cabezal. . . . .   | 104 |
| 3.67. Planta de prefabricados en Bayóvar– San Juan de Lurigancho. . . . .  | 106 |
| 3.68. Colocación de armadura pasiva de vigas pretensadas. . . . .  | 106 |
| 3.69. Colocación de ductos e insertos. . . . .   | 107 |
| 3.70. Detalle de puesta a tierra para sistema electromecánico en vigas. . . . .  | 108 |
| 3.71. Colocación de torones, insertos y encofrado de vigas. . . . .  | 108 |
| 3.72. Torones colocados a lo largo de la viga y fijado en el bloque de anclaje. . . . .  | 109 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.73. Proceso de tensado de los torones. . . . .   | 110 |
| 3.74. El detalle para tensado simétrico. . . . .   | 110 |
| 3.75. Posesión de las vigas en las líneas de fabricación. . . . .  | 111 |
| 3.76. Proceso de vaciado de concreto en la viga. . . . .   | 111 |
| 3.77. Vaciado de concreto en la viga. . . . .  | 112 |
| 3.78. Curado de la viga con agua temperada. . . . .  | 113 |
| 3.79. Secuencia de corte de los torones en las vigas. . . . .  | 113 |
| 3.80. Vista frontal – Detalle talón de protección. . . . .   | 114 |
| 3.81. Vista lateral – Detalle talón de protección. . . . .   | 115 |
| 3.82. Protección de torones. . . . .   | 115 |
| 3.83. Preparación de la zona de viga diafragma. . . . .  | 116 |
| 3.84. Los módulos para la fabricación de las vigas cabezales. . . . .  | 117 |
| 3.85. Vaciado de concreto en las vigas cabezales. . . . .  | 117 |
| 3.86. Desencofrado de vigas cabezales. . . . .   | 118 |
| 3.87. Codificación de las vigas. . . . .   | 119 |
| 3.88. Transporte de vigas a la zona de despacho. . . . .   | 119 |
| 3.89. Detalle en planta de apoyo de madera o similar. . . . .  | 120 |
| 3.90. Detalle de apoyo de madera o similar para traslado en camión cama-baja o<br>carreta. . . . .                           | 120 |
| 3.91. Vigas apoyados sobre madera. . . . .   | 120 |
| 3.92. Vigas cabezales apoyados sobre madera. . . . .   | 121 |
| 3.93. Viga Tipo I – Control de dimensiones. . . . .  | 122 |
| 3.94. Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos/ Fuente: ISO<br>9001. . . . .                         | 123 |
| 3.95. Planta de prefabricados- Bayóvar –Tramo 2. . . . .   | 124 |
| 3.96. Producción Mensual de Viga Tipo I (h=1.3 m) Prefabricado del Tramo 2. <i>Fuen-<br/>te:</i> Elaboración propia. . . . . | 128 |
| 3.97. Producción Mensual de Viga Cabezal Prefabricada en Tramo 2. <i>Fuen-<br/>te:</i> Elaboración propia. . . . .           | 129 |
| 3.98. Responsabilidades en Seguridad Basada en la Conducta. . . . .  | 133 |
| 3.99. Modelo de sistema gestión de SST/Fuente:OHSAS 18001: 2007 . . . . .  | 133 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.100Charla de seguridad. . . . .  | 134 |
| 3.101Chequeo médico en Obra a Cargo de Doctores de Salud Ocupacional. . . . .  | 135 |
| 3.102Formato de Permiso de trabajo General/Fuente: SSTMA del Consorcio Eléctrico.  | 136 |
| 3.103Formato de Análisis de Trabajo Seguro/Fuente: SSTMA del Consorcio Eléctrico.  | 136 |
| 3.104Mapa de riesgos en la planta de prefabricados–Bayóvar–Tramo 2. . . . .  | 137 |
| 3.105Clasificación de los residuos sólidos en la planta de prefabricados–Tramo 2. . . . .  | 138 |
| 3.106Residuos sólidos clasificados en la planta de prefabricados–Tramo 2. . . . .  | 138 |
| 3.107Izaje de vigas tipo I al camión plataforma con semirremolque unido a la viga. . . . .   | 140 |
| 3.108Izaje de vigas cabezales a camión plataforma para transporte. . . . .   | 141 |
| 3.109Camión plataforma con semirremolque unido a la viga. . . . .  | 141 |
| 3.110Cruce de las avenidas con ayuda de Efectivos policiales. . . . .  | 142 |
| 3.111Ploteo durante el transporte de vigas con 2 camionetas y en horario nocturno. . . . .   | 142 |
| 3.112Cruce de las avenidas con ayuda de Efectivos policiales. . . . .  | 142 |
| 3.113Trasporte de viga tipo I– Llegada a Obra. . . . .   | 143 |
| 3.114Ubicación de los distritos de influencia, y el trazo del viaducto elevado del<br>Tramo 2 de la Línea 1 . . . . .                | 144 |
| 3.115Impacto del proyecto sin sostenibilidad vial. . . . .   | 145 |
| 3.116Estudio de tránsito y diseño del plan de desvío. . . . .  | 145 |
| 3.117Identificación de las vías alternas/ fuente: Gerencia de interferencias y tránsito<br>de Consorcio Tren Eléctrico. . . . .      | 146 |
| 3.118Composición vehicular de la zona afectada/fuente: Gerencia de interferencias y<br>tránsito de Consorcio Tren Eléctrico. . . . . | 146 |
| 3.119Plan de desvío vehicular en todo el tramo de construcción del Viaducto del<br>Tren Eléctrico–Tramo 2 . . . . .                  | 147 |
| 3.120Autorización de GTU–MML (horario nocturno de 11:00 pm a 5:00 am) para<br>transporte y izaje de vigas. . . . .                   | 147 |
| 4.1. Escarificado, saturado, grouteado y colación de neopreno. . . . .   | 149 |
| 4.2. Barra de acero para postensado . . . . .  | 149 |
| 4.3. Estacionamiento de la grúa. . . . .   | 152 |
| 4.4. Estacionamiento de la grúa y la viga en camión plataforma dentro de radio de<br>giro. . . . .                                   | 153 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.5. Inicio de montaje y las vigas amarradas a cuatro vientos. . . . .   | 153 |
| 4.6. Posicionamiento de la viga en vigas cabezales . . . . .   | 154 |
| 4.7. Plan de izaje/ Fuente: Área de Ingeniería. . . . .  | 154 |
| 4.8. Esquema de secuencia de montaje-Elevación y montaje en Obra . . . . .   | 155 |
| 4.9. Esquema en Elevación sobre Izaje de vigas en accesos restringidos. . . . .  | 155 |
| 4.10. Montaje de vigas en horario nocturno y en accesos restringidos. . . . .  | 155 |
| 4.11. Vigas montados en las vigas cabezales prefabricados. . . . .   | 156 |
| 4.12. Superficie de la columna preparada lista para montaje de la viga cabezal . . . .   | 159 |
| 4.13. Izaje de la viga cabezal usando un balancín y amarrado a cuatro vientos. . . .   | 159 |
| 4.14. Posicionamiento del cabezal en la columna. . . . .   | 160 |
| 4.15. Colocación del acero en los ductos del cabezal. . . . .  | 160 |
| 4.16. Viga cabezal montado en la columna. . . . .  | 161 |
| 4.17. Plan de izaje de vigas cabezales . . . . .   | 161 |
| 4.18. Esquema en planta de ubicación de platinas metálicas (20cmx20cmx2cm) de<br>apoyo en la columna. . . . .  | 162 |
| 4.19. Esquema en elevación de ubicación de platinas de apoyo en la columna. . . . .  | 163 |
| 4.20. Esquema de ubicación de ductos de acero en cabezal prefabricado y puntos de<br>izaje. . . . .  | 164 |
| 4.21. Proyección en planta de ubicación de ductos de acero en columna. . . . .   | 164 |
| 4.22. Esquema de cabezal colocado en columna y grouteado. . . . .  | 165 |
| 4.23. Colocación de la pareja de acoples y de las barras de acero en los ductos del<br>cabezal. . . . .  | 165 |
| 4.24. Inyección del grout en los ductos del cabezal. . . . .   | 166 |
| 5.1. Izquierda: Viga cabezal prefabricado y montado en la columna. Derecha: Cons-<br>trucción de Viga Cabezal "in-situ". . . . .                             | 169 |
| 5.2. Izquierda:Viga cabezal "in-situ". Derecha: Construcción con Viga prefabricado. .  | 170 |
| 5.3. Izquierda: Viga cabezal prefabricado. Derecha: Viga Cabezal "in-situ". . . . .  | 171 |
| 5.4. Comparación de costos por metro cubico de los elementos prefabricados entre<br>el Tramo 2 y Tramo 1. Fuente:Elaboración propia. . . . .                 | 172 |
| 5.5. Comparación de Costos de fabricación para un módulo de 100 m. de viaducto<br>elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. Fuente:Elaboración propia. . . . . | 174 |

---

|  |     |
|--|-----|
| 5.6. Comparación del presupuesto contractual con costo real-Módulo 100 m-Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .   | 175 |
| 5.7. Comparación de Costos de transporte y montaje para un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . | 178 |
| 5.8. Comparación de Costo total de la construcción de un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . .   | 179 |
| 5.9. Comparación del presupuesto contractual con costo real de la construcción de un módulo típico de 100 m-Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .      | 181 |
| 5.10. Conducta sobre uso adecuado de EPP y arnés de seguridad en trabajos en altura-Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .                              | 182 |
| 5.11. Conducta sobre respeto de señales de seguridad-Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .   | 183 |
| 5.12. Porcentaje total de conducta segura e insegura en aplicación de seguridad y salud en el trabajo-Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .            | 183 |
| 5.13. Porcentaje de conformidad en aplicación Seguridad y salud en el trabajo-Tramo2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .                                     | 184 |
| 5.14. Generación de residuos y la cantidad de personal por mes -Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .  | 186 |
| 5.15. Kilogramos de residuos reciclados por persona-Tramo 2. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .  | 187 |
| 5.16. Soluciones generales-Construcción de viaductos de trenes. <i>Fuente:</i> Elaboración propia. . . . .   | 188 |
| C.1. Sistema de protección para trabajo en altura. . . . .   | 214 |
| D.1. Esquema de Plan de Izaje de Elementos Prefabricados. . . . .  | 220 |
| D.2. Esquema de Plan de Izaje de Elementos Prefabricados. . . . .  | 221 |

# Lista de Cuadros

|  |     |
|--|-----|
| 2.1. Parámetros de diseño del viaducto.[16]  | 25  |
| 2.2. Parámetros del andén de pasajeros y estaciones.[16]   | 26  |
| 2.3. Distancias mínimas requeridas con líneas transmisoras de electricidad.[30]                            | 53  |
| 2.4. Ciclos de operación promedio de algunos elementos.[30]  | 53  |
| 3.1. Normas para hallar los Parámetros Físicos de los Agregados.   | 56  |
| 3.2. Componentes del concreto premezclado, procedencia y la Norma respectiva.                              | 57  |
| 3.3. Dosificación de componentes para concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . | 58  |
| 3.4. Tolerancias en las variaciones en el peso de sus componentes del concreto.                            | 59  |
| 3.5. Calidad del producto terminado.   | 61  |
| 3.6. Propiedades del torón, Grado de acero 270 ksi y 250 ksi.  | 63  |
| 3.7. Propiedades del torón empleado en vigas del viaducto de Tren Eléctrico                                | 64  |
| 3.8. Tolerancias en las dimensiones de encofrados.   | 66  |
| 3.9. Productividad en Vigas Cabezal.   | 118 |
| 3.10. Cuadro de matriz de responsabilidades.   | 123 |
| 3.11. Comparación de Áreas de Planta de Prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2.                          | 125 |
| 3.12. Comparación de Áreas de Patios de Producción.  | 126 |
| 3.13. Comparación de Líneas de Producción de Vigas entre el Tramo 1 y Tramo 2.                             | 127 |
| 3.14. Comparación de cantidad de estructuras prefabricadas.  | 127 |
| 3.15. Producción Mensual de Vigas Tipo I (h=1.3 m) Prefabricados en el Tramo 2.                            | 128 |
| 3.16. Producción Mensual de Viga Cabezal Prefabricada en Tramo 2.  | 129 |
| 4.1. Dimensiones y pesos de las vigas.   | 152 |
| 4.2. Dimensiones y pesos de las vigas cabezales.   | 158 |
| 4.3. Matriz de peligros en el proceso de montaje.  | 167 |

---

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Comparación de tiempo de ejecución de Viga cabezal “in-situ” vs “Viga cabezal prefabricado” . . . . .                   | 169 |
| 5.2. Comparación de costos de ejecución de Viga cabezal “in-situ” vs “Viga cabezal prefabricado” . . . . .                   | 170 |
| 5.3. Comparación de costos de por metro cubico de los elementos prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1. . . . .            | 171 |
| 5.4. Comparación de costos por elementos prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1.   | 172 |
| 5.5. Comparación de costos de fabricación para un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. . . . . | 173 |
| 5.6. Comparación de costos de fabricación entre el presupuesto contractual y costo real-Tramo 2. . . . .                     | 175 |
| 5.7. Comparación de costos de transporte y montaje por metro cúbico del elemento prefabricado . . . . .                      | 176 |
| 5.8. Comparación de costos de transporte y montaje por elemento prefabricado. . .  | 177 |
| 5.9. Comparación de costos de transporte y montaje de elementos para un módulo de 100m. . . . .                              | 177 |
| 5.10. Comparación de costo total de la construcción de un módulo de 100 m. . . . .   | 179 |
| 5.11. Comparación del presupuesto contractual con costo real para construcción de un modulo de 100 m-Tramo 2. . . . .        | 180 |
| 5.12. Comparación de accidentes fatales ocurridos entre el Tramo 1 y Tramo 2. . . .  | 182 |
| 5.13. Comparación de manejo de residuos entre el Tramo 1 y Tramo 2. . . . .  | 185 |
| A.1. Formato de protocolo para Topografía . . . . .  | 205 |
| A.2. Formato de protocolo para Pre-Vaciado. . . . .  | 206 |
| A.3. Formato de protocolo para Post-Vaciado. . . . .   | 207 |
| A.4. Formato de protocolo para Tensado de Torones . . . . .  | 208 |
| A.5. Formato de protocolo para Inyección de Lechada . . . . .  | 209 |
| B.1. Precios Unitarios-Tramo 1 . . . . .   | 211 |
| B.2. Precios Unitarios-Tramo 1 . . . . .   | 212 |
| C.1. Análisis de Trabajo Seguro. . . . .   | 215 |
| C.2. Permiso de Trabajo en Altura. . . . .   | 216 |

---

*LISTA DE CUADROS*

---

C.3. Permiso de Izaje. . . . . 217  
C.4. Permiso de Izaje. . . . . 218  
D.1. Plan de Izaje de Elementos Prefabricados . . . . . 222  
D.2. Plan de Izaje de Elementos Prefabricados . . . . . 223

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Generalidades

La prefabricación en elementos de concreto comenzó en España a principios de los años 50, con los primeros tableros de vigas prefabricadas pretensadas. Con el transcurso de los años se fueron implementando soluciones y mejoras, así como también se desarrollaron importantes logros en los alcances del sistema. Es a finales de los años 80 y principios de los 90 que estas soluciones se hacen extensivas y se comienzan a aplicar para las vías de ferrocarriles.

Las estructuras prefabricadas permiten una construcción industrializada con las ventajas de incrementar el control de calidad, una automatización de los procesos constructivos y un rápido ritmo de avance de obra.

La construcción de viaductos y puentes basados en La Cultura del Prefabricado cobra cada vez más importancia, tanto en los países desarrollados y como en vías de desarrollo; debido a que es un sistema seguro de rápida construcción donde las estructuras se **“colocan como un Lego, permitiendo avanzar construcción de tramos de viaductos sin interrumpir el tráfico ni molestar los vecinos”**. De este modo la construcción está bajo control y el proceso es industrial. **“Es mejor que construir en la calle, trasladando a los trabajadores a una zona donde no existe conflictos ni interferencias”**, permitiendo realizar en simultáneo la fabricación de elementos con la construcción de otros elementos del viaducto, con la consiguiente reducción de plazos de construcción, mejor calidad de acabados, con menor costo, sin infringir las normas de seguridad y del medio ambiente.

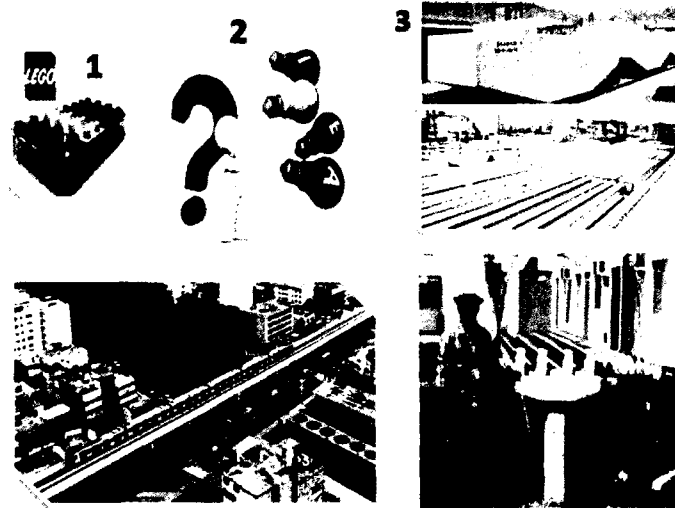


Figura 1.1: La filosofía de lego aplicado a la solución del problema de un megaproyecto.

## 1.2. Necesidad o motivación de la investigación

Este tema de investigación, surge con la necesidad de reducir el tiempo y el costo que se emplea para la construcción de viaductos de trenes, empleando piezas prefabricados de concreto; de tal forma faciliten la construcción de viaductos de trenes de manera rápida, económica con altos estándares de calidad, Seguridad en el trabajo y el cuidado del medio ambiente; teniendo en cuenta las normativas vigentes.

Por otro lado, es mostrar la prefabricación como la industrialización de la construcción en el Perú, en la que elementos fabricados en serie en instalaciones fijas de alto rendimiento y con elevados niveles de control y calidad, conducen, no sólo a mejores acabados, sino también a mejores precios de los que puedan alcanzarse en realizaciones in – situ.

## 1.3. El Problema

El problema en que se centra la investigación es la lentitud con que se construye la infraestructura del Tren Eléctrico de Lima y Callao, con sobrecosto, con bajos estándares de calidad, infringiendo las normas de seguridad y alterando el orden del medio ambiente.

Este problema que tiene 5 partes o variables mencionadas, forman parte de la problemática

que afecta a la construcción de la infraestructura del tren eléctrico, junto con otros problemas tales como:

- a) Discrepancias teóricas entre las autoridades del Gobierno Central y AATE.
- b) Incumplimientos de hitos, entre otros.
- c) Deficiencias de servicio de transporte urbano.
- d) Distorsiones en la determinación los ejes de transporte.

### **1.3.1. Selección del problema**

De entre aquellos que afectan a la construcción de la infraestructura del tren eléctrico, he seleccionado, priorizado e integrado este problema, teniendo en cuenta los siguientes criterios de priorización – selección:

- a) Este problema tiene un impacto social negativo.
- b) Su solución puede contribuir a solucionar otros problemas.
- c) Es uno de los que se repiten en la industria de la construcción.
- d) Las empresas constructoras nacionales requieren investigarlo.

### **1.3.2. Antecedentes**

#### **1.3.2.1. Desde cuándo se tienen referencias del problema que afectan en la construcción de infraestructuras.**

##### **a) En el mundo**

La prefabricación en elementos de concreto comenzó en España a principios de los años 50, con los primeros tableros de vigas prefabricadas pretensadas. Con el transcurso de los años se fueron implementando soluciones y mejoras, así como también se desarrollan importantes logros en los alcances del sistema. Es a finales de los años 80 y principios de los 90 que estas soluciones se hacen extensivas y se comienzan a aplicar para las vías de ferrocarriles. Las estructuras prefabricadas permiten una construcción industrializada con las ventajas de incrementar el control de calidad, una automatización de los procesos constructivos y un

rápido ritmo de avance de obra.

**b) En el Perú- región Lima**

El Tren Eléctrico de Lima, inició su construcción en 1986 durante el primer gobierno de Alan García, **las estructuras fueron construidas “in-situ” y no se utilizaron estructuras prefabricadas de concreto.** En 1990 se paralizaron las obras, llegándose a concluir una sección de 9,2 km de la ahora llamada Línea 1, la misma que atravesaba tres distritos al extremo sur de la ciudad: Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores. A pesar de que esta sección inicial contaba ya con 30 vagones y 7 estaciones, el sistema no inició operaciones con público por no tener la distancia ni la demanda suficientes que lo hicieran comercialmente viable. De esta manera, la construcción de la infraestructura del Tren Eléctrico de Lima se detuvo ante un panorama de crisis económica y bajo la sospecha de sobornos, luego de una inversión de 226 millones de dólares en cofinanciamiento con el gobierno italiano. En 2009, luego de casi veinte años de paralización, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones retomó el proyecto a fin de culminar el primer tramo de la Línea 1, prolongándose su recorrido hasta la Avenida Miguel Grau en el centro de Lima, haciendo un total de 21,48 kilómetros de viaducto elevado con 16 estaciones y sumando seis distritos más: Santiago de Surco, Surquillo, San Borja, San Luis, La Victoria y el Cercado de Lima.

**En el 2010, se reinició la construcción del Tramo 01, donde se utilizaron estructuras prefabricadas de concreto procedentes de la Planta ubicada en La Videna.**

Las estructuras prefabricadas utilizadas fueron vigas pretensadas, prelosas y bordes típicos. Al concluirse las obras y completarse el primer tramo, de la infraestructura del Tren Eléctrico de Lima fue inaugurado el 11 de julio de 2011, aunque su plena operatividad se alcanzó recién a inicios del año 2012, luego de algunos meses de pruebas en vacío.

**c) Estudios anteriores**

Entre 1972 y 1973, el consorcio “Metrolima” elaboró el estudio de factibilidad técnico-económica y el anteproyecto del “Sistema de Transporte Rápido Masivo de Pasajeros en

el Área Metropolitana de Lima-Callao”, aprobado por el Gobierno Revolucionario de las Fuerzas Armadas del Perú en 1974. Lamentablemente, la crisis política generada por la repentina enfermedad del Presidente Velasco Alvarado y el problema de su sucesión, sumado al complejo suelo limeño ubicado en una zona altamente sísmica, así como la crisis económica internacional, en ese momento, imposibilitaron conseguir el financiamiento ascendente aproximadamente a 317.000.000 dólares de la época. De esta manera, el proyecto de “Metrolima”, que contemplaba un total de 5 líneas de tren subterráneo, quedó archivado de manera permanente.

Estación inicial Villa El Salvador. Fue inaugurada en 1990 pese a que la Línea 1 no había sido culminada. En 1986, el primer gobierno de Alan García creó la “Autoridad Autónoma del Proyecto Especial Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao” por Decreto Supremo N° 001-86 MIPRE y con fuerza de Ley N° 24565. Esta entidad convocó a un concurso público para la implementación de este sistema y el concurso lo ganó el denominado “Consortio Tralima” de capitales italianos. Este consorcio inició con prontitud las obras de construcción de la infraestructura para un metro en viaducto elevado. El 18 de octubre de 1986 se colocó la “primera piedra”, de lo que fue la principal promesa que hiciera en 1987 el recién electo Alcalde de Lima y militante del entonces partido de gobierno: Jorge del Castillo. La obra inició con un Patio Taller de 120,000 m<sup>2</sup> en el distrito de Villa El Salvador, al sur de la ciudad, destinado al parqueo de los trenes y al mantenimiento preventivo de los mismos. La construcción avanzó con relativa rapidez durante un par de años, pero cuando la Línea 1 llegó al distrito de San Juan de Miraflores (específicamente al llegar a la Estación Atocongo) el país se encontraba en una profunda crisis económica y social, lo cual motivó que se paralizara la obra. Su recorrido original debía continuar por la Av. Aviación hasta llegar al Hospital 2 de Mayo, en el Centro de Lima, pero el presupuesto asignado se había agotado y esto, sumado a varios cuestionamientos a la transparencia en el manejo de los recursos y a otros factores como la inflación y el terrorismo, dejaron la obra paralizada.

El 5 de agosto de 2001, la AATE pasó a manos de la Municipalidad Metropolitana de Lima por Decreto de Urgencia N° 058-2001 con la esperanza de que el proyecto fuera relanzado. Sin embargo, el Metro siguió realizando recorridos en vacío con el fin de brindar mantenimiento preventivo a los trenes y evitar su deterioro. Así, pasarían casi veinte años en que el proyecto permanecería abandonado. La construcción del viaducto de la línea 1 permaneció paralizada

por más de 20 años hasta que fue reiniciada en 2010.

### 1.3.3. Formulación interrogativa del problema

#### 1.3.3.1. Problema principal

¿De qué manera el uso de prefabricados de concreto, será un factor determinante para construir de manera rápida, económica y con calidad el viaducto de la infraestructura del Tren Eléctrico, sin dejar de lado la seguridad y cuidado del medio ambiente?.

#### X: Variables del problema

$x_1$  = Lento proceso constructivo.

$x_2$  = Sobrecosto.

$x_3$  = Bajos estándares de calidad.

$x_4$  = Condiciones subestándares de seguridad.

$x_5$  = Contaminación del medio ambiente.

#### 1.3.3.2. Problema secundarios

- ¿De qué manera el uso de prefabricados de concreto, será un factor determinante para incrementar la productividad en la construcción del viaducto de la infraestructura del Tren Eléctrico?
- ¿De qué manera el uso de prefabricados de concreto, será un factor determinante para ahorrar apuntalamientos, andamios y encofrados en la obra?
- ¿De qué manera el uso de prefabricados de concreto, será un factor determinante para la industrialización de la construcción, creando una nueva cultura de construcción en el Perú?
- ¿De qué manera el uso de prefabricados de concreto, será un factor determinante para reducir los peligros y riesgos asociados a las estructuras construidas en obra?
- ¿De qué manera el uso de prefabricados de concreto, será un factor determinante para minimizar el impacto social y riesgos de seguridad con la comunidad?

#### 1.3.4. Justificación e Importancia

- a) Es importante y necesario para la población Limeña y Callao y empresas constructoras, porque sus aportes pueden contribuir a que se beneficien con la construcción rápida y puesta en funcionamiento de la infraestructura del Tren Eléctrico.
- b) Es conveniente, ya que permitiría tomar decisiones sobre el tipo de proceso constructivo a aplicar en la construcción de viaductos de trenes.
- c) La construcción rápida y económica de viaducto de trenes es muy relevante para la ciudad de Lima y Callao, porque el transporte masivo de pasajeros aliviaría el agitado transporte que posee actualmente la ciudad mencionada.
- d) Esta investigación es necesaria para los responsables de las decisiones-ejecuciones que la afectan, porque sus aportes pueden contribuir a mejorar los costos de construcción, duración de las mismas y solucionar el problema de transporte.
- e) Es conveniente para todo el país, porque contribuiría en la aplicación de la tecnología y la mecanización en la construcción de infraestructuras altamente sismorresistentes, rompiendo los paradigmas en el empleo de prefabricados y la conexión de las mismas. Los resultados ayudarían a estandarizar en la construcción de viaductos.
- f) Así mismo es conveniente para la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, dado que tiene como parte de sus fines la investigación científica.

#### 1.3.5. Limitaciones y restricciones de la investigación

##### **Limitaciones: topes externos**

- Se limita a la construcción de infraestructura del tren eléctrico.
- Se limita a la ciudad de Lima y Callao.

##### **Restricciones: topes internos**

- Se restringe a investigar, analizar y proponer.
- El tiempo dedicado del investigador es completo.

## 1.4. Objetivos de la investigación

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar, si los prefabricados de concreto son una mejor alternativa práctica, rápida y económica, en la construcción del viaducto de la infraestructura del Tren Eléctrico, considerando la calidad, seguridad y medio ambiente; comparando los resultados obtenidos de un análisis cuantitativo y cualitativo, entre la construcción del Tramo 1 y el Tramo 2 de la Línea 1; con el propósito de identificar las causas de las partes principales del problema, de tal manera que tengamos base o fundamento para proponer recomendaciones que contribuyan a decidir el tipo de proceso constructivo a emplear.

**Nota:** Este objetivo general tiene cinco elementos necesarios: A=realidad; B= marco referencial; C= tipo de análisis; D=lo que se pretende identificar y E= recomendaciones.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- a) Describir el proceso constructivo ( $E_1$ ) con los prefabricados en la construcción del viaducto de la infraestructura del tren eléctrico, teniendo en cuenta las normas vigentes tales como: disposiciones presupuestales ( $B_1$ ) y las normas netamente para la ejecución (AASHTO, ACI, ASTM, Etc.) ( $B_2$ ).
- b) Analizar las ventajas y desventajas ( $D_1$ ) del uso de la tecnología innovada ( $B_3$ ) y los Ratios ( $B_4$ ) con elementos estructurales prefabricados para la construcción del viaducto de la infraestructura del tren eléctrico.
- c) Evaluar de manera cuantitativa ( $C_1$ ) el costo ( $x_2$ , el tiempo ( $x_1$ ) y comparar los resultados obtenidos de la construcción del viaducto del Tramo 1 con el Tramo 2 de la Línea 1 ( $B_5$ ).
- d) Proponer la mejor alternativa ( $E_2$ ) entre el uso de prefabricados y construcción in situ, para la construcción del viaducto; teniendo en cuenta el limitado espacio ( $B_6$ ) en todo el tramo de la construcción.
- e) Describir el procedimiento ( $B_7$ ) para minimizar el impacto social ( $x_5$ ) y riesgos de seguridad ( $x_4$ ) con la comunidad, en sus partes variables prioritarias tales como: responsables

(A<sub>1</sub>), Actividades durante la construcción (A<sub>2</sub>) y recursos (A<sub>3</sub>).

## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis global

Al utilizar los prefabricados de concreto en la construcción del viaducto de trenes se logra reducir los plazos de ejecución, se reduce el costo, se mejora la calidad requerida y se eleva el compromiso con la seguridad y medio ambiente.

### 1.5.2. Subhipótesis

- a) Uso de elementos prefabricados como metodología constructiva mejora la calidad del proyecto en plazos más cortos, menores índices de riesgos y con impactos ambientales menores; facilitando a los responsables en el control del proyecto de acuerdo a los ratios.

Fórmula de la subhipótesis:  $a = E_1; x_3; x_1; x_4; x_5; A_1; B_4$

- b) El uso de prefabricados es la mejor alternativa para construcción de viaductos con menor costo, mayor productividad y con calidad; siempre en cuando los recursos necesarios estén durante la ejecución de las actividades.

Fórmula de la subhipótesis:  $b = E_2; x_2; B_4; x_1; x_3; A_3; A_2$

- c) El uso de prefabricados es la mejor alternativa para construcción de viaductos de manera rápida y así reducir los plazos de ejecución de la infraestructura del Tren Eléctrico; teniendo en cuenta las normas vigentes y procedimientos establecidos.

Fórmula de la subhipótesis:  $c = E_2; B_4; x_1; B_5; B_1; B_2; B_7$

- d) La rapidez en la construcción con elementos prefabricados, minimizando el impacto social y riesgos de seguridad con la comunidad, nos permitirá lograr la satisfacción del Cliente, entregando el proyecto terminado antes de la fecha contractual, sin infringir las disposiciones presupuestales.

Fórmula de la subhipótesis:  $d = B_4; x_1; B_6; x_5; x_4; A_1; B_1$

- e) La construcción de viaductos con prefabricados no requiere el uso de apuntamientos, andamios, encofrados (solamente en las vigas diafragma). Por lo tanto incrementa la

productividad en la construcción, minimizando el impacto de riesgos, medio ambiente y crea la cultura de construcción en el Perú: “la cultura de prefabricados”.

Fórmula de la subhipótesis:  $e=D_1; B_6; B_4; x_4; x_5; B_3$

## 1.6. Variables

### 1.6.1. Identificación de variables

Dados los cruces que consideran las subhipótesis, para obtener los datos que, al ser trabajados, permiten contrastar esas subhipótesis, en esta investigación se requiere obtener los datos de los dominios de las siguientes variables:

#### **A: Variables intervinientes = Causas minoritarias**

(Variables de la Realidad )

- $A_1$ =Responsables.
- $A_2$ =Actividades en el tramo de la construcción.
- $A_3$ =Recursos.

#### **B: Variables independientes = Causas mayoritarias**

(Variables del Marco Referencial )

- $B_1$  =Disposiciones presupuestales.
- $B_2$  =Tecnología innovada.
- $B_3$  =Ratios.
- $B_4$  = Procedimientos.
- $B_5$  = Limitado espacio en todo el tramo de la construcción.
- $B_6$  = La construcción de la infraestructura del Tren Eléctrico del Tramo 2 de la Línea 1.

#### **X: Variables dependientes = Efectos o consecuencias**

Variables del problema:

$x_1$  = Lento proceso constructivo.

$x_2$  = Sobrecosto.

$x_3$  = Bajos estándares de calidad.

$x_4$  = Condiciones subestándares de seguridad.

$x_5$  = Contaminación del medio ambiente.

**C: Tipo de análisis.**

- $C_1$  = Cuantitativa.
- $C_2$  = Cualitativa.

**D: Lo que se pretende identificar**

- $D_1$  = Ventajas y desventajas.

**E: Recomendaciones**

- $E_1$  = El proceso constructivo.
- $E_2$  = La mejor alternativa.

## 1.7. Tipos de investigación y análisis

### 1.7.1. Tipo de investigación

Esta investigación es aplicada o fáctica, explicativa y causal.

- a. **Es aplicada.** También llamada fáctica por el objeto de investigación es una parte de la realidad concreta que se da en el tiempo y en el espacio: la construcción de la infraestructura del Tren Eléctrico, a la que se aplican como referentes, que forman parte del marco referencial y los planteamientos teóricos directamente relacionados.
- b. **Es explicativa.** Porque trasciende o supera los niveles exploratorios y descriptivos que usa para llegar al nivel explicativo, ya que, además de responder a la pregunta ¿Cómo es la realidad? Descripción, trata de responder la pregunta ¿por qué es así la realidad que se investiga?

- c. **Es causal.** Porque mediante el cruce de las variables del problema, la realidad y el marco referencial, plantea subhipótesis y, luego, la hipótesis global integradora, que buscan encontrar las causas de las partes del problema.

### 1.7.2. Tipo de análisis

Es mixto predominantemente cuantitativo, pero con calificaciones o interpretaciones cualitativas.

## 1.8. Diseño de la ejecución del plan como desarrollo de la investigación

### 1.8.1. El universo de la investigación

El universo de esta investigación comprende a la sumatoria de todos los datos de los dominios, de todas las variables, que se cruzan en todas las subhipótesis que se deben contrastar.

### 1.8.2. Técnicas, instrumentos e informantes o fuentes

Dados los cruces de todas las subhipótesis, se requerirá aplicar o recurrir a lo siguiente:

- a. **La técnica del análisis documental**, utilizando como instrumentos la recolección de datos de las fuentes documentales, fichas textuales y de resumen, recorriendo como fuentes a libros especializados, documentos oficiales e internet, que aplicaré para obtener los datos, de los dominios de las variable: conceptos básicos, tecnología avanzada, ratios, disposiciones presupuestales, procedimientos y las normas aplicables.
- b. **La técnica de la entrevista**, utilizando como instrumento para recopilación de datos de campo una “guía de entrevistas” y recorriendo como informantes a los responsables, ejecutivos de la construcción de la infraestructura del Tren Eléctrico de Lima y Callao y los representantes de todos los distritos afectados por el proyecto de la Línea 1 del tren eléctrico, que aplicaré para obtener los datos de los dominios de las variables: responsable, actividades y recursos.
- c. **La técnica de la observación y experimentación en el campo**, utilizando como instrumento la recolección de datos de campo un protocolo o guía de observación, que

aplicaré para obtener los datos de los dominios de las variables: acceso restringido, proceso constructivo, procedimiento aplicado, experiencias exitosas de la Línea 1-Tramo 2 y de otros países.

### 1.8.3. Población de informantes y muestra

#### a. Población de informantes:ejecutivos de la infraestructura del Tren Eléctrico.

La población de informantes ejecutivos es muy pequeña, ya que solo comprende a los ejecutivos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, A.A.T.E. y a los ejecutivos del órgano ejecutor de la infraestructura del Tren Eléctrico, y como se tratará de entrevistar a todos los informantes, ello le da carácter censal, y ningún censo requiere muestra.

#### b. La población de informantes, representantes de todos los distritos afectados.

La situación es similar: se tratará de entrevistar a los más significativos de entre los alcaldes, concejales, asociaciones de beneficiarios, etc., pero en un número que duplique al de responsables, y por ello tampoco para esta población habrá de hacerse o determinarse muestra.

### 1.8.4. Forma de tratamiento de los datos

Los datos obtenidos mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos antes mencionados serán incorporados a programas computarizados, tales como los aplicativos de *AutoCAD* y *MS Office*. Los resultados serán presentados en forma de figuras, gráficos, cuadros o resúmenes.

### 1.8.5. Forma de análisis de informaciones

Respecto a los resultados presentados como gráficos, cuadros o resúmenes, se formularán apreciaciones objetivas. Las apreciaciones directamente relacionadas con una determinada subhipótesis se usarán como premisas para contrastar esa hipótesis, se procederá igual con cada una de ellas.

El resultado de la contrastación de cada subhipótesis dará la base para formular una conclusión parcial. Así, tendremos cinco variables del problema, cinco subhipótesis, cinco conclusiones

### *1.8. Diseño de la ejecución del plan como desarrollo de la investigación*

---

parciales cinco recomendaciones parciales. Los resultados de las contrataciones de las subhipótesis, a su vez, se usarán como premisas para contrastar la hipótesis global.

El resultado de la contrastación de la hipótesis global nos dará la base para formular la conclusión general.

Cada resultado de una contrastación, que puede ser: a) prueba total, b) disprueba total, y c) prueba y disprueba parciales, será considerado al formular las conclusiones parciales o generales. Las conclusiones fundamentarán las recomendaciones de esta investigación.

## Capítulo 2

# Marco Teórico y Conceptual

### 2.1. Antecedentes de prefabricados.

#### 2.1.1. Antecedentes en el Mundo

##### a) Francia: Puente Luzancy

Realizado por Freyssinet de 1941 a 1946 sobre el Río Marne (Seine – Et Marne) con una luz de 55 metros, 8 metros de ancho y 1.22 m en el centro de luz formado por 3 vigas cajón prefabricadas y pretensadas a base de Dovelas.[18]



Figura 2.1: Puente Luzancy – 1946.

##### b) Estados Unidos: Puente Walnut Lane Memorial

Es un puente en Filadelfia, Pennsylvania construido en 1950. Fue el primer gran puente de vigas de concreto pretensado diseñado y construido en los Estados Unidos.

La forma del puente es simple, como muchos puentes en autopistas de los EE.UU. El tablero del puente con el apoyo de trece vigas de concreto. Estas vigas fueron pretensadas con cables de postensado formado por cuatro torones embebidos en el concreto. Aunque este tipo de construcción se ha utilizado en Europa, el Walnut Lane Memorial Bridge fue innovador en los Estados Unidos y dio lugar a la aplicación exitosa de esta tecnología en este país.[18]



Figura 2.2: Puente Walnut Lane Memorial – 1950.

c) **España**

En 1963 se construyó sobre el río Guadalquivir, en Almodóvar del Río cerca de Córdoba, el primer puente realizado en España mediante dovelas prefabricadas conjugadas fabricadas en las proximidades del puente y que después se montaron mediante blondín colocado en los estribos. Su luz es de 70 m. En 1969 se construyó otro de forma similar sobre el río Ebro en Castejón de Navarra, entre Logroño y Zaragoza, pero de 100 m de luz.[18]

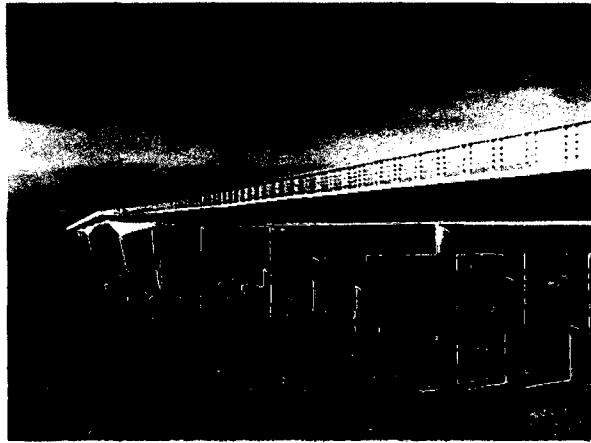


Figura 2.3: Puente sobre el río Guadalquivir – 1963.

### 2.1.2. Antecedentes en el Perú

#### a) Manufacturas La Libertad en Trujillo – 1975.

La primera obra de este tipo es la nave de producción para “Manufacturas La Libertad” en Trujillo, en la que se limita la prefabricación a la construcción del techo, compuesto por elementos prefabricados de concreto post-tensado en forma de “T” con una luz de 18 m. Las vigas “T” son prefabricadas al pie de obra, para minimizar el costo de transporte. Se logró el objetivo de abaratar costos y minimizar el tiempo de ejecución de obra.[20]

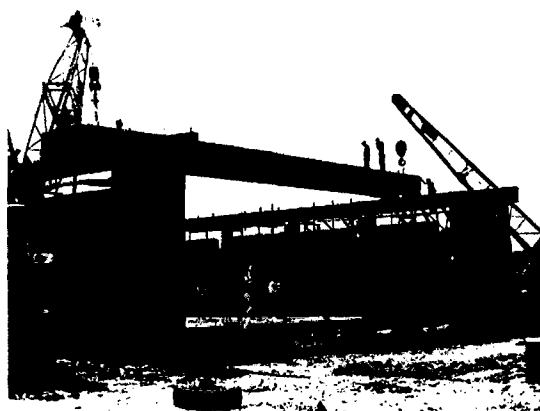


Figura 2.4: Manufacturas La Libertad – Montaje de las vigas prefabricadas de concreto postensado.

#### b) Centro Comercial Higuiereta en Lima – 1976.

El Centro Comercial Higuiereta es la primera obra en la que se usan elementos prefabricados pretensados, aprovechando la existencia de una planta cercana dotada de bancos de prefabricación pretensada. Este sistema permite el diseño de elementos más esbeltos y de menor espesor. El techo de la zona de súper – mercado está conformado por vigas doble “T” prefabricadas pretensadas cubriendo luces de 20 m. El brazo de la grúa no alcanzaba para izar las vigas y colocarlas en su lugar. El contratista invento un genial sistema, para deslizar las vigas sobre un ángulo de fierro colocado con su arista hacia arriba. Con tecles montados en ambos extremos se jalaron las vigas, una por una, hasta ubicarlas en su lugar. Este deslizamiento de las vigas sobre la arista del ángulo de fierro dio muy buen resultado y permitió llevar a cabo todo el montaje de los 5,000 m<sup>2</sup> de techo prefabricado en un tiempo razonable y sin el uso de equipamiento sofisticado costoso.[20]



Figura 2.5: Centro Comercial Higuiereta en Lima – Montaje de las vigas prefabricadas pretensadas.

c) **Puente Pativilca – 2008.**

Ubicado en el kilómetro 199.3 de la Carretera Panamericana Norte. Cruza el río del mismo nombre, en el distrito de Pativilca, provincia de Barranca, al norte del departamento de Lima, construido en el año 2008. Tiene una longitud de 344 metros de un extremo al otro, con lo que se constituye como uno de los puentes de concreto más largos del país. Está conformado por siete tramos de 40 metros de luz entre pilares y dos de 32 metros en los extremos adyacentes a los estribos. Cuenta con dos carriles, uno en cada

dirección.[20]

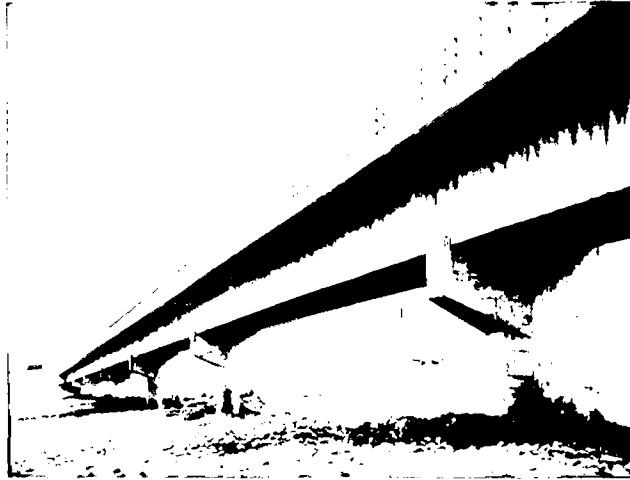


Figura 2.6: Puente Pativilca inaugurado el año 2008.

## 2.2. Planta de prefabricados.

Lugar donde se lleva a cabo la fabricación de elementos prefabricados de concreto, lo cual cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción. También se pueden prefabricar elementos a pic de obra, que por su peso, tamaño o condiciones propias de la obra requieren que sean fabricados en sitio.

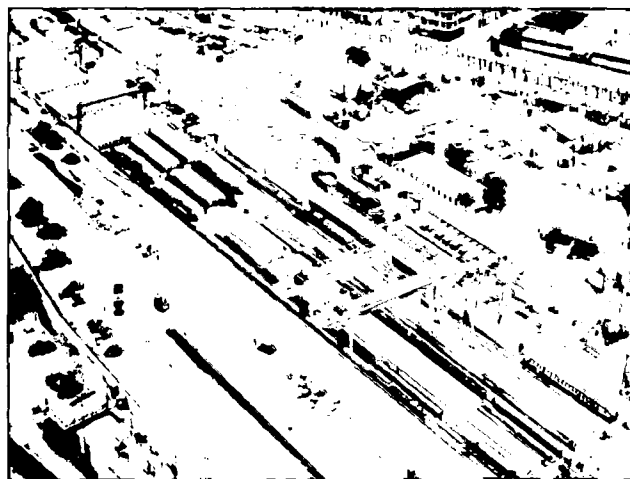


Figura 2.7: Planta de prefabricados Bayóvar – Tren Eléctrico – Línea 1 – Tramo 2.

### 2.2.1. Prefabricación

Es la producción de elementos de construcción fuera de su destino definitivo, tratándose de elementos que, en la construcción tradicional se realizarían in situ.

### 2.2.2. Industrialización en la Construcción

Es un esquema de construcción que mediante la adecuada planeación de las tareas y presupuesto, y una selección de equipos y materiales puede generar elevados rendimientos en obra y optimizar los recursos, sin afectar las condiciones económicas y la generación de empleo.

Con la industrialización se busca:

#### a) En obra

- Velocidad de trabajo.
- Exactitud en tiempos de construcción.
- Eficiencia en controles de obra.
- Precisión dimensional.
- Terminados perfectos.

#### b) Organización y planeación

- Planeación financiera.
- Coordinación de actividades.

#### c) Costos

- Presupuestos más precisos.
- Control de materiales, 100% organización.
- Mano de obra no especializada.
- Anula los tiempos muertos.

La industrialización no se refiere a la producción de nuevos productos, sino a la producción de cualquier producto con materiales disponibles de una forma tecnificada. La máquina es capaz de utilizar cualquier material en una forma nueva e industrial. El material no es el que determina si un producto es industrial, es la forma en que este producto fue fabricado.

### 2.2.3. Esquema de una planta de prefabricados.

La fabricación de elementos prefabricados de concreto normalmente se lleva a cabo en plantas fijas de producción, las cuales cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción.[4]

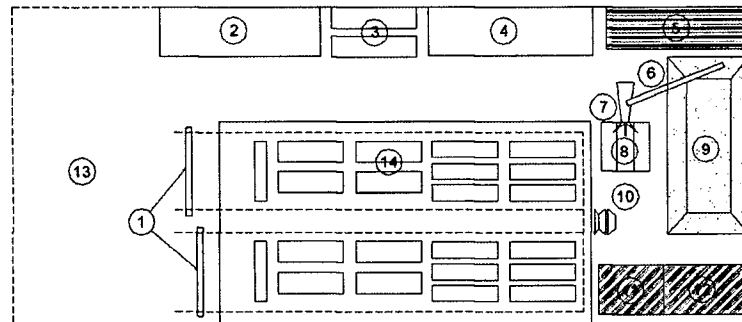


Figura 2.8: Esquema de la planta de prefabricados. Fuente:[4]

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1) Grúas pórtico.                         | 8) Agregados clasificados.            |
| 2) Almacén de acero listo para su empleo. | 9) Vertedero de agregados.            |
| 3) Área de habilitado de acero.           | 10) Concretera.                       |
| 4) Corte y doblado de acero.              | 11) Oficinas.                         |
| 5) Almacén de acero.                      | 12) Depósito de cemento.              |
| 6) Banda transportadora.                  | 13) Zona de almacenamiento.           |
| 7) Clasificador de agregados.             | 14) Área de fabricación de elementos. |

### 2.2.4. Componentes de una planta de prefabricados.

#### 2.2.4.1. Áreas comunes.

- Caseta de vigilancia.
- Estacionamiento para clientes y visitantes.
- Comedor.

- Baños y vestidores.

#### **2.2.4.2. Área administrativa.**

- Dirección.
- Áreas técnicas.
- Contabilidad.
- Ventas.

#### **2.2.4.3. Área operativa o de producción.**

- Almacenaje de materiales.
- Almacén de acero (estructural y preesfuerzo)
- Taller de habilitado de acero.
- Área de fabricación de elementos.
- Dosificadora y mezcladora de concreto.
- Área depósito de agregados.
- Silos de almacenamiento.
- Zona de retoque, resane y de almacenaje.
- Área de circulación (grúas, revolvedoras, tractocamiones y personal operativo)
- Área de desperdicios.
- Bodega de herramienta y equipo menor.
- Taller mecánico para reparación de maquinaria y equipo menor.
- Estacionamiento de maquinaria pesada.
- Laboratorio de control de materiales.
- Equipo para llevar a cabo el control de calidad y del producto terminado.

### 2.2.5. Maquinarias y equipos.

El equipo y maquinaria necesaria para la elaboración de elementos prefabricados preesforzados se enlista como sigue:

- Almacenaje de materiales.
- Mesas de vaciado, muertos y anclajes.
- Encofrado de madera o metálico.
- Dosificadora y mezcladora de concreto (en caso de fabricar el concreto en planta).
- Equipo para depositar el concreto en el molde como chutes y mixers.
- Silos de almacenamiento.
- Vibradores de concreto.
- Gatas hidráulicas y bomba para el tensado de los cables.
- Equipos para cortar los cables (cortadora o equipo de oxicorte).
- Equipo de transporte (Trailers con plataformas).
- Grúas sobre camión o grúas pórtico para desmolde y transporte interno de elementos.

## 2.3. Viaducto

### 2.3.1. Definición

Un viaducto es una obra de ingeniería que salva un valle en su totalidad, característica diferenciadora con los puentes.

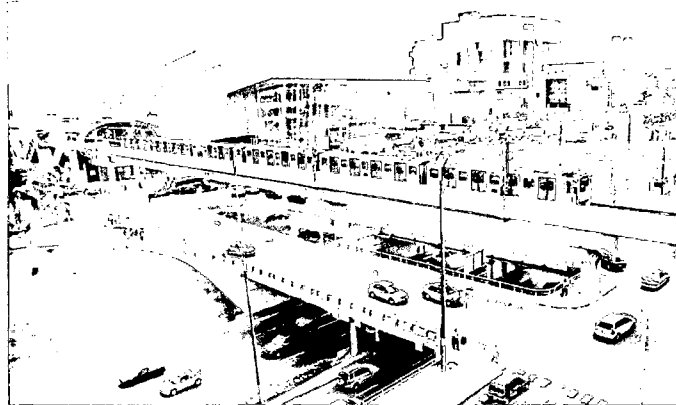


Figura 2.9: Viaducto Elevado del Metro de Lima – Línea 1.

### 2.3.2. Características técnicas del viaducto de trenes

#### 2.3.2.1. Superestructura y subestructura del viaducto.

La estructura del viaducto está conformada por la subestructura y la superestructura: La subestructura del viaducto lo conforman las zapatas, las columnas. La superestructura lo conforman las vigas, las losas, el borde típico, las prelosas, las restricciones sísmicas, los neoprenos y las canaletas de cable, conformando así la estructura de soporte del viaducto.[16] Por encima de toda la infraestructura se encuentran las durmientes, los rieles de tren y las catenarias.

#### 2.3.2.2. Características geométricas de la vía en la línea.

Las obras civiles a ser construidas deberán cumplir con los gálibos máximos establecidos en las normas vigentes:

- Para el caso de cruce con el ferrocarril central se deberá considerar el gálibo mínimo establecido en el Reglamento Nacional de Ferrocarriles (5.75 m).
- Gálibo mínimo entre tope de riel y estructura sobre pasante 4,6 m.
- Gálibo mínimo entre calzada y estructuras sobre pasante 5,0 m. (en zona urbana).

Cuadro 2.1: Parámetros de diseño del viaducto.[16]

| Parámetros   | Características |
|--|-----------------|
| Carga máxima por eje de un coche cargado   | 11.58 t         |
| Carga máxima por eje de la locomotora de maniobra  | 17.00 t         |
| Radio de curvatura mínimo horizontal   | 250 m           |
| Radio de curvatura mínimo vertical   | 3000 m          |
| Pendiente máxima   | 3.50 %          |
| Pendiente máxima en construcciones nuevas, vías de estacionamiento en patio o vías auxiliares para estacionamiento en la línea | 0.15 %          |
| Pendiente en estaciones, vías de maniobra y terminal   | 0.50 %          |
| Velocidad máxima actual  | 80 km/h         |
| La velocidad del paso de trenes sin detenerse en las estaciones  | 30 Km/h         |
| Velocidad máxima dentro del patio de maniobras   | 15 Km/h         |
| Velocidad máxima de la vía de acceso al patio de maniobras   | 30 Km/h.        |

Fuente:Reglamento Nacional de Ferrocarriles. [16]

## 2.4. Prefabricados

### 2.4.1. Definición

Los prefabricados de concreto se tratan de piezas fabricadas en una planta de producción, usando concreto como material fundamental. Dicho elemento es el resultado de un proceso industrial realizado bajo un sistema de control de producción definido. El prefabricado se puede definir como una pieza previamente manufacturada, obteniendo un elemento que cumple con las especificaciones requeridas del A.C.I. (*American Concrete Institute*), del A.S.T.M. y lo prescrito en el reglamento Nacional de Edificaciones en vigor tanto como en el diseño el prefabricado es llevado a obra, utilizando maquinaria para su transportación, colocación y poder ensamblar. [17]

## 2.5. Elementos prefabricados de concreto.

En el sistema prefabricado existen diferentes tipos de secciones de elementos, los cuales tienen diferentes funciones. Como es una producción en serie, es un proceso industrial, por lo cual a la fabricación de cada una de las diferentes secciones se pueden llamar líneas de fabricación. Los tipos de elementos prefabricados de concreto son muy variados pero solamente se mencionarán algunos de estos que son:[25]

Cuadro 2.2: Parámetros del andén de pasajeros y estaciones.[16]

| Parámetros   | Características                 |
|--|---------------------------------|
| Longitud de andenes, mínimo                            | 120 m.                          |
| Ancho de andenes laterales, mínimo                     | 4,0 m                           |
| Ancho de andenes centrales, mínimo                     | 6.0 m                           |
| Desnivel entre tope del riel y andén - Altura de andén | 1,05 m                          |
| Altura mínima libre de los accesos a los andenes       | 2,5                             |
| Separación máxima entre borde de andén y vagones       | 10 cm (para estación en recta)  |
| Separación máxima entre borde de andén y vagones       | 15 cm (para estación en curva)  |
| Pendiente máxima del perfil en estaciones              | 0,50%.                          |
| Radio de curvatura horizontal mínimo                   | 800 m. (para estación en curva) |

Fuente: Reglamento Nacional de Ferrocarriles. [16]

- a) Vigas T: Llega a tener desde 15 a 30m, empleados en sistemas de entresijos, techos, muros de gimnasios, laboratorios, escuelas, etc.
- b) Vigas TT: Llega a tener desde 20 a 25m
- c) Vigas TY: Se diseñan para cubiertas donde se requieren grandes luces asociadas con lámina estructural. Llega a tener desde 20 a 30m
- d) Vigas TTV: Se diseñan específicamente para servir como elementos de cubierta. Llega a tener desde 15 a 20m.
- e) Viguetas.
- f) Bovedillas.
- g) Losas TT.
- h) Vigas AASHTO: Se emplea para cubrir grandes luces y su campo de aplicación es amplio. Llega a tener desde 33 a 45 m.

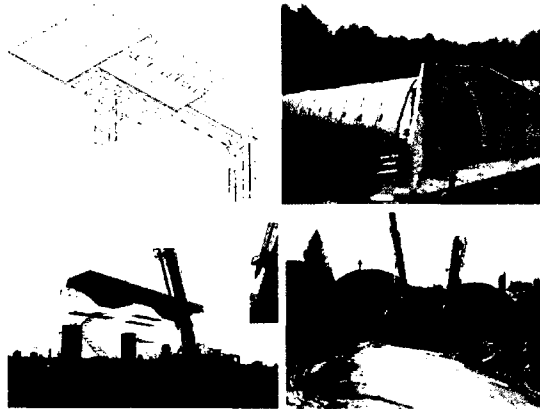


Figura 2.10: Jabalcones, directriz curva, dinteles y pilas y bóvedas prefabricados.

## 2.6. Clasificación de prefabricados

En este tema se hablará de la clasificación que se les da a los prefabricados de concreto de acuerdo al uso que se le vaya a dar, el cual se define desde su fabricación, teniendo:[17]

### 2.6.1. Simple

Es un prefabricado que no lleva ningún tipo de refuerzo, es un elemento de concreto como si fuera una losa siendo de dimensiones menores a los de otros elementos prefabricados.

### 2.6.2. Reforzado

Es el que se le aplica esfuerzos internos, a fin de reducir los esfuerzos potenciales de tensión derivados de las cargas que resulten en dicho concreto.

### 2.6.3. Pretensado

#### 2.6.3.1. Definición

Elementos de concreto sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión previos al vaciado de concreto. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados y anclados al concreto. Este método puede aplicarse tanto para elementos prefabricados como vaciados in situ.

## 2.6.4. Postensado

### 2.6.4.1. Definición

Elementos de concreto sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión posterior al vaciado de concreto. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados y anclados al concreto. Este método puede aplicarse tanto para elementos prefabricados como vaciados in situ.

**Torones:** Cable de acero de alta resistencia, fabricado de acuerdo con la especificación ASTM A 416, "Cable trenzado, sin Revestimiento, de Siete Alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo ligeramente mayor, Revelado de Esfuerzos, para Concreto Preesforzado". Existen distintos diámetros que varían desde 0.25 pulgadas a 0.6 pulgadas, siendo el torón de mayor uso es el de 0.5 pulgadas, con un peso aproximado por metro lineal de 0.78 kg/m.

**Ductos (Vaina metálica):** Tubería metálica que sirve como medio para dejar el espacio vacío en donde posteriormente irán los cables de post-tensado y la inyección de lechada.

## 2.7. Concepción de los Elementos Preesforzados

### 2.7.1. Definición

El concreto preesforzado consiste en crear deliberadamente esfuerzos permanentes en un elemento estructural para mejorar su comportamiento de servicio y aumentar su resistencia. El A.C.I. propone la siguiente definición:

**Concreto preesforzado:** Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado.

Gracias a la combinación del concreto y el acero de preesfuerzo es posible producir en un elemento estructural, esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en un elemento, lográndose así diseños más eficientes.

### 2.7.2. Diagramas de Momentos Flexionantes

En la Figura 2.11 se muestran los diagramas de momentos debidos a carga vertical, “W”, y a la fuerza de preesfuerzo “P”, para una viga simplemente apoyada. La carga vertical y la fuerza de preesfuerzo son las mismas para las tres vigas; sin embargo, los diagramas de momento debidos a las distintas condiciones de la fuerza de preesfuerzo difieren entre sí.[30]

**La viga I** tiene preesfuerzo axial, es decir, el centro de gravedad de los torones se encuentra en el eje neutro de la sección. El preesfuerzo así colocado no provoca ningún momento en la sección por lo que desde este punto de vista no hay ventajas al colocar preesfuerzo axial.

**En la viga II** el preesfuerzo produce un diagrama de momento constante a lo largo del elemento debido a que la trayectoria de la fuerza “P” es recta y horizontal, pero está aplicada con una excentricidad, “e”. Con esto se logra contrarrestar el momento máximo al centro del claro provocado por la carga vertical. Sin embargo, en los extremos de la viga II el momento provocado por el preesfuerzo resulta excesivo ya que no existe momento por cargas verticales que disminuya su acción. En este caso, un diseño adecuado deberá corregir este exceso de momento.

**En la viga III** se tiene una distribución de momentos debida al preesfuerzo similar a la curva provocada por la carga vertical; el preesfuerzo así colocado, con excentricidad pequeña en los extremos y máxima al centro del claro, contrarresta eficientemente el efecto de las cargas en cada sección de la viga.

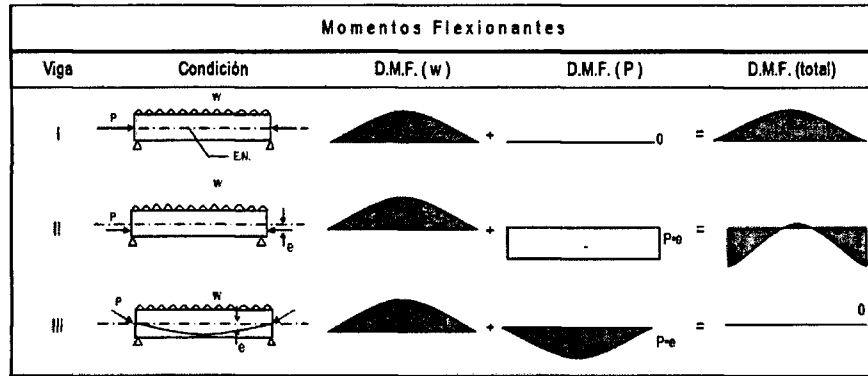


Figura 2.11: Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas. Fuente:[30]

### 2.7.3. Diagramas de Esfuerzos

La Figura 2.12 muestra los diagramas de esfuerzos para las secciones al centro del claro y en los extremos correspondientes a las mismas vigas de la Figura 2.11.

- Se aprecia que, contrario a lo observado en la Figura 2.11, el comportamiento de la viga I al centro del claro sí mejora con el preesfuerzo, aunque este sea sólo axial. Esto es debido a que el preesfuerzo provoca compresiones que disminuyen las tensiones provocadas por “W” en la fibra inferior de la sección.
- Para las vigas II y III estos esfuerzos de tensión son todavía menores por el momento provocado por el preesfuerzo excéntrico.
- En los extremos, las vigas I y III tienen esfuerzos sólo de compresión.
- La viga II presenta esfuerzos de tensión y compresión debidos a la existencia de preesfuerzo excéntrico; estos esfuerzos son mayores que los de las vigas I y III y en general mayores también que los esfuerzos permisibles.

La comparación de las vigas I, II y III mostrada en las Figuras 2.11 y 2.12 nos permite concluir que el acero de preesfuerzo disminuye tanto los esfuerzos de tensión como los momentos en la sección al centro del claro. Los efectos secundarios del preesfuerzo como los momentos y esfuerzos excesivos en los extremos de la viga II pueden suprimirse o inhibirse con procedimientos sencillos encamisando los torones o con técnicas similares.

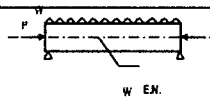

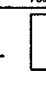

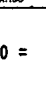

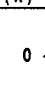
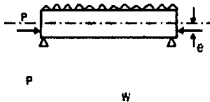

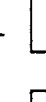



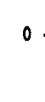

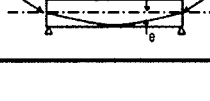

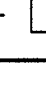


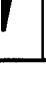
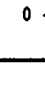
| Esfuerzos |   |   |   |   |   |               |   |  |   |
|-----------|---|---|---|---|---|---------------|---|--|---|
| Viga      | Condición   | AL CENTRO DEL CLARO   |   |   |   | EN EL EXTREMO |   |  |   |
|           |   | Carga (W)   | Prestuerzo Axial  | Prestuerzo Excéntrico   | Total   | Carga (W)     | Prestuerzo Axial  | Prestuerzo Excéntrico  | Total   |
| I         |  |  |  |  |  | 0             |  | 0  |   |
| II        |  |  |  |  |  | 0             |  |  |  |
| III       |  |  |  |  |  | 0             |  | 0  |   |

Figura 2.12: Esfuerzos al centro del claro y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad. Fuente:[30]

#### 2.7.4. Ventajas y Desventajas del Uso de Elementos Preesforzados

De acuerdo con lo anterior, la deformación y el agrietamiento de elementos preesforzados disminuyen por la compresión y el momento producidos por los torones, lo que se traduce en elementos más eficientes. Esto se aprecia esquemáticamente en la Figura 2.13 que muestra la comparación del estado de deformación y agrietamiento de dos vigas, una de concreto reforzado y otra de concreto preesforzado, sometidas ante la misma carga vertical.

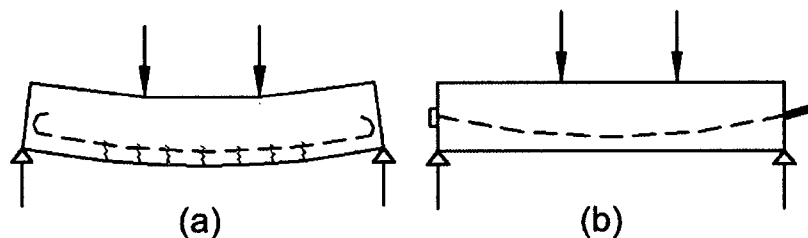


Figura 2.13: Deformación y agrietamiento en vigas de: a) Concreto reforzado y b) Concreto preesforzado.

Algunas ventajas del concreto preesforzado son las siguientes:

- Mejor comportamiento ante cargas de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión
- Permite el uso óptimo de materiales de alta resistencia.

- Se obtienen elementos más eficientes y esbeltos, con menos empleo de material; en vigas, por ejemplo, se utilizan peraltes del orden de  $L/20$  a  $L/23$ , donde  $L$  es el claro de la viga, a diferencia de  $L/10$  en concreto reforzado.
- La producción en serie en plantas permite mayor control de calidad y abatimiento de costos.
- Mayor rapidez de construcción al atacarse al mismo tiempo varios frentes o construirse simultáneamente distintas partes de la estructura; esto en general conlleva importantes ventajas económicas en un análisis financiero completo.

**Conviene también mencionar algunas desventajas que en ocasiones pueden surgir en ciertas obras. Estas son:**

- La falta de coordinación en el transporte de los elementos preesforzados puede encarecer el montaje.
- En general, la inversión inicial es mayor por la disminución en los tiempos de construcción.
- Se requiere también de un diseño relativamente especializado de conexiones, uniones y apoyos.
- Se debe planear y ejecutar cuidadosamente el proceso constructivo, sobre todo en las etapas de montaje y colados en sitio.

Existen aplicaciones que solo son posibles gracias al empleo del preesfuerzo. Este es el caso de puentes sobre avenidas con tránsito intenso o de claros muy grandes, el de algunas naves industriales o donde se requiere de una gran rapidez de construcción, entre otras.

## **2.7.5. Pretensado y Postensado**

### **2.7.5.1. Pretensado**

El término pretensado se usa para describir el método de preesfuerzo en el cual los torones se tensan antes de colar el concreto. Se prefiere utilizar elementos pretensados cuando se aprovecha la producción en serie y se desea mayor rapidez de construcción, cuidando que no se sobrepase la capacidad de las mesas o moldes de tensado y que los elementos se puedan

transportar por las carreteras y avenidas existentes.

**Características:**

- 1) Se tensan los torones “antes” del vaciado de concreto.
- 2) Se requieren de muertos de anclaje o moldes autotensables.
- 3) Se aplica a producción en serie en plantas prefabricadoras.
- 4) Se reutilizan moldes e instalaciones.
- 5) El anclaje se da por adherencia.
- 6) Se requiere enductar torones para controlar los esfuerzos durante la transferencia.

**Aplicación:** Vigas de puentes y edificios, Losas extruidas, Viguetas, Losas, etc.

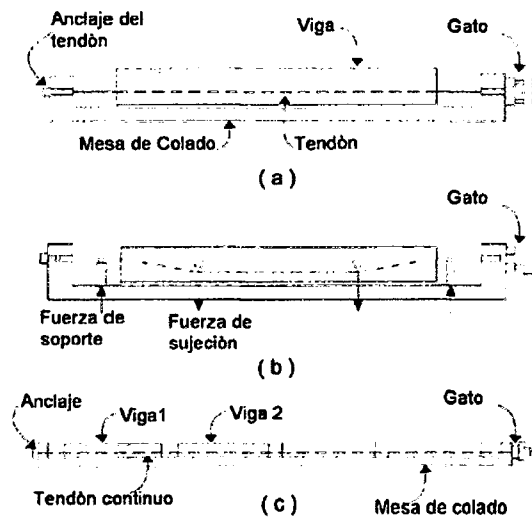


Figura 2.14: Fabricación de un elemento pretensado: a) Trayectoria horizontal, b) Desvío de torones y c) Producción en serie. Fuente:[30]

**2.7.5.2. Postensado**

El postensado es el método de preesfuerzo que consiste en tensar los torones y anclarlos en los extremos de los elementos después de que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia

necesaria.

**Características:**

- 1) Se tensan los torones una vez que se ha realizado el vaciado.
- 2) Se realiza en el lugar de la obra principalmente.
- 3) Se requiere dejar ductos ahogados y ubicados según las trayectorias de cálculo.
- 4) Una vez colocados y tensados los torones se requiere inyectar los ductos con mortero para proteger a los torones.
- 5) La acción del postensado se ejerce externamente por medio de anclajes especiales.

**Aplicación:** Dovelas y Vigas para puentes, Losas con preesfuerzo bidireccional, Diafragmas de puentes, Vigas hiperestáticas.

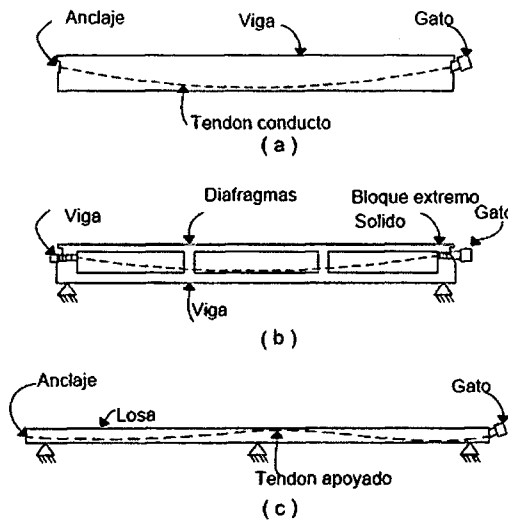


Figura 2.15: Trayectorias típicas de torones en vigas postensadas. Fuente:[30]

2.7.5.3. Deformación típica de Vigas pretensadas

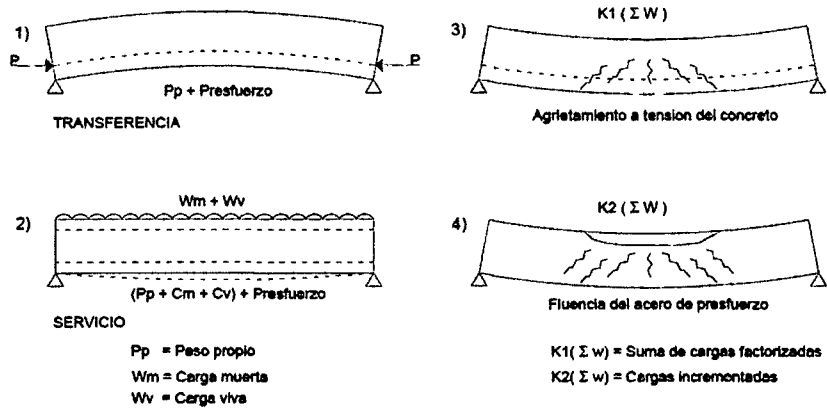


Figura 2.16: Deformación típica de vigas postensadas. Fuente:[30]

2.7.5.4. Etapas de un elemento preesforzado

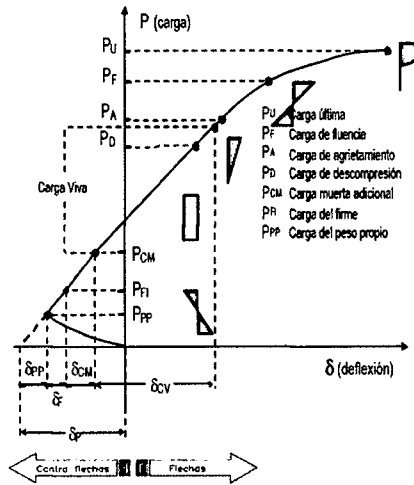


Figura 2.17: Gráfica carga-deflexión de una viga preesforzada típica. Fuente:[30]

$\delta_{pp}$  = Deflexión debido al peso propio

$\delta_f$  = Deflexión debido al firme

$\delta_{cm}$  = Deflexión debido a la carga muerta

$\delta_{cv}$  = Deflexión debido a la carga viva

Para prefabricados se debe analizar:

- 1) Sacar del molde.
- 2) En transporte.
- 3) En montaje.
- 4) Condiciones finales.

#### 2.7.5.5. Pérdidas de preesfuerzo.

La magnitud de la fuerza de preesfuerzo en un elemento no es constante, sino que esta va perdiendo fuerza durante su vida útil. A este fenómeno se le conoce con el nombre de pérdida de preesfuerzo. Existen dos tipos de pérdidas de preesfuerzo, aquellas que se presentan instantáneamente al aplicar el preesfuerzo, y aquellas que dependen del tiempo para que se presenten. También existen pérdidas que dependen de las cargas aplicadas a dichos elementos.

**Las pérdidas de preesfuerzo que son inmediatas, se presentan por las siguientes razones:**

- a) **Deslizamiento del anclaje**, ya que al momento en que la fuerza pretensora se transfiere de los gatos a los anclajes, las cuñas de fricción que se emplean para sostener los cables de preesfuerzo, se deslizan una distancia pequeña antes de sujetar firmemente al cable, provocando que este se afloje perdiendo consecuentemente algo de preesfuerzo.
- b) **Por acortamiento elástico del concreto**, ya que al transferirse la fuerza de preesfuerzo al concreto, se provoca un acortamiento elástico en este, a medida de que este elemento se va comprimiendo. Dicho acortamiento provoca que los cables de preesfuerzo también sufran un acortamiento ocurriendo por tal motivo una pérdida de preesfuerzo.
- c) **Fricción**. Solo en elementos postensados, debido a la curvatura intencional o accidental.

**Por otro lado las pérdidas de preesfuerzo que dependen del tiempo se deben a las siguientes razones:**

- a) **Por contracción del concreto** al momento de que este se seca, lo que provoca una reducción en la deformación del preesfuerzo traduciéndose en pérdidas.

- b) **Por relajamiento del acero**, esta es una propiedad del acero que se presenta en el momento en que a la pieza se le aplican las cargas de servicio. Se puede decir que el relajamiento es la pérdida de esfuerzo de un material que se mantiene esforzado a una longitud constante. La magnitud del relajamiento varía dependiendo del tipo y del grado de acero, aunque las causas principales son el tiempo y la intensidad del esfuerzo inicial.
- c) **Se presentan también por escurrimiento o flujo plástico del concreto**, el cual es la propiedad de que el material se deforma continuamente bajo un estado de esfuerzo o de carga. Primeramente la deformación es elástica hasta que alcanza un valor constante, y este fenómeno se traduce en pérdidas de preesfuerzo a lo largo del tiempo.

**2.7.5.6. Curva esfuerzo deformación de torón (diferentes diámetros)**

El esfuerzo de fluencia se calcula con la deformación unitaria del 1%. Para el torón de diámetro 1/2 pulgada varía entre 17,000 a 17,500  $kg/cm^2$  para acero normal y de baja relación respectivamente.[30]

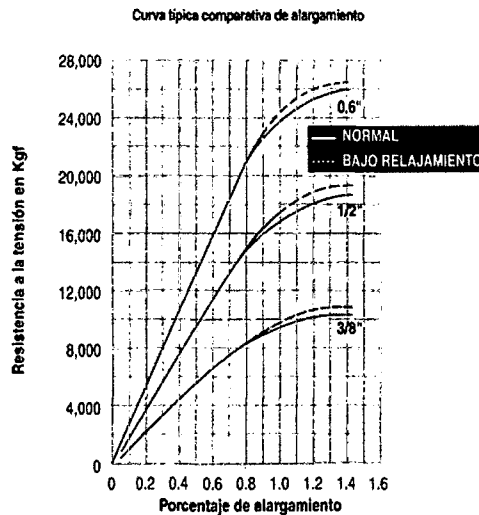


Figura 2.18: Curva fuerza-deformación para tres torones de distinto diámetro. Fuente:[30]

$$E = 2,000,000.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{sr} \text{ O } F_{pu} = 19,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$A(\text{torón de } 1/2) = 0.987 \text{ cm}^2$$

$$\text{El esfuerzo máximo al que se tensan es igual} = (0.8F_{sr})_{\phi=1/2in} = 15,200 \text{ kg/cm}^2$$

## 2.8. Construcción con elementos prefabricados

El aspecto financiero es el decisivo para elegir el procedimiento constructivo en un proyecto. Al tener el costo de las alternativas del proyecto se debe de conocer el tiempo de construcción de cada uno de ellos.

El aspecto financiero está en función del tiempo de ejecución, costo del dinero de inversión, tiempo para recuperarla; costo de las horas hombre en traslados y se deduce que el de obra más rentable siempre será la prefabricada, ya sea pretensada o postensada.

### 2.8.1. Ventajas y desventajas de los sistemas prefabricados

#### 2.8.1.1. Ventajas:

- Mejores materiales a emplear: Concreto de  $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$ , Aceros  $f_y > 16,000 \text{ kg/cm}^2$ .
- Mayor control de calidad.
- Curado con vapor.
- Se aprovechan tiempos muertos de obra en producir los elementos. Por ejemplo, durante la excavación o preparación de la misma, se producen las zapatas, columnas, vigas, etc.
- Reducción de personal de obra (ferreros, albañiles, carpinteros).
- Menor tiempo de ejecución. La recuperación de la inversión empieza más rápido.
- Se elimina el 95% de encofrado que sostiene el concreto.
- Mejores acabados de la obra.
- Uso repetitivo de moldes metálicos de buena calidad (a la larga es económico).
- Al usar elementos pretensados la relación claro/peralte puede ser entre 25 y 40 veces dependiendo de los elementos (por ejemplo, vigas, losas).

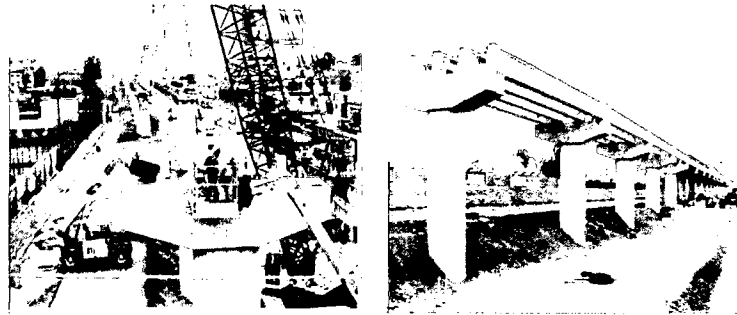


Figura 2.19: Sistema de construcción de viaductos con prefabricados.

#### 2.8.1.2. Desventajas:

- Mayor detalle en planos de construcción y montaje.
- Mayor planeación (estudio en tiempo y movimientos de maquinaria y transporte).
- La inversión se hace en menos tiempo.
- Se requiere maquinaria pesada (tractocamión, grúas, etc.).
- Mano de obra especializada.
- Se requiere espacio para maniobras en las obras.
- La inversión en moldes metálicos es muy alta.
- Son elementos pesados, se requiere equipo para maniobras, como grúas.

#### 2.8.2. Transporte de prefabricados

Al seleccionar el proceso constructivo a utilizar en un proyecto, es necesaria la correcta evaluación del transporte. En gran medida, del resultado de esta evaluación se decide si los elementos serán fabricados en planta fija, en planta móvil o a pie de obra. La incidencia del costo del transporte en el costo total de la obra es directamente proporcional a la distancia por recorrer y a la complejidad del flete. En condiciones normales, es aceptable que una obra que esté a menos de 350 km tenga un costo por transporte del 10 al 20 por ciento del costo total de los prefabricados.

### 2.8.2.1. Equipos de transporte especializado

- a) **Tractocamión:** Vehículo automotor destinado a soportar y arrastrar semirremolques y remolques. Normalmente se utilizan vehículos con motores diesel de 300 a 450 HP.



Figura 2.20: Tractocamión con semirremolque acoplado.

- b) **Semirremolque:** Vehículo o plataforma sin eje delantero unido a un tractocamión de manera que sea jalado y parte de su peso sea soportado por éste. Es posible también utilizarlos separados del tractocamión pero unidos a vigas de grandes dimensiones.

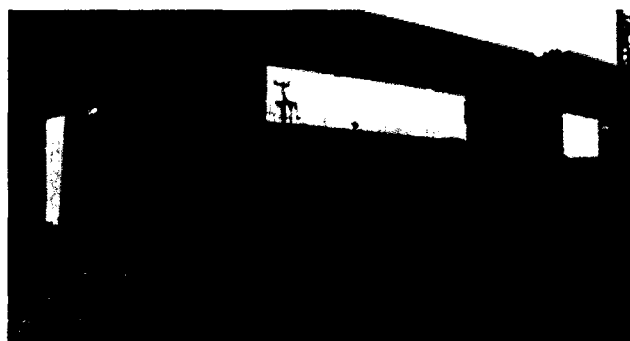


Figura 2.21: Tractocamión con semirremolque unido a viga.

- c) **Remolque:** Vehículo o plataforma con eje delantero y trasero no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo automotor o acoplado a un semirremolque.
- d) **Módulo:** Plataformas acoplables longitudinal y lateralmente, con ejes direccionales y suspensión hidráulica o neumática.

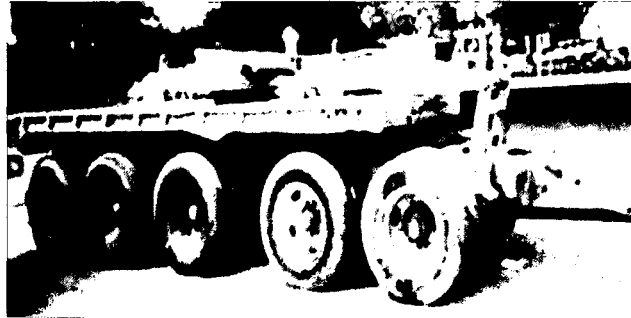


Figura 2.22: Módulo direccional de 5 ejes para 65 toneladas.

- c) **Patín delantero y Patín trasero:** Bastidores de uno o más ejes con llantas para transferir carga; también conocidos como “dollys”. En ocasiones, estos dollys tienen dirección propia para facilitar las maniobras.
- f) **Grúa industrial:** Máquina de diseño especial autopropulsable o montada sobre un vehículo para efectuar maniobras de carga, descarga, montaje y desmontaje.

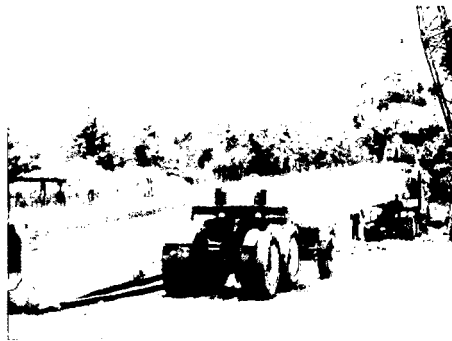


Figura 2.23: Patín delantero y trasero.

### 2.8.3. Montaje

En las obras prefabricadas, el montaje representa entre 10 y 30 por ciento del costo total de la obra. En términos generales, mientras mayor sea el volumen de la obra, menor será el costo relativo del montaje. Sin embargo, hay que considerar que los equipos de montaje por ser especializados y generalmente de gran capacidad, tienen costos horarios elevados, por lo que resulta indispensable una buena planeación de todas las actividades. Los rangos de capacidad se basan en condiciones ideales:

- Nivel de piso firme
- Viento en calma
- No llevar la carga lateralmente ni balanceándose
- Buena visibilidad
- La maquinaria debe estar en buenas condiciones, que no tenga miembros estructurales ni dañados ni fatigados y debe estar equipada como recién salida de la fábrica.

#### 2.8.3.1. Equipos de montaje.

Los equipos de montaje para elementos prefabricados tenemos los siguientes:

- a) **Grúas hidráulicas telescópicas.** Tienen mayor precisión ya que poseen una función más al extender su pluma y, por lo mismo, pueden introducirla en lugares inaccesibles para una pluma rígida. Estas grúas se dividen en montadas sobre camión y autopropulsadas o todo terreno.
- b) **Grúas hidráulicas estructurales o de celosía.** Superan a las anteriores en capacidad, ya que su pluma es mucho más ligera tránsitos largos, deberán contar con tractocamiones para transitar los accesorios, de tal forma que al llegar y al salir de una obra requieren de tiempo y espacio para armar contrapesos y la longitud de pluma necesaria. Normalmente están montadas sobre camión, el cual cuenta con el sistema hidráulico de gatos para estabilizarse. También existen sobre orugas que pueden hacer traslados muy cortos pero con toda la carga, mientras que las montadas sobre camión no pueden transitar con toda la carga.

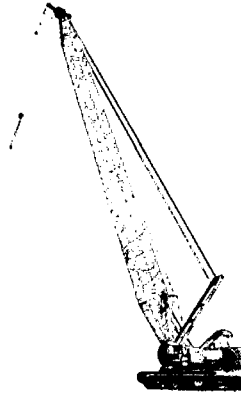


Figura 2.24: Grúa estructural o de celosía.

- c) **Armadura de montaje:** Viga provisional generalmente formada por armaduras metálicas sobre la cual se apoya la punta de una viga de gran longitud que corre sobre tortugas para cruzar al extremo contrario de una hondonada.
- d) **Perno de nivelación:** Accesorio que se coloca en la base de una columna desde su fabricación para ajustar el nivel de desplante de ésta, corrigiendo posibles diferencias por el trazado en campo.



Figura 2.25: Pernos de nivelación y armadura de montaje.

- e) **Tirford:** Malacate mecánico y manual para jalar la carga hasta el punto deseado.
- f) **Grilletes:** Anillo que sujeta cables de izaje o estrobos con la oreja del prefabricado.
- g) **Gatos:** Gatos hidráulicos o de arena en forma de botella para levantar o empujar, o descender elementos de gran peso.

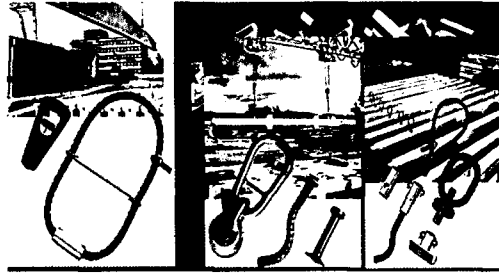


Figura 2.26: Los grilletes y ganchos de izaje.

### 2.8.3.2. Tolerancias y holguras

Entendemos por tolerancia, el margen de imprecisión aceptado en las dimensiones de los elementos prefabricados originado por procedimientos constructivos o por error, mientras que holgura significa el espacio libre entre las piezas que se debe prever desde el proyecto ejecutivo para hacer posible el ensamble. De esta forma, a mayores tolerancias permitidas, mayores deberán ser las holguras. Las tolerancias que permite la construcción con elementos prefabricados son menores a las tolerancias permitidas en una obra convencional ya que los elementos a ensamblarse tienen una longitud predeterminada y es costosa su modificación.

Las tolerancias varían dependiendo de los aspectos que a continuación se mencionan:

- a) Dimensiones del prefabricado: a mayores dimensiones del elemento, mayores tolerancias y holguras.
- b) Dirección de la medición: la importancia de la precisión depende si se mide el ancho, el peralte o la longitud.
- c) Tipo de construcción: por razones arquitectónicas, estéticas o de instalaciones y acabados, las edificaciones requieren de mayor precisión que los pasos o puentes vehiculares.
- d) Tipo de prefabricado: los prefabricados de fachada requieren de tolerancias menores, así como los elementos estructurales que tienen acabados aparentes.
- e) Dependencia u orden de secuencia: la posición de los elementos de los cuales dependerá el apoyo de más elementos montados posteriormente, requiere de mucha precisión porque los errores se acumulan. Así, un error en la cimentación afectará al resto de la estructura.

### 2.8.3.3. Montaje de elementos horizontales (vigas)

Vigas, losas, placas, tabletas, etc.; deben ser tomadas directamente del tractocamión que los transporta y colocados en la estructura en una sola maniobra, para lo cual el operador debe estudiar el sitio óptimo para estabilizar su grúa y realizar el menor número de movimientos posibles. Una vez colocada y centrada la pieza se revisa el plomo de sus costados y centros de trazo. Si es necesario se calza del lado que se requiera y se acuña para garantizar su correcta colocación.

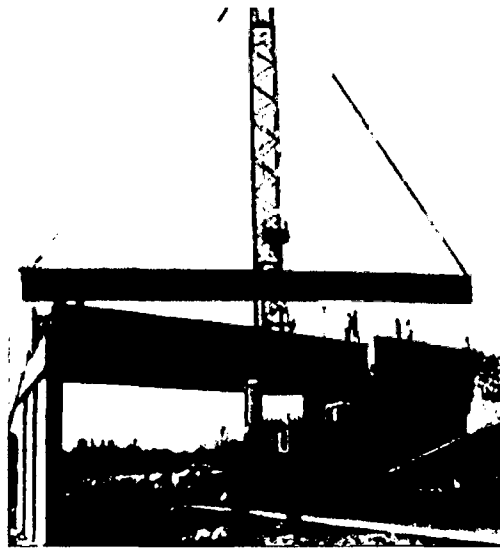


Figura 2.27: Montaje de elementos horizontales.

## 2.9. Factores que afectan la productividad en el montaje

### a) Factores de planeación y organización:

- Falta de seguimiento y programación adecuada del transporte, de lo que depende el inicio y fin de un montaje. Para esto se requiere de un tiempo holgado para fabricación.
- Días feriados y períodos vacacionales, en los que no se puede transportar con exceso de dimensiones.
- Fallas de coordinación al subcontratar servicio de transporte separado del de montaje.

---

## 2.9. Factores que afectan la productividad en el montaje

---

- Falta de tractocamiones suficientes para cumplir a tiempo con el programa de transporte y montaje.
- Personal de montaje insuficiente. Se recomienda considerar 2 ayudantes de montaje para vigas, 4 para muro y 3 para losas, agregando a los anteriores un encargado de montaje por frente.
- En obras foráneas, los días lunes y sábado no son aprovechados ya que el personal los ocupa en traslados.
- Falta de personal capacitado para montajes.
- Falta de coordinación con las brigadas de soldadura o cualquier otro trabajo de campo interconectado con el montaje.
- Los cambios de frente o cambios del programa inicial generan falta de continuidad en los trabajos de montaje ya que en cada cambio se requiere recoger, trasladar e instalar nuevamente el equipo.
- Realización de dobles maniobras cuando es necesario almacenar los elementos en obra hasta que se den las condiciones apropiadas para el montaje.

### b) Condiciones especiales de la obra:

- Accesos con obstáculos o con insuficiente área libre para maniobras de montaje.
- Obstáculos operacionales de la obra como horario o permiso especial para tráfico vehicular o ferroviario, o cuando el constructor requiere estar operando en otra actividad en la misma zona de la obra.
- Con horario de montaje nocturno la eficiencia baja por rendimiento de personal y por falta de visibilidad.
- Permisos y horarios especiales, mismos que a veces no son previsible, por lo que las grúas y camiones deben de esperar en el lugar de la maniobra durante varias horas o días.
- Terraplenes cuya compactación no es adecuada para el equipo pesado.
- Condiciones no adecuadas de los apoyos, irregularidades o falta de trazo de nivel o de alineamiento.
- Dificultad para el ascenso del personal al área de posición final de los elementos.

- Cuando el montaje no es con la grúa al centro del claro, aumentará la dificultad proporcionalmente a la distancia a lanzar.

c) **Condiciones intrínsecas del proyecto:**

- Cantidad, peso y dimensiones de las piezas, lo cual determina el número de piezas por viaje y, por lo tanto, la cantidad de viajes.
- Piezas con desnivel.
- Holguras escasas o nulas entre pieza y pieza.
- Recortes y formas especiales para conexiones complejas.
- Ganchos de izaje fuera del eje de gravedad de la pieza.
- Mientras mayor sea el peso de los elementos el tiempo requerido es mayor.
- La falta de uniformidad en las piezas genera posibles errores, mayor trabajo de coordinación y a menudo maniobras dobles.
- Mientras la operación requiera de mayor altura, por algún obstáculo a librar, se requiere de más tiempo.
- Los montajes a dos grúas (lanzados o coordinados) requieren de mucho mayor tiempo, además de una perfecta coordinación entre operadores de grúas, tractocamiones, constructor y en ocasiones autoridades.

## 2.10. Construcción in-situ.

Este sistema es el más tardado, aunque los programas de ejecución hayan sido hechos por ruta crítica y es por lo siguiente:

En el sitio de la obra hay que hacer todos los trabajos y en orden secuencial por ejemplo:

**Etapa 1:** Limpieza del terreno, trazo, excavación, armada, encofrado y vaciado de concreto en la cimentación. Puede haber actividades simultáneas, como habilitar el accro c inclusive armar parte o todo, habilitado de la madera en encofrado, etc.

**Etapa 2:** Armado, encofrado y vaciado de columnas.

**Etapa 3:** Encofrado de vigas y losa, armado de estas y vaciado de concreto (si la superficie es grande, esta se puede dividir en partes).

**Etapa 4:** Se repite la Etapa 2.

**Etapa 5:** Se repite la Etapa 3 y así sucesivamente hasta la terminación.

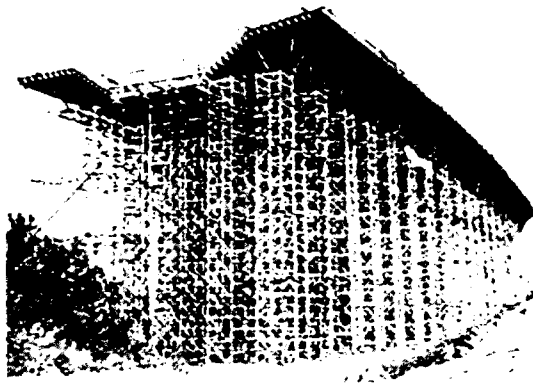


Figura 2.28: Encofrado apoyado sobre el terreno.

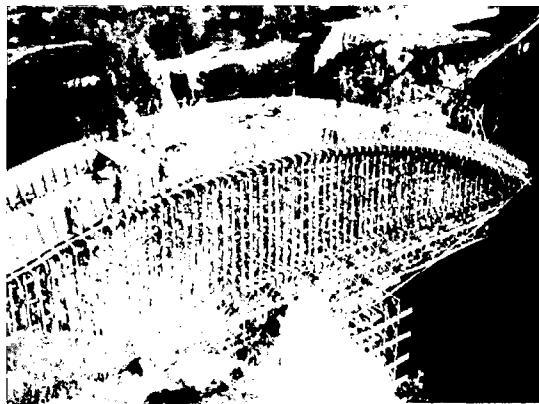


Figura 2.29: Encofrado de un puente en arco en el sistema construcción convencional.

### 2.10.1. Desventajas

- Mayores riesgos durante el proceso constructivo.
- Mayor costo.

- Mayor tiempo de ejecución.
- Mayor cantidad de personal de obra.
- No se aprovecha los tiempos muertos, debido al proceso constructivo.
- Mayor cantidad de cimentación, Luces más cortos, vigas muy peraltadas, etc.
- Mayor contaminación ambiental.
- Menor control de calidad.
- Interrupción del tráfico y malestar de los vecinos.

#### **2.10.2. Ventajas**

- Menor detalle en planos de construcción.
- La inversión se hace al ritmo del proceso constructivo.
- No requiere maquinaria pesada como en prefabricados.
- No requiere equipos especializados.
- Empleo de materiales convencionales.

### **2.11. Gestión de la seguridad en el trabajo y el medio ambiente.**

#### **2.11.1. Plan de seguridad y salud en el trabajo**

Toda obra de construcción debe contar con un Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo (PSST) que contenga los mecanismos técnicos y administrativos necesarios para garantizar la integridad física y salud de los trabajadores y de terceras personas, durante la ejecución de las actividades previstas en el contrato de obra y trabajos adicionales que se deriven del contrato principal.

El plan de Prevención de Riesgos debe integrarse al proceso de construcción de la obra, desde la concepción del presupuesto, el cual debe incluir una partida específica denominada "Plan

## 2.11. Gestión de la seguridad en el trabajo y el medio ambiente.

de Seguridad y Salud en el Trabajo” en la que se estimará el costo de implementación de los mecanismos técnicos y administrativos contenidos en plan.

El Jefe de Obra o Residente de Obra es responsable de que se implemente el PSST, antes del inicio de los trabajos contratados, así como de garantizar su cumplimiento en todas las etapas ejecución de la obra.

En toda obra los contratistas y subcontratistas deben cumplir los lineamientos del Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo del contratista titular y tomarlos como base para elaborar sus planes específicos para los trabajos que tengan asignados en la obra. [11]

### **2.11.1.1. Equipo de protección individual (EPI)**

- Ropa de trabajo.
- Casco de seguridad.
- Calzado de seguridad
- Protectores de oídos.
- Protectores visuales.
- Protección respiratoria.
- Arnés de seguridad.
- Guantes de seguridad.

### **2.11.1.2. Protecciones Colectivas**

- Señalización.
- Redes de seguridad.
- Barandas perimetrales.
- Tapas y sistemas de línea de vida horizontal y vertical.
- Mallas que protejan a los trabajadores del nivel inferior, de la caída de objetos.



Figura 2.30: Equipos de protección personal.

### 2.11.1.3. Documentos de Seguridad en el Trabajo.

Antes de iniciar las actividades, los trabajadores deberán recibir una charla de Seguridad de 5 minutos; luego deberá elaborar los permisos correspondientes de acuerdo al tipo de actividad y las cuales deben ser firmadas por el Capataz y el ingeniero responsable, autorizando el inicio de las actividades.

Los documentos más usuales en el montaje de estructuras son los siguientes:

- Permiso general de trabajo.
- Análisis de trabajo seguro.
- Permiso de trabajos en altura.
- Inspección de andamios.
- Permiso de izaje.
- Lista de inspección de equipos.

### 2.11.2. Manejo y movimiento de cargas

#### 2.11.2.1. Consideraciones antes de las actividades de trabajo.

Antes que a cualquier persona se le asignen tareas o trabajos asociados con la identificación de peligros, prueba, supervisión, u otro tipo de trabajo que tenga que ver con equipos de alzado

y grúas móviles, ésta deberá ser capacitada para que obtenga la comprensión, conocimiento y habilidad para realizar tales tareas o trabajo de una manera segura.

El área de trabajo deberá estar libre de obstrucciones, demarcado con cinta de señalización; los equipos deberán estar en buen estado y deberá pasar un check list.

#### 2.11.2.2. Consideraciones durante las actividades de trabajo.

Solamente aquellas personas entrenadas y autorizadas podrán dar señales a los operadores de grúas.

#### 2.11.2.3. Consideraciones para terminar el trabajo.

El rigger se encarga de verificar que la carga de la grúa sea retirada lo más pronto posible para su utilización posterior y que las eslingas de izaje hayan sido removidas.

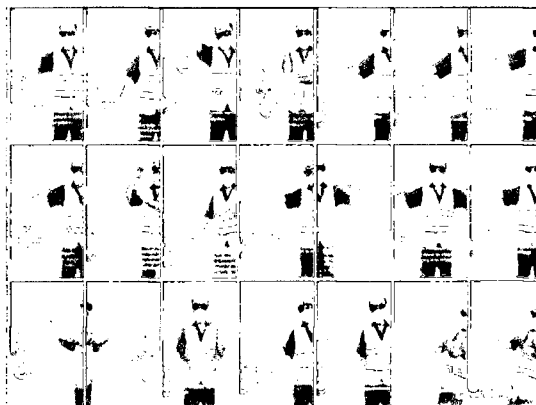


Figura 2.31: Código internacional de señales de mano para trabajos con grúas/ *Fuete: American Society of Mechanical Engineers.*

#### 2.11.3. Gestión de residuos.

Los residuos derivados de las actividades de construcción deben ser manejados convenientemente hasta su disposición final. Para tal efecto, deben ser colocados temporalmente en áreas acordonadas y señalizadas o en recipientes adecuados debidamente rotulados.

Cuadro 2.3: Distancias mínimas requeridas con líneas transmisoras de electricidad.[30]

| Rangos de voltaje de líneas de poder, kV. | Distancia mínima requerida en metros (cuando la grúa esté trabajando) | Distancia mínima requerida en metros (mientras esté en tránsito) |
|---|---|--|
| Hasta 50                                  | 3   | 1.2  |
| De 50 a 200                               | 4.6   | 3  |
| De 200 a 350                              | 6.1   | 3  |
| De 350 a 500                              | 7.6   | 4.9  |
| De 500 a 750                              | 10.7  | 4.9  |
| De 750 a 1000                             | 13.7  |  |

Fuente: Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, 2000.[30]

Cuadro 2.4: Ciclos de operación promedio de algunos elementos.[30]

| Tipo de pieza    | L <10 m | 10 <L <20 | L >20 m |
|------------------|---------|-----------|---------|
| Losa extruida    | 15 min  | 25 min    |         |
| Losa TT          | 20 min  | 35 min    |         |
| Viga TP o TR     | 20 min  | 50 min    | 60 min  |
| Muro de fachada  | 40 min  | 60 min    |         |
| Muro TT          | 35 min  | 45 min    |         |
| Viga para puente | 18 min  | 40 min    | 50 min  |

Fuente: Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, 2000.[30]

Los vehículos que efectúen la eliminación de los desechos deberán contar con autorización de la Entidad respectiva de acuerdo al “Reglamento para la gestión de residuos sólidos de la construcción y demolición”. [23]

#### 2.11.3.1. Residuos No Peligrosos.

Se deben clasificar en función al tratamiento que se haya decidido dar a cada residuo:

- a) **Reutilizar** algunos residuos que no requieran de un tratamiento previo para incorporarlos al ciclo productivo; por ejemplo: Residuos de demolición para concreto ciclópeo de baja resistencia.
- b) **Recuperar** componentes de algún residuo que sin requerir tratamiento previo, sirvan para producir nuevos elementos; por ejemplo: Madera de embalaje como elementos de encofrado de baja resistencia.
- c) **Reciclar** algunos residuos, que puedan ser empleados como materia prima de un nuevo producto, luego de un tratamiento adecuado; por ejemplo: El uso de carpeta asfáltica deteriorada como agregado de mezcla asfáltica nueva (granulado de asfalto) luego de un proceso de chancado y zarandeo.

#### 2.11.3.2. Residuos Peligrosos.

Se deben almacenar temporalmente en áreas aisladas, debidamente señalizadas, hasta ser entregados a empresas especializadas para su disposición final.

Adicionalmente, se cumplirá lo establecido por la Norma Técnica Peruana: N.T.P. 400.050 “Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción” y por la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento, ambas vigentes. [11]

## Capítulo 3

# Desarrollo de la Investigación

### 3.1. Materiales y equipos empleados en el caso de estudio

#### 3.1.1. Normas específicas

El Proyecto cumplió con los requisitos de la categoría “A” de la norma peruana de sismos, así como su tratamiento de estructura especial, considerando que la vida útil de las estructuras de las obras civiles será como mínimo de 50 años. Se cumplió con la última versión de las normas emitidas por:

- RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones)– N.T.E. E.060 Concreto Armado y N.T.E. E.030 Diseño Sismoresistente.
- A.S.T.M. (*American Society of Testing and Materials*).
- A.C.I. (*American Concrete Institute*).
- A.W.S. (*American Welding Society*).
- AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).
- Manual de Diseño de Puentes de la DGCF de PROVIAS NACIONAL.

### 3.1.2. Agregados

Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, deberán cumplir las indicaciones establecidos en la **N.T.P. 400.012**, **A.S.T.M. C 33** y **A.C.I.**

Cuadro 3.1: Normas para hallar los Parámetros Físicos de los Agregados.

| Parámetros Físicos                       | NTP         |             | ASTM        |            |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|
|  | Ag. Grueso  | Ag. Fino    | Ag. Grueso  | Ag. Fino   |
| Análisis Granulométrico                  | NTP 400.012 |             | ASTM C 136  |            |
| Peso Unitario Suelto y Varillado         | NTP 400.017 |             | ASTM C 29   |            |
| Peso Específico y Capacidad de Absorción | NTP 400.021 | NTP 400.022 | ASTM C 127  | ASTM C 128 |
| Contenido de Humedad                     |             |             | ASTM D 2216 |            |

Fuente: N.T.P. 400.012 y A.S.T.M. C 33

### 3.1.3. Cemento

El cemento utilizado será Portland Tipo I, el cual deberá cumplir lo especificado en la **Norma Técnica Peruana NTP 334.09**, **Norma AASHTO M-85** o la **Norma ASTM C 150**.

### 3.1.4. El agua

En la medida que sea posible se deberá usar agua potable para el concreto, ya que cumple satisfactoriamente los requisitos de calidad de la **NTP 339.088**.

### 3.1.5. Aditivos

La norma **ASTM C 494** y **NTP 334.090** es la especificación estándar para los aditivos químicos como plastificantes, retardadores y acelerantes de concreto.

Para el caso de estudio se ha tomado los siguientes componentes para el concreto premezclado, tal como se muestra en el Cuadro.3.2

### 3.1. Materiales y equipos empleados en el caso de estudio

---

Cuadro 3.2: Componentes del concreto premezclado, procedencia y la Norma respectiva.

| INSUMO  | PROCEDENCIA       | ESPECIFICACIÓN |
|---|-------------------|----------------|
| Agregado Fino                                 | Cantera Jicamarca | ASTM C 33      |
| Agregado Grueso (Huso 5)<br>Tamaño máx. 1"    | Cantera Jicamarca | ASTM C 33      |
| Agregado Grueso (Huso 67)<br>Tamaño máx. 3/4" | Cantera Jicamarca | ASTM C 33      |
| Cemento Tipo I                                | Cementos Lima     | ASTM C 150     |
| Filler Calizo                                 | Cementos Lima     | ASTM C 1157    |
| Polyheed 770R                                 | Basf Perú         | ASTM C 494     |
| Rheobuild                                     | Basf Perú         | ASTM C 494     |
| Agua  | Red Pública       | NTP 339.088    |

Fuente: Área de Ingeniería – Consorcio Tren Eléctrico.

#### 3.1.6. Concreto

##### 3.1.6.1. Concreto Premezclado

Es el concreto elaborado industrialmente en planta con dosificación en peso y transportado masivamente en camiones mezcladores de hasta  $8m^3$  al sitio de obra. Industrialmente significa producido bajo condiciones muy controladas, sistemáticas y de manera masiva. El concreto premezclado emplea agregados calificados y aditivos en sus formulaciones.

##### 3.1.6.2. Dosificación de concreto premezclado

Los criterios del Comité 211 del A.C.I. serán usados para determinar la dosificación del concreto, a fin de obtener la calidad requerida. Para el caso de estudio se ha sea elaborado en una planta dosificadora cerca de la planta de prefabricados, para concreto  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$  (Vigas tipo I) y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  (Vigas cabezales); cumpliendo los requisitos de la norma **ASTM C 94** que establece los requisitos del concreto premezclado, elaborado y entregado en un estado recién mezclado y no endurecido.

Cuando sea requerido se deberá inspeccionar lo siguiente:

- Planta de dosificación y mezclado.
- Inspección preliminar de la dosificación.
- Ensayos de uniformidad de las mezcladoras ya sean estacionarias o de camión.

### 3.1. Materiales y equipos empleados en el caso de estudio

- Informe de las mezcladoras de camión.
- Inspección de la producción de concreto.

Cuadro 3.3: Dosificación de componentes para concreto  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

| DOSIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES EN ESTADO SECO     |                   |                 |   |   |   |   |
|--|-------------------|-----------------|---|---|---|---|
| Componentes  | Procedencia       | Unidades        | Concreto  | Concreto                                      | Concreto  | Concreto  |
|  |                   |                 | $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ ,<br>slump de 6" a 8" | $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ ,<br>slump de >8" | $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ,<br>slump de 4" a 6" | $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ ,<br>slump de 6" a 8" |
| Agregado Fino                                      | Cantera Jicamarca | $\text{kg/m}^3$ | 881   | 897   | 930   | 959   |
| Agregado Grueso (Huso 5) Tamaño máx. Nominal 1"    | Cantera Jicamarca | $\text{kg/m}^3$ | -   | -   | -   | -   |
| Agregado Grueso (Huso 67) Tamaño máx. nominal 3/4" | Cantera Jicamarca | $\text{kg/m}^3$ | 788   | 771   | 866   | 887   |
| Cemento Tipo I                                     | Cementos Lima     | $\text{kg/m}^3$ | 440   | 440   | 325   | 320   |
| Filler Calizo                                      | Cementos Lima     | $\text{kg/m}^3$ | 70  | 78  | 67  | 56  |
| Polyheed 770R                                      | Basf Perú         | $\text{lt/m}^3$ | 2.07  | 2.07  | 1.76  | 1.13  |
| Rheobuild  | Basf Perú         | $\text{lt/m}^3$ | 5.18  | 5.7   | 1.76  | 3.38  |
| Agua   | Red Pública       | $\text{lt/m}^3$ | 215   | 215   | 215   | 211   |

Fuente: Área de Ingeniería – Consorcio Tren Eléctrico.

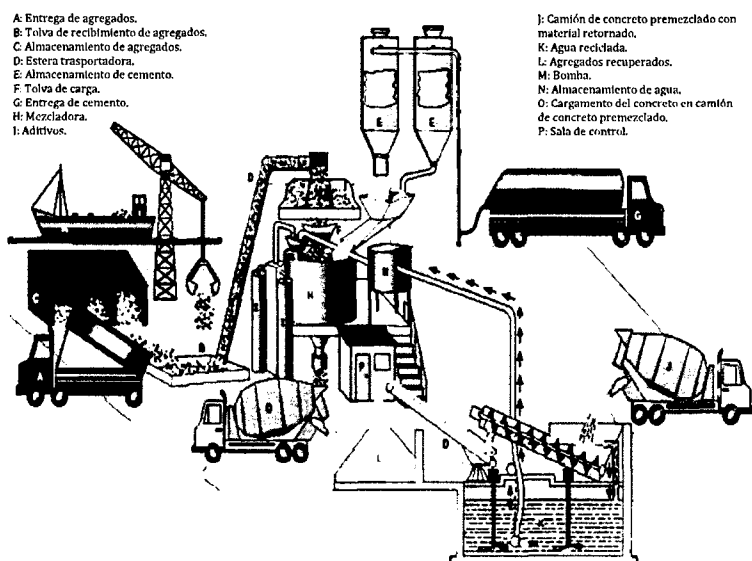


Figura 3.1: Equipo de preparación de concreto.

### 3.1.6.3. Mezclado de concreto

En las plantas dosificadoras y mezcladoras de concreto, los dispositivos para la dosificación por peso de los diferentes ingredientes deberán ser automáticos, efectuando una mezcla en las proporciones establecidas durante su diseño, admitiéndose las siguientes variaciones en el peso de sus componentes:

Cuadro 3.4: Tolerancias en las variaciones en el peso de sus componentes del concreto.

| Componentes del concreto       | Tolerancia |
|--------------------------------|------------|
| Cemento                        | $\pm 1\%$  |
| Agua                           | $\pm 2\%$  |
| Aditivos                       | $\pm 3\%$  |
| Agregado fino                  | $\pm 2\%$  |
| Agregado grueso hasta de 38 mm | $\pm 2\%$  |
| Agregado grueso mayor de 38 mm | $\pm 3\%$  |

Fuente: Área de Ingeniería – Consorcio Tren Eléctrico.

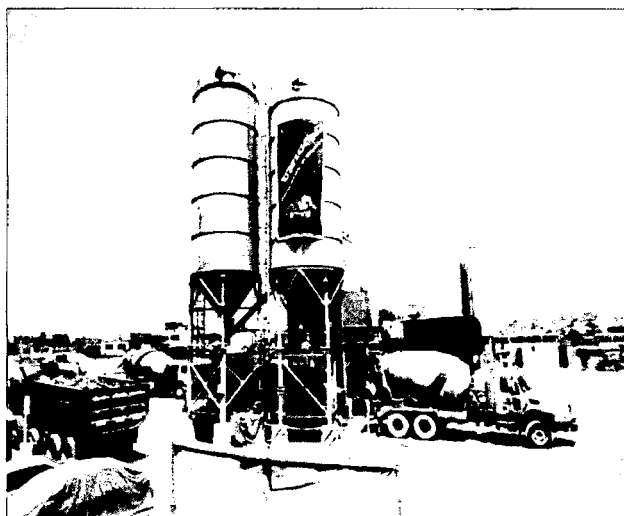


Figura 3.2: Equipo de preparación de concreto para vigas prefabricados en la planta Bayóvar

### 3.1.6.4. Colocación del concreto

#### a) Condiciones del sitio

Debe inspeccionarse los requisitos especificados en lo que respecta a la preparación del sitio y condiciones de localización.

b) **Vaciado**

En todos los casos, el concreto se deberá depositar lo más cerca posible de su posición final y no se deberá hacer fluir por medio de vibradores. Cuando se coloque concreto directamente del mixer se adaptarán chutes metálicos, de plásticos o madera que faciliten la colocación del concreto y a su vez eviten la segregación de la mezcla de concreto.

c) **Consolidación**

El concreto se deberá consolidar mediante vibración, hasta obtener la mayor densidad posible, de manera que quede libre de cavidades producidas por partículas de agregado grueso y burbujas de aire, y que cubra totalmente las superficies de los encofrados y los materiales embebidos.

d) **Curado**

En el curado de concreto de alta resistencia a temprana edad se debe realizar teniendo en cuenta las indicaciones de la norma ASTM C 31, empleando agua o aditivos.

**3.1.6.5. Ensayos en el concreto recién mezclado**

a) **Muestreo**

Es preciso que para controlar la calidad del concreto el muestreo se realice según la norma del ASTM C 172.

b) **Consistencia (Slump)**

Se podrá usar el método de ensayo de asentamiento ASTM C 143.

c) **Temperatura**

La temperatura de la mezcla de concreto, inmediatamente antes de su colocación, deberá estar entre diez y treinta y dos grados Celsius ( $10^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$ ). En el caso de concretos de alta resistencia (alto contenido de cemento) se podrán alcanzar temperaturas de hasta  $38^{\circ}\text{C}$  siempre y cuando se garantice un sistema de curado que conserve la humedad y calor necesarios para que la estructura alcance la resistencia requerida. Para determinar la temperatura de la mezcla del concreto fresco, se procederá en base a lo indicado en la norma ASTM C 1064.

d) **Probetas de concreto**

### 3.1. Materiales y equipos empleados en el caso de estudio

Para la elaboración y curado de las probetas cilíndricas de concreto en obra, se respetarán las normas siguientes:

- **ASTM C 31**, describe el método para la preparación de las probetas.
- **ASTM C 172**, describe el método para el muestreo del concreto fresco.

Los moldes cilíndricos podrán ser plásticos y/o metálicos siempre y cuando cumplan las tolerancias en dimensiones, absorción y elongación, especificadas en la norma ASTM C 470. Se podrán usar moldes de 4"x8" y 6"x12" .

#### e) **Curado de las probetas**

En el caso de las probetas de concretos de alta resistencia (a temprana edad), estas serán desmoldadas de acuerdo a los tiempos de ensayo y curadas según el sistema implementado para estas estructuras.

#### 3.1.6.6. Ensayos de probetas

##### a) **Ensayo a compresión**

Este ensayo de resistencia a compresión se realizará de acuerdo a la norma **ASTM C 39 y A.C.I.-318 – Capítulo 5 / 5.6 Evaluación y Aceptación del Concreto**. El equipo para el ensayo a compresión deberá ser calibrado y/o verificado por una institución acreditada. En caso de concretos con resistencia a 24 horas se debe realizar a 12, 14 y a 18 horas.

#### 3.1.6.7. Cuadro de tolerancias según Norma

Cuadro 3.5: Calidad del producto terminado

| <b>Desviaciones máximas admisibles de las dimensiones laterales</b> | <b>Tolerancias</b> |
|---|--------------------|
| Vigas pretensadas y postensadas                                     | -5 mm a + 10 mm    |
| Vigas, columnas, pilares, placas y muros (reforzado)                | -10 mm a + 10 mm   |
| Muros, estribos y cimientos   | -10 mm a + 10 mm   |
| Espesores de placas   | -10 mm a + 10 mm   |

Fuente: La Norma A.C.I. y la Norma E.06 Concreto Armado

### 3.1.6.8. Recursos para inspección, pruebas y ensayos:

El personal, equipo y materiales cumplirá con los siguientes requisitos:

- a) **Personal:** El personal deberá estar suficientemente calificado para cumplir de manera adecuada con sus funciones en el tiempo establecido.

El Laboratorio de Control de Calidad estará constituida por el siguiente personal:

- Jefe de Laboratorio.
- Asistentes de Laboratorio.

Todos los equipos e instrumentos de medición deberán contar con los certificados de calibración vigente.

### 3.1.7. Acero

#### 3.1.7.1. Acero de preesfuerzo

El acero de preesfuerzo es el material que va a provocar de manera activa momentos y esfuerzos que contrarresten a los causados por las cargas. Existen tres formas comunes de emplear el acero de preesfuerzo: alambres, torón y varillas de acero de aleación. En este caso de estudio solo se empleará el torón.

- a) **Torón.** El torón se fabrica con estricto apego a la norma **ASTM A 416** con siete alambres firmemente torcidos, las propiedades mecánicas comparadas con las de los alambres mejoran notablemente, sobre todo la adherencia.[30]



Figura 3.3: Torón utilizado en concreto preesforzado.

#### Módulo de Elasticidad

Si no está disponible datos más precisos, el módulo de elasticidad para aceros de prees-

### 3.1. Materiales y equipos empleados en el caso de estudio

Cuadro 3.6: Propiedades del torón, Grado de acero 270 ksi y 250 ksi.

| Material | Grado o Tipo            | Diámetro en mm | Resistencia a la Rotura fpu en MPa ( $kgf/cm^2$ ) | Resistencia a la fluencia fpy en MPa       | Peso del torón kg/1000 m | % Elongación mínimo |
|----------|-------------------------|----------------|---|--|--------------------------|---------------------|
| Torón    | (Grado 250)<br>1725 Mpa | 6.35 a 15.24   | 1725(17500)                                       | 85% de fpu excepto                         | 1094                     | 3.5                 |
|          | (Grado 270)<br>1860 Mpa | 9.53 a 15.24   | 1860(18900)                                       | 90% de fpu para torones de baja relajación | 1102                     | 3.5                 |

Fuente: La Norma ASTM A 416.

forzar, basados en el área nominal de la sección transversal, pueden tomarse como: Para torones:  $E_p=197000$  MPa ( $2\ 000\ 000$   $kgf/cm^2$ ).

#### b) Aplicaciones

Estructuras prefabricadas Pretensadas y Postensadas: Vigas AASHTO, Dobles T, Vigas Tipo Cajón, Placa Alveolar, Deltas, Sistemas de Piso Prefabricados y Postensados, para: Puentes de grandes extensiones, Pistas de Aeropuertos, Anclajes en Taludes, Losas para Edificios y Estacionamientos, Presas, Silos, Centros Comerciales, Naves Industriales, etc.

#### c) Relajación del acero.

El torón de baja relajación debe tener pérdidas por relajación de no más de 2.5% cuando inicialmente es cargado al 70% de la resistencia de rotura mínima especificada o no más de 3.5% cuando es cargado a 80% de la resistencia de rotura mínima especificada del torón después de ser ensayado 1000 h bajo las condiciones que indica la Norma ASTM.[8]

#### 3.1.7.2. Acero pretensor empleado en vigas del viaducto de Tren Eléctrico-Lima

- a) Torones de siete alambres de baja relajación – Estándares de materiales: AASHTO M 203 (ASTM A 416).
- b) Vaina plástica (manguera) diámetro 3/4" para aislamiento de los torones.

#### 3.1.7.3. Acero de refuerzo

El uso del acero de refuerzo ordinario es común en elementos de concreto preesforzado. La resistencia nominal de este acero es  $f_y = 4,200$   $kg/cm^2$ . Este acero es muy útil para:

3.1. Materiales y equipos empleados en el caso de estudio

Cuadro 3.7: Propiedades del torón empleado en vigas del viaducto de Tren Eléctrico

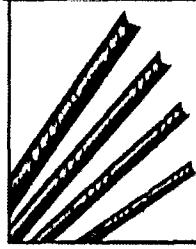
| Material | Grado o Tipo            | Diámetro en mm | Resistencia a la Rotura fpu en MPa | Resistencia a la fluencia fpy en MPa | Módulo de elasticidad Ep en MPa | % Elongación mínimo |
|----------|-------------------------|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Torón    | (Grado 270)<br>1860 Mpa | 15.24          | 1860                               | 1674                                 | 197000                          | 3.5                 |

Fuente: Área de Ingeniería- Consorcio Tren Eléctrico.

- Aumentar ductilidad.
- Aumentar resistencia.
- Resistir esfuerzos de tensión y compresión.
- Resistir cortante y torsión.
- Restringir agrietamiento por maniobras y cambios de temperatura.
- Reducir deformaciones a largo plazo.
- Confinar al concreto.

Deberán cumplir con la más apropiada de las siguientes normas, según se establezca en los planos del proyecto: AASHTO M-31, ASTM A-706 y la Norma Técnica Peruana 339.186 Grado 60 (E-060 de Concreto Armado).

**Fierro Corrugado ASTM A706-Grado 60**



| DIMENSIONES            |                  |
|------------------------|------------------|
| Diám. Nominal pulgadas | Diám. Nominal mm |
| 6                      | 6                |
| 8                      | 8                |
| 3/8                    | 12               |
| 1/2                    | 12               |
| 5/8                    | 12               |
| 3/4                    | 12               |
| 1                      | 12               |
| 1 3/8                  | 12               |

**PRESENTACIÓN:**  
Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes. Se suministra en paquetes de 2 toneladas, en varillas y como Acero Dimensionado.

Por su bajo contenido de carbono, es un material con mayor soldabilidad que el fierro corrugado ASTM A615 Grado 60.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
 Límite de Fluencia (fy) = 4,280 - 5,510 kg/cm<sup>2</sup> mínimo  
 Resistencia a la Tracción (R) = 5,610 kg/cm<sup>2</sup> mínimo  
 Relación R:fy ≥ 1.25

**Alargamiento en 200 mm:**  
 Diámetros:  
 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4" = 14% mínimo  
 1" y 1 3/8" = 12% mínimo  
 Doblado a 180° = Bueno en todos los diámetros.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias Dimensionales: ASTM A706 Grado 60 y NTP 339.186 Grado 60.

**USOS:**  
Se usa como refuerzo para concreto armado, en estructuras sismo-resistentes y donde se requiera el soldado de las estructuras.


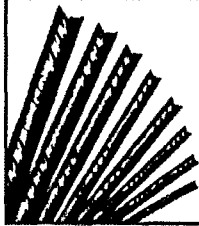


Figura 3.4: Propiedades mecánicas del fierro corrugado ASTM A706-Grado 60.

3.1.7.4. Acero de refuerzo en vigas del viaducto de Tren Eléctrico-Lima

El control de acero dimensionado, teniendo en cuenta las consideraciones establecidas en la Norma ASTM A-615 Grado 60 y la Norma Técnica Peruana 341.031 Grado 60 (E-060 de Concreto Armado).

**Fierro Corrugado ASTM A615-Grado 60**



| DIMENSIONES   |               |
|---------------|---------------|
| Diam. Nominal | Diam. Nominal |
| pulgadas      | mm            |
| -             | 6             |
| 3/8           | 8             |
| -             | 12            |
| 1/2           | -             |
| 5/8           | -             |
| 3/4           | -             |
| 1             | -             |
| 1 3/8         | -             |

**NORMAS TÉCNICAS:**  
Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias Dimensionales: ASTM A615 Grado 60 / NTP 341.031 Grado 60 (Norma Técnica Peruana)/ Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

**USOS:**  
Se utiliza en la construcción de edificaciones de concreto armado de todo tipo: en viviendas, edificios, puentes, obras industriales, etc.


**PRESENTACIÓN:**  
Se produce en barras de 9 metros de longitud en los siguientes diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes.

Se suministra en paquetes de 2 toneladas y en varillas. Las barras de 6 mm también se comercializan en rollos de 550 kg.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
 Límite de Fluencia (fy) = 4,280 kg/cm<sup>2</sup> mínimo  
 Resistencia a la Tracción (R) = 6,320 kg/cm<sup>2</sup> mínimo  
 Relación R/fy ≥ 1.25

**Alargamiento en 200 mm:**  
 Diámetros:  
 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4" .... = 9% mínimo  
 1" ..... = 8% mínimo  
 1 3/8" ..... = 7% mínimo  
 Doblado a 180° = Bueno en todos los diámetros.

Nuestros fierros corrugados ofrecen gran seguridad frente a los sismos, porque cumplen todas las exigencias del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y son fabricados con la más avanzada tecnología, bajo un estricto control de calidad. Sus corrugas aseguran una buena adherencia al concreto. Además, el 100% de nuestros fierros tiene pesos y medidas exactas. Se identifican por la marca de Aceros Arequipa y el diámetro que van grabados en cada fierro.


ACEROS AREQUIPA

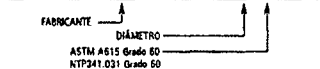


Figura 3.5: Propiedades mecánicas del fierro corrugado ASTM A615-Grado 60.

3.1.8. Encofrados

3.1.8.1. Diseño y Habilitado de Encofrado

Los encofrados deberán ser diseñados y construidos de modo que resistan totalmente el empuje del concreto al momento del vaciado sin deformarse, incluyendo el efecto de vibrado para densificación y que su remoción no cause daño al concreto.

3.1.8.2. Colocación de Encofrado

Durante el proceso de colocación del encofrado se tendrá en cuenta:

- Condición de uso.
- Dimensionamiento y limpieza.
- Amarres, arriostres, verticalidad y alineación.

- Contraflecha.
- Juntas.
- Cuerdas de alineación o de plomada.
- Sellador.
- Ochavos o biseles.
- Ejes y niveles.
- Recubrimiento.
- Humedad de la superficie de contacto (no requiere encofrado metálico).

### 3.1.8.3. Cuadro de Tolerancias

$i$  = Es la tolerancia en cm.

$dB$  = Es la dimensión considerada para establecer su tolerancia en cm.

Cuadro 3.8: Tolerancias en las dimensiones de encofrados.

| <b>TOLERANCIAS</b>  |                             |
|---|-----------------------------|
| Para las dimensiones de la sección transversal de vigas, columnas, zapatas y espesor de losas, muros y zapatas estarán dadas por: | $i = \pm 0.25(dB)^{1/3}$ cm |
| La tolerancia admisible en la luz de una viga será de:  | $i = \pm 0.25(dB)^{1/3}$ cm |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (N.T.E. E.060).

### 3.1.9. Solución ULMA

Acometer distintas estructuras en unos plazos ajustados de tiempo, llevó a ULMA a apostar por el Sistema MK como solución principal para todas las configuraciones. Para los fondos de cabezal y laterales, se empleó ENKOFORM HMK apeado por torres ALUPROP. Estos mismos sistemas se aplicaron junto con los encofrados COMAIN y NEVI para el fondo de losa y viga del viaducto del tramo I. En los tramos curvos, se emplearon torres de ALUPROP y de MK que soportaron en cada caso 108 t (27 t por cada apoyo puntual). Este sistema se empleó solo en la construcción Tramo I.

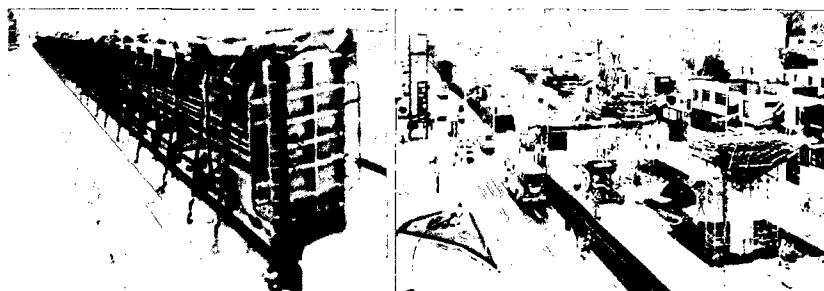


Figura 3.6: Encofrado metálico en vigas pretensadas con puntales de MK y ENKOFORM HMK aplicado a vigas cabezales-Viaducto.

### 3.1.10. Equipos

#### a) Grúa Pórtico

La grúa pórtico es un tipo especial de grúa que eleva la carga mediante un montacargas instalado sobre una viga, que a su vez es rígidamente sostenida mediante dos o más patas. Estas patas generalmente pueden desplazarse sobre unos rieles horizontales al nivel del suelo.

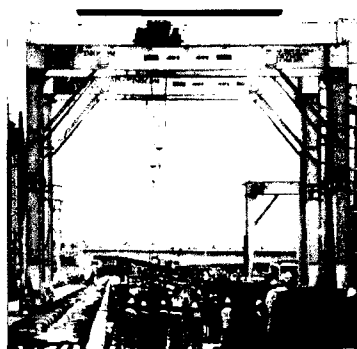


Figura 3.7: Grúa pórtico.

#### b) Gatas hidráulicas

La figura siguiente representa el esquema de funcionamiento de un gato hidráulico; el líquido penetra por “A” creando una presión interior que empuja el émbolo, haciéndole salir y crear una fuerza P contra cualquier obstáculo que se oponga a su avance. En la parte opuesta debe tener un apoyo capaz de soportar la fuerza “P”, que restablece el equilibrio.

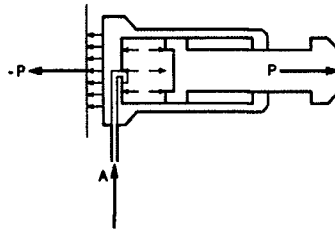


Figura 3.8: Funcionamiento de la Gata hidráulica.

c) Camión grúa

Un camión grúa es aquel que lleva incorporado en su chasis una grúa, que se utiliza para cargar y descargar materiales en el propio camión, o para desplazar dichos materiales dentro del radio de acción de la grúa.



Figura 3.9: Camión Grúa.

d) Tracto con semirremolque unido a la viga.

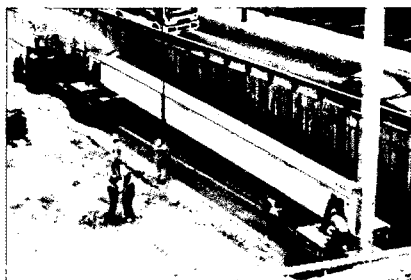


Figura 3.10: Tracto con semirremolque unido a la viga.

e) Telehandler (alza hombres). Equipos especializados para trabajo en altura,

con Capacidad 520 kg.



Figura 3.11: Telehandler (alza hombres).

- f) Grúa estructural o de celosía. Equipo de trabajo instalado en una plataforma sobre ruedas o cadenas, destinado a elevar cargas suspendidas de un gancho y suspendido a la vez de un brazo de celosía.

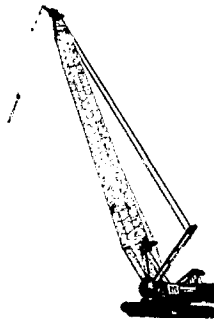


Figura 3.12: Grúa estructural o de celosía.).

### 3.2. Modelo del Proceso Constructivo

Este subcapítulo tiene por finalidad de desarrollar los distintos tipos de procesos constructivos que ha empleado en la construcción del viaducto de Trenes, luego realizar los análisis comparativos entre los procesos constructivos de Viaducto del Tramo 1 y Tramo 2. Así mismo define la gestión de seguridad y medio ambiente durante el proceso de fabricación de elementos estructuras.

### 3.2.1. Proceso constructivo del Tramo 1

#### 3.2.1.1. Situación existente antes de las innovaciones

El Tren Eléctrico de Lima, inició su construcción en 1986 durante el primer gobierno de Alan García, las estructuras fueron construidas “in-situ” y no se utilizaron estructuras prefabricadas de concreto. En 1990 se paralizaron las obras dejando obra inconclusa de 12,25 kilómetros entre la Av. Tomás Marsano y la avenida Aviación – Grau.

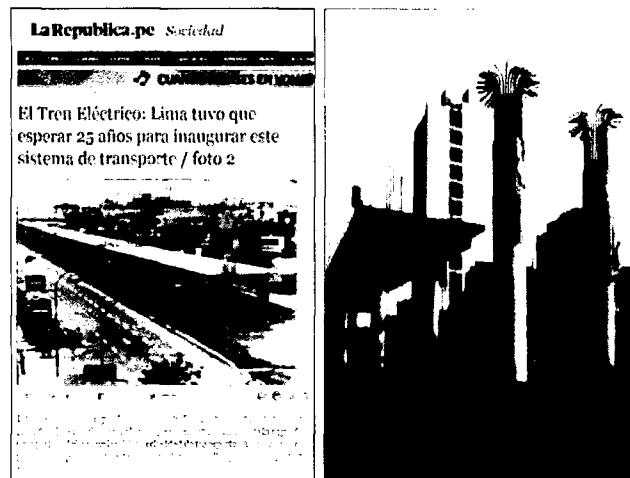


Figura 3.13: Situación del primer tramo –Obra inconclusa antes de las innovaciones.

#### 3.2.1.2. Empalme del viaducto existente al viaducto con un nuevo sistema constructivo

En el año 2010, se reinició la construcción del Tramo 1, implementando un nuevo sistema de proceso constructivo por primera vez en el Perú; para lo cual se completó la construcción de los vanos inconclusos, empleando el sistema convencional hasta llegar a una junta sísmica; para luego continuar la construcción del viaducto con el nuevo sistema constructivo a base de vigas prefabricadas (vigas pretensadas) y con vigas cabezales “in-situ”.



Figura 3.14: Empalme del viaducto existente con nuevo sistema constructivo.

#### 3.2.1.3. Vigas tipo I –Tramo I

Vigas pretensadas de 19.27 metros de longitud, fueron prefabricados en la Planta de prefabricados de concreto ubicada en La Videna, para completar la construcción del Viaducto del Tren Eléctrico en el Tramo I.

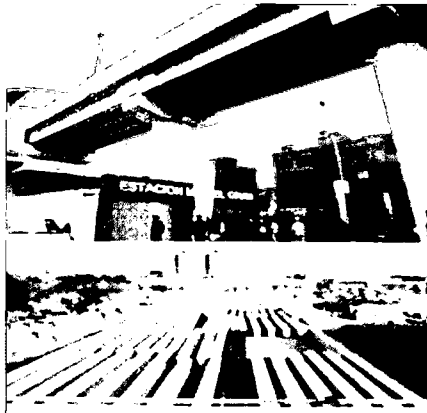


Figura 3.15: Vigas prefabricados y el viaducto del Tren Eléctrico.

#### 3.2.1.4. Modelo y producción de vigas tipo I pretensadas típicas–Tramo 1

La estructura del módulo típico del viaducto consistía en hasta 5 tramos continuos de 19.7 m de luz, con una longitud total máxima de 100 m entre juntas de expansión, estos son conformados a partir de Vigas Prefabricadas hechas continuas por medio de diafragmas de concreto armado vaciados en sitio, que conectan las vigas de tramos adyacentes.

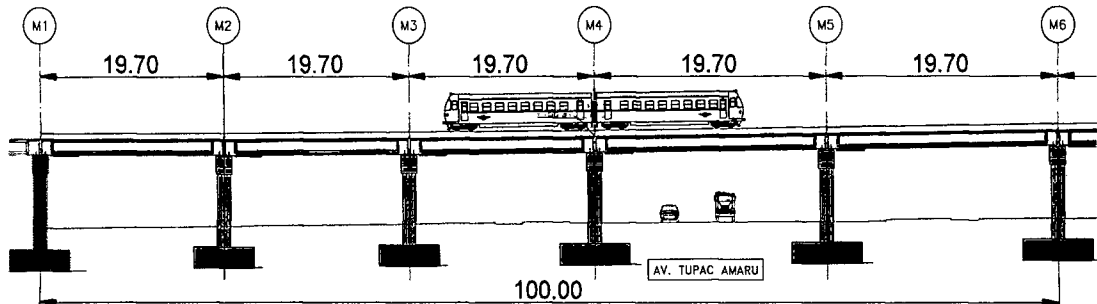


Figura 3.16: Tramo Estructural Continuo Típico –Longitud: 100 metros.

El desafío de ingeniería comenzó cuando se decidió emplear vigas prefabricadas para completar el primer tramo (12.4 km) de la infraestructura del tren eléctrico en un corto plazo (20 meses con US\$ 516'924,420.69). Viga Pretensada Típica de altura 1.30 metros y con una longitud de 19.70 m, que fueron fabricados en la Planta de prefabricados de la Videna.

### 3.2.1.5. Dimensiones de las vigas tipo I pretensadas típicas–Tramo 1

Fuente:Área de Ingeniería – Consorcio Tren Eléctrico.

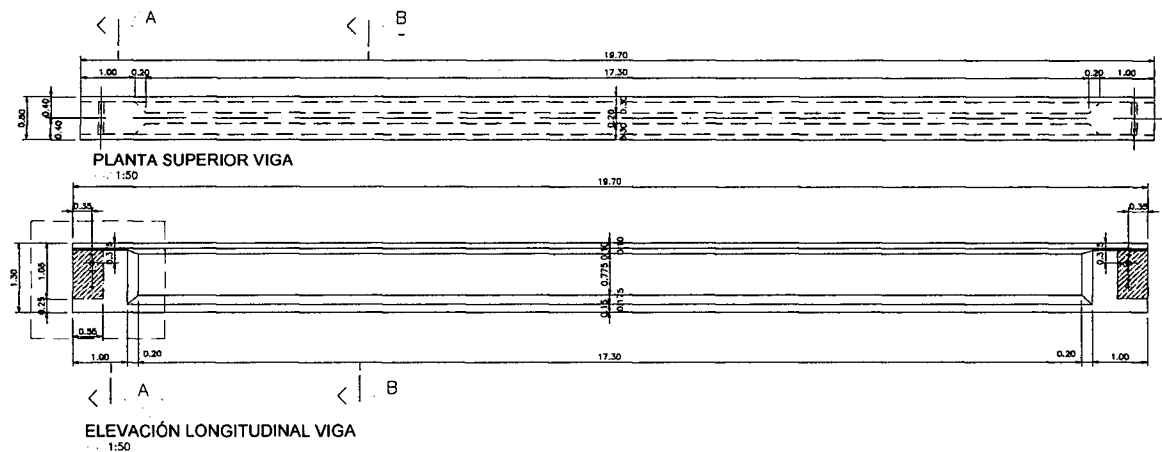


Figura 3.17: Dimensiones de Viga Típica  $h=1.30$  y  $L=19.70$ m, vista en Planta y elevación

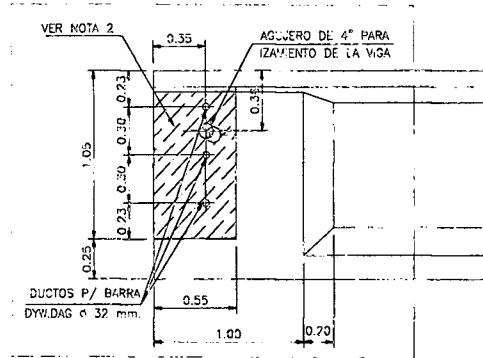


Figura 3.18: Detalle del agujero para izamiento de la viga.

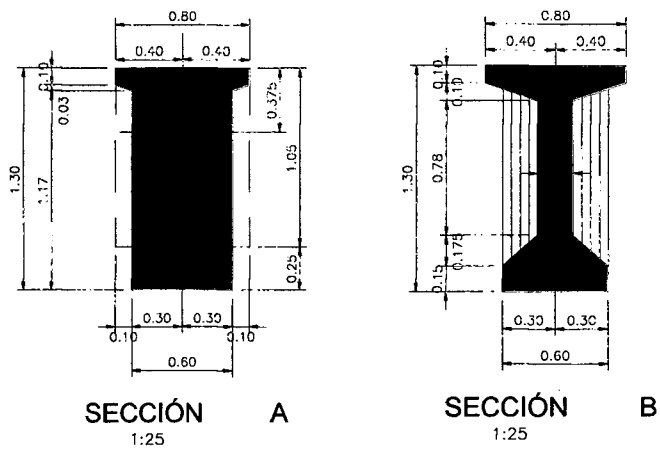


Figura 3.19: Sección de la Viga Típica  $h=1.30$  m y  $L=19.70$  m.

**3.2.1.6. Ingeniería de detalle de vigas pretensadas típicas-Tramo 1**

El detalle del acero de refuerzo pasivo y el acero pretensor de la viga:

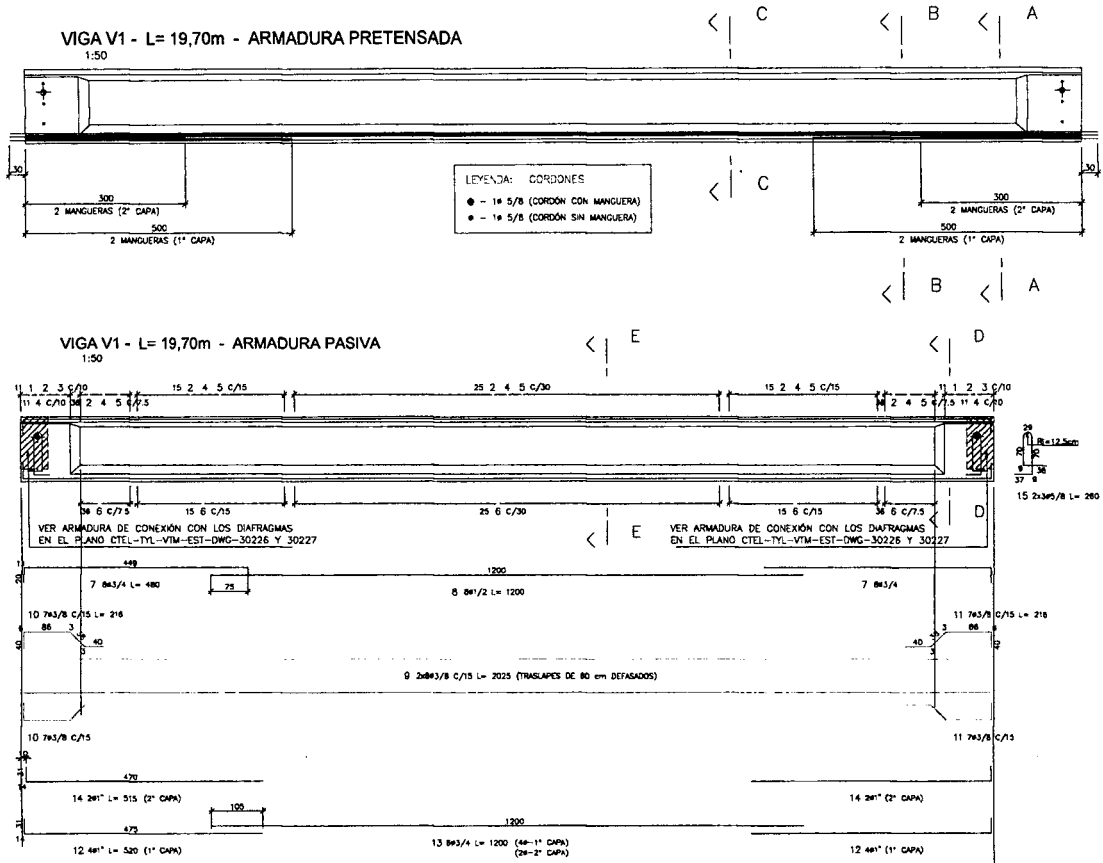


Figura 3.20: Detalle del acero de refuerzo longitudinal de la viga.

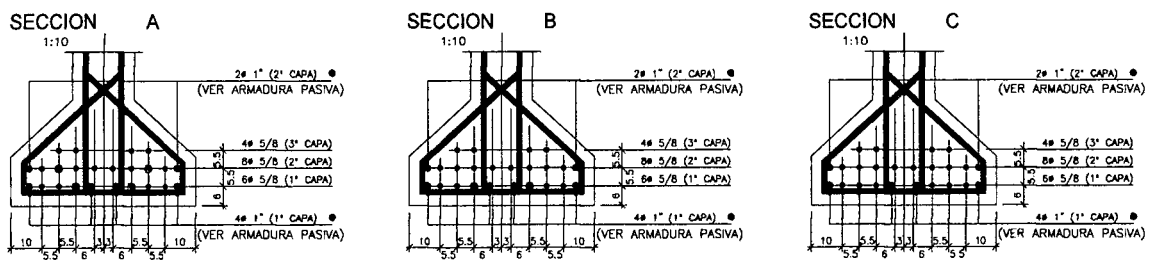


Figura 3.21: Detalle de distribución de torones en la viga.

### 3.2. Modelo del Proceso Constructivo

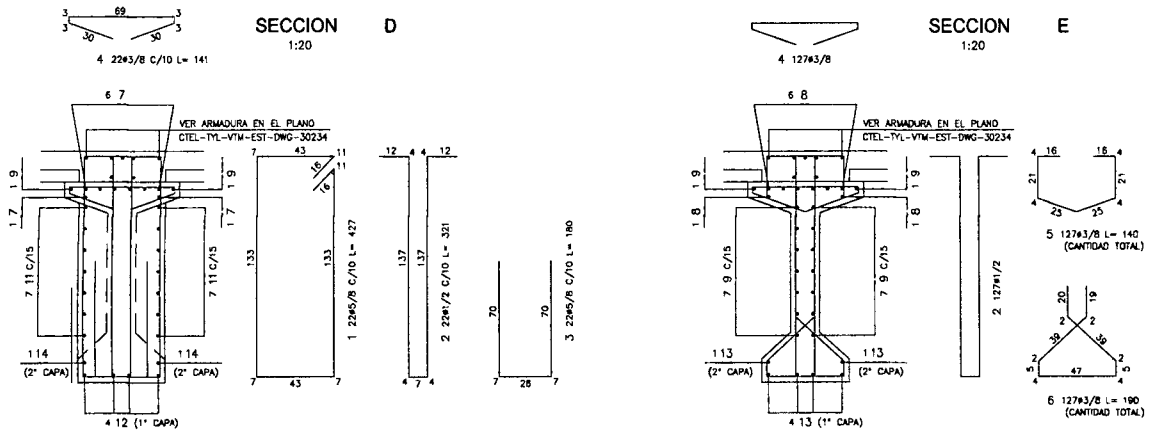


Figura 3.22: Detalle del acero de refuerzo transversal de la viga.

| LISTA DE VARILLAS |     |      |               |       |
|-------------------|-----|------|---------------|-------|
| POS               | Ø"  | CANT | LONGITUD (cm) |       |
|                   |     |      | UNIT          | TOTAL |
| 1                 | 5/8 | 22   | 427           | 9394  |
| 2                 | 1/2 | 149  | 321           | 47829 |
| 3                 | 5/8 | 22   | 180           | 3960  |
| 4                 | 3/8 | 149  | 141           | 21009 |
| 5                 | 3/8 | 127  | 140           | 17780 |
| 6                 | 3/8 | 127  | 190           | 24130 |
| 7                 | 5/4 | 16   | 480           | 7680  |
| 8                 | 1/2 | 8    | 1200          | 9600  |
| 9                 | 3/8 | 16   | 2025          | 32400 |
| 10                | 3/8 | 14   | 216           | 3024  |
| 11                | 3/8 | 14   | 216           | 3024  |
| 12                | 1/2 | 1    | 8             | 4160  |
| 13                | 3/4 | 6    | 1200          | 7200  |
| 14                | 1/2 | 4    | 515           | 2060  |
| 15                | 5/8 | 6    | 260           | 1560  |

| RESUMEN              |       |              |           |
|----------------------|-------|--------------|-----------|
| DIAMETRO Ø"          | kg/ml | LONGITUD (m) | PESO (kg) |
| 3/8                  | 0.44  | -            | -         |
| 1/2                  | 0.79  | -            | -         |
| 5/8                  | 1.13  | 385.40       | 413       |
| TOTAL P/ 1 VIGA (kg) |       |              | 413       |

| LISTA DE CORDONES |     |      |               |       |
|-------------------|-----|------|---------------|-------|
| POS               | Ø"  | CANT | LONGITUD (cm) |       |
|                   |     |      | UNIT          | TOTAL |
| 1                 | 5/8 | 18   | 2030          | 36540 |

| RESUMEN                   |       |              |           |
|---------------------------|-------|--------------|-----------|
| DIAMETRO Ø"               | kg/ml | LONGITUD (m) | PESO (kg) |
| 3/8                       | 0.57  | 1013.67      | 578       |
| 4/8                       | 1.00  | 574.29       | 574       |
| 5/8                       | 1.55  | 149.14       | 231       |
| 6/8                       | 2.24  | 148.80       | 333       |
| 7/8                       | 3.04  | -            | -         |
| 8/8                       | 3.97  | 67.20        | 247       |
| 11/8                      | 7.91  | -            | -         |
| PESO TOTAL P/ 1 VIGA (kg) |       |              | 1963      |

**NOTAS DE PRETENSADO:**

- 1- CARACTERÍSTICAS DE LOS CORDONES:  
 #5/8 =  $A_p = 1.40\text{cm}^2$   
 ESFUERZO DE TENSADO POR CORDÓN:  
 #5/8 -  $F_{pi} = 195\text{ KN}$   
 CARGA UNITARIA DE ROTURA:  $f_{su} \geq 1860\text{ MPa}$   
 LIMITE ELASTICO:  $f_{py} \geq 1870\text{ MPa}$   
 MÓDULO ELASTICO:  $E_p \geq 195000\text{ MPa}$
- 2- PARA LA APLICACIÓN DEL PRETENSADO, EL CONCRETO DEBERA HABER ALCANZADO UNA RESISTENCIA  $f'_c > 29\text{ MPa}$
- 3- ALARGAMIENTO DE LOS CORDONES: 145mm

**Notas:**

- 1- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EXPRESADAS EN CENTÍMETROS, LOS DIAMETROS EN PULGADAS
- 2- MATERIALES : CONCRETO  $f'_c = 42\text{MPa}$  (420 kgf/cm<sup>2</sup>)  
 ACERO (ARMADURA PASIVA)  $f_y = 420\text{ MPa}$  (4200 kgf/cm<sup>2</sup>)
- 3- RECURRIMIENTO: 3.5cm
- 4- LAS MEDIDAS INDICADAS EN LOS DETALLES DE LAS BARRAS ESTAN REFERIDAS AL LADO EXTERIOR DE LAS MISMAS.
- 5- CONSIDERAR GROUT PARA RECURRIMIENTO DEL PRETENSADO

Figura 3.23: Resumen de lista de varillas y torones de la viga.



Figura 3.24: Fabricación de vigas típicas en la planta de prefabricados de la Videna

#### 3.2.1.7. Vigas cabezales –Tramo 1

La **Viga Cabezal** es una estructura de concreto armado cuya función es sostener toda la plataforma del viaducto.

En las obras viales en Lima, las Vigas Cabezales eran estructuras construidas “in-situ”, en la misma obra, y no existía referencia de su prefabricación. En el tramo 1 se siguió este paradigma, construyendo “in-situ”, requiriendo mayor cantidad de la mano de obra, con costos elevados y bajos estándares de calidad, empleando encofrados Ulma en gran cantidad, restringiendo las vías, generando peligros, riesgos y contaminación del medio ambiente.

3.2.1.8. Dimensiones de las vigas cabezales—Tramo 1.

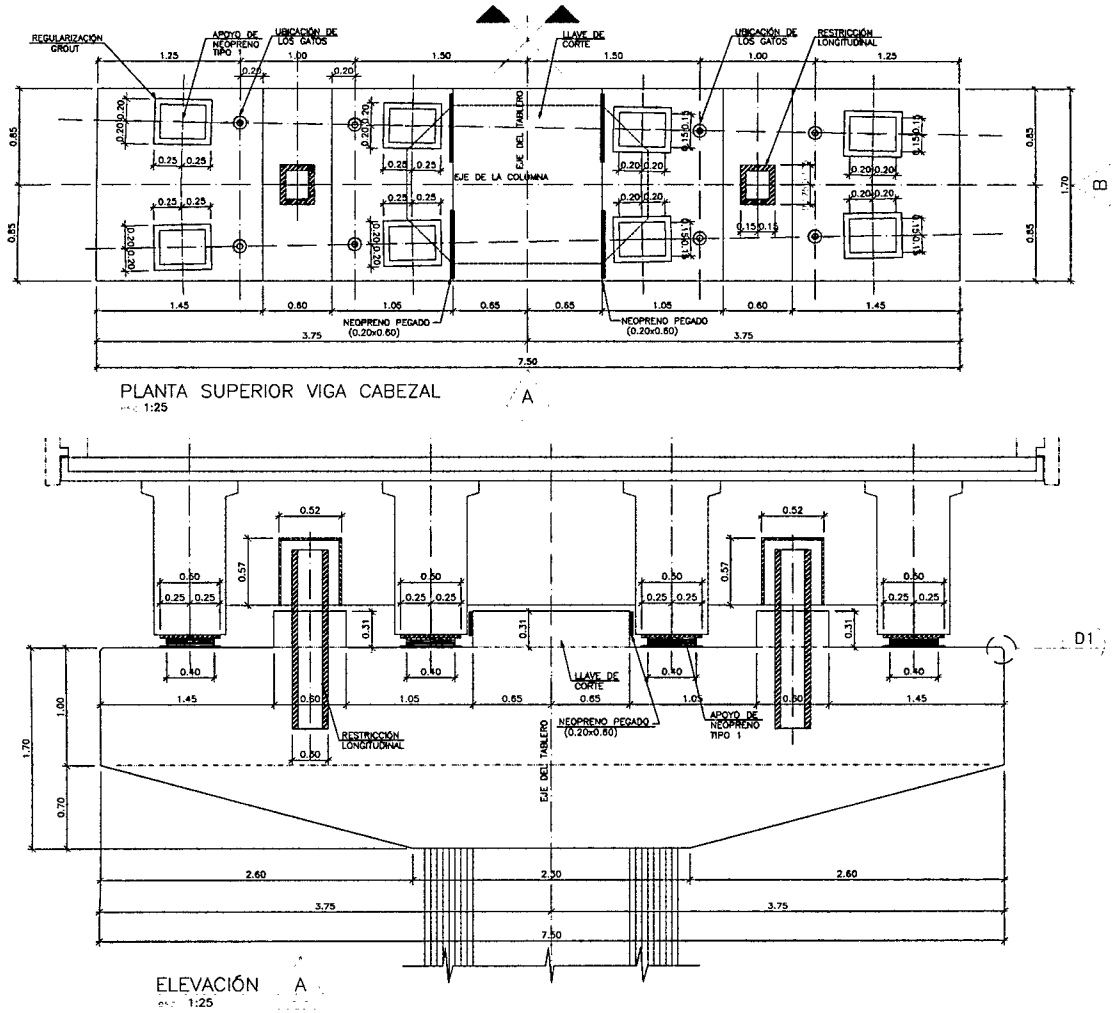
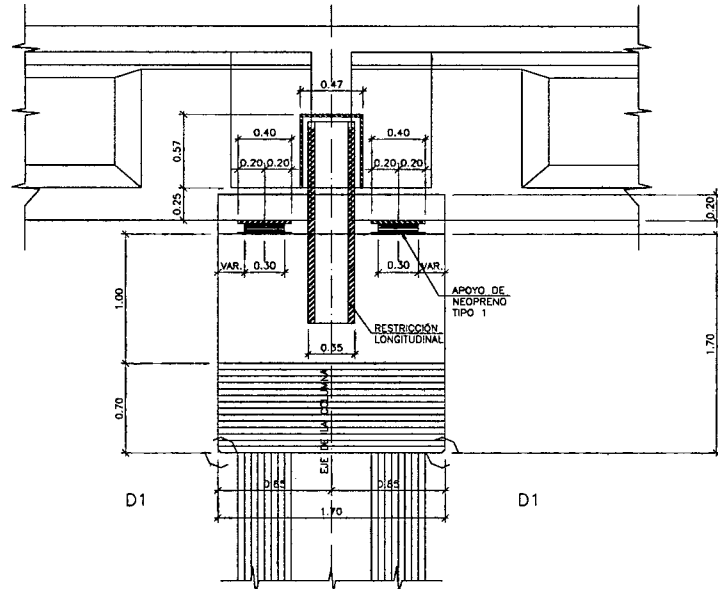
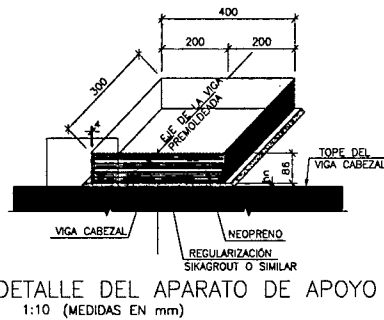


Figura 3.25: Planta y elevación de la viga cabezal fabricado "in-situ".



ELEVACIÓN B  
1:25



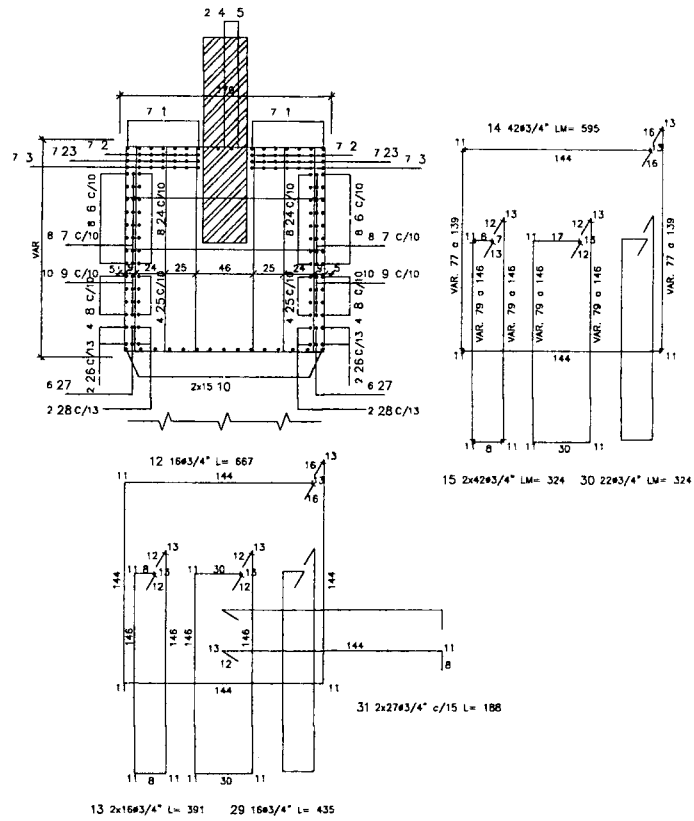
DETALLE DEL APARATO DE APOYO  
1:10 (MEDIDAS EN mm)

Figura 3.26: Elevación transversal de viga cabezal y apoyo de neopreno de vigas tipo I.

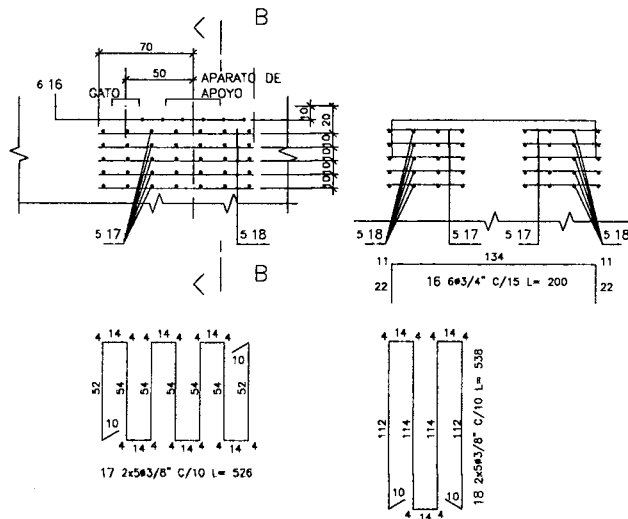
### 3.2.1.9. Ingeniería de detalle de vigas cabezales típicas—Tramo 1

El detalle del acero de refuerzo para esta estructura construido en obra es lo siguiente:





SECCIÓN A-A  
esc. 1:25



DETALLE D1  
esc. 1:25

SECCIÓN B-B  
esc. 1:25

ZUNCHADO EN LOS APOYOS  
1:25

Figura 3.28: El acero de refuerzo de la viga cabezal y restricción sísmica.

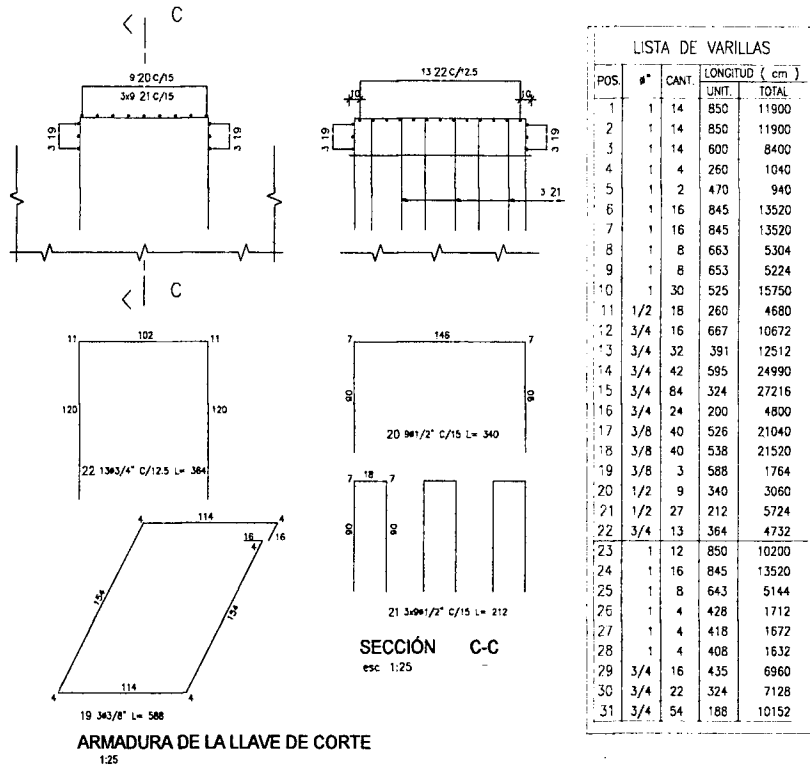


Figura 3.29: Acero de refuerzo del cabezal y listado de varillas.

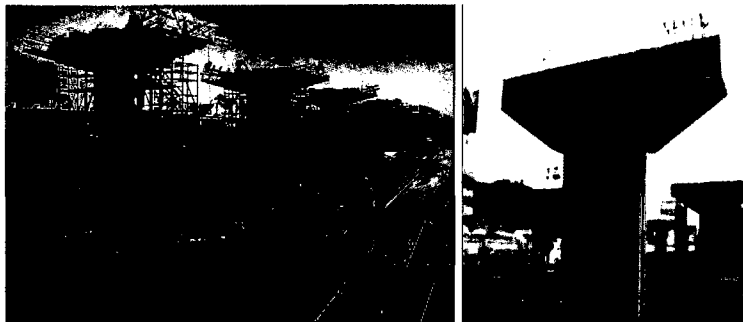


Figura 3.30: Construcción de vigas cabezales “in-situ y calidad de acabados”.

### 3.2.2. Proceso y modelo constructivo del Tramo 2

#### 3.2.2.1. Concepción de las vigas tipo I prefabricados – Tramo 2

Todo el diseño ha sido elaborado por la empresa T.Y. LIN, con sede en San Francisco (Estados Unidos), compañía que ha diseñado los puentes de la bahía de California (una de las zonas más sísmicas del mundo) y expertos en construcciones antisísmicas.

La filosofía de diseño con la que se ha conceptualizado el pre-dimensionamiento estructural y se ha construido el viaducto elevado ha de cumplir con los requisitos de la categoría “A” de la norma peruana de sismos, considera la inclusión de estructuras con mayor ductilidad, a fin de alcanzar una mayor disipación de energía durante un evento sísmico, para una vital útil de 50 años, garantizando que los momentos transmitidos hacia la fundación sean menores comparados con los momentos cuando se utilizan estructuras más rígidas. El beneficio que se obtiene es en el diseño de las dimensiones de las fundaciones lográndose obtener zapatas más optimizadas y seguras, disminuyendo así las afectaciones a las construcciones existentes que se ubican a lo largo del viaducto, así como al tránsito vehicular durante la etapa de construcción.

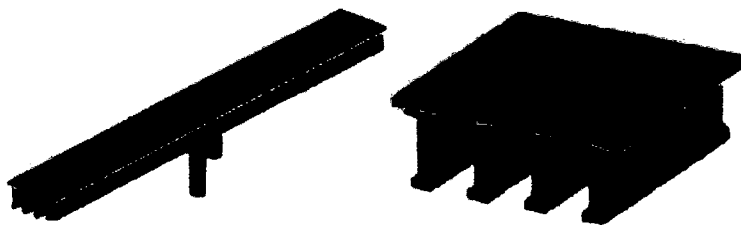


Figura 3.31: Modelo de Análisis de Estructuras Prefabricadas.

Los elementos prefabricados de concreto en la construcción del viaducto y puentes, favorecen a la construcción en los siguientes aspectos:

- Elementos fabricados en un lugar distinto del viaducto. Lo cual permite realizar en simultáneo la fabricación de estos elementos con la construcción de otros elementos del puente como cimentaciones, columnas, etc. con la consiguiente reducción de plazos de construcción.

- Las tolerancias de fabricación, la calidad del acabado y el control de calidad son mejores. Las piezas prefabricadas poseen precisión geométrica garantizando el encaje con exactitud.
- Se ahorran apuntalamientos, andamios y encofrados en la obra. Asimismo se reducen los residuos en el local de obra.

### 3.2.2.2. Elementos prefabricados de concreto

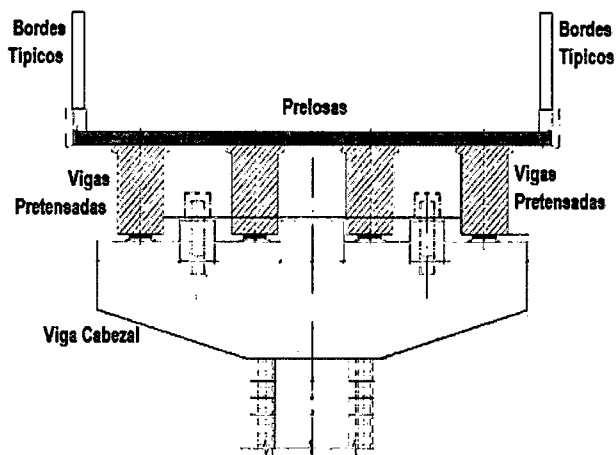


Figura 3.32: Elementos prefabricados del concreto para el viaducto del Tren-Tramo 2.

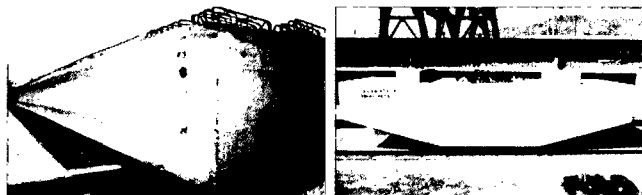


Figura 3.33: Vigas longitudinales y vigas cabezales prefabricados en la Planta Bayóvar.

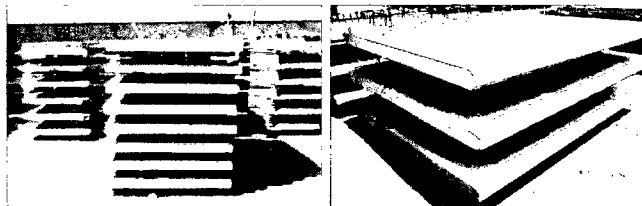


Figura 3.34: Prelosas y bordes típicos prefabricados en la Planta Bayóvar.

## La nueva cultura para la construcción en el Perú:



Figura 3.35: Fuente: Diario Oficial El Peruano (07 de mayo del 2013).

## 3.2.2.3. Modelo y producción de vigas tipo I pretensadas típicas—Tramo 2.

La estructura del módulo típico del viaducto en este tramo consiste en 5 tramos continuos de 25 m de luz, con una longitud total máxima de 125 m entre juntas de expansión, estos son conformados a partir de Vigas Prefabricadas hechas continuas por medio de diafragmas de concreto armado vaciados en sitio, que conectan las vigas de tramos adyacentes. Esta configuración resulta en una estructura hiperestática, con excelente comportamiento bajo solicitaciones sísmicas. Las vigas prefabricadas se encuentran uniformemente espaciadas transversalmente a lo ancho del tablero a una distancia de 2.00 m entre ejes. La estabilidad del conjunto es garantizada por el vaciado de las vigas en los diafragmas de apoyo y en las losas.

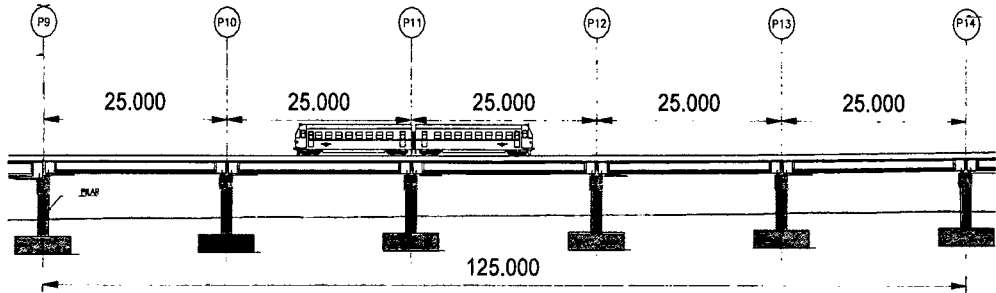


Figura 3.36: Tramo Estructural Continuo Típico—Longitud: 125 metros.

### 3.2.2.4. Dimensiones de las vigas tipo I pretensadas típicas—Tramo 2

El desafío de ingeniería consistía en optimizar las dimensiones y geometría en la Viga Pretensada Típica de altura 1.30 metros, se incrementó la longitud a 24.70 m. para la mayoría de las vigas, con respecto a 19.70 m. utilizado en el Tramo 1.

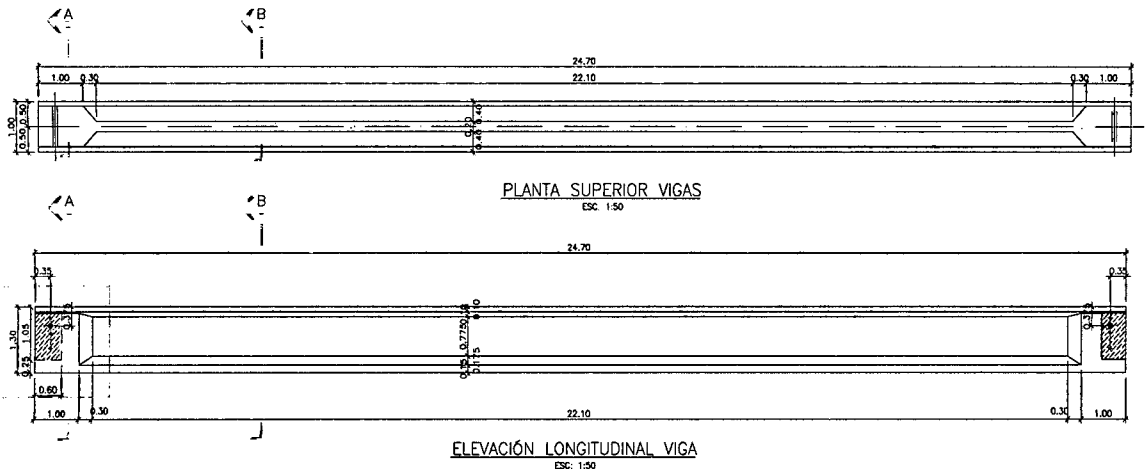


Figura 3.37: Dimensión de las Viga Típica  $h=1.30$  y  $L=24.70$ m, vista en Planta y elevación.

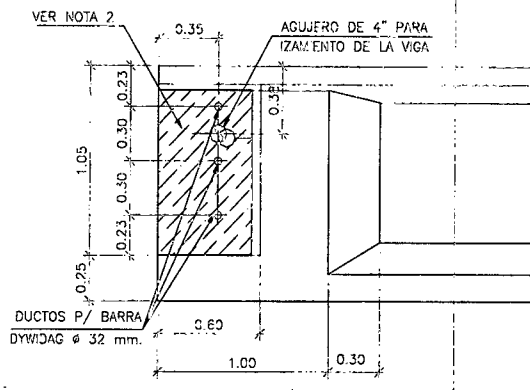


Figura 3.38: Detalle del agujero para izamiento de la viga.

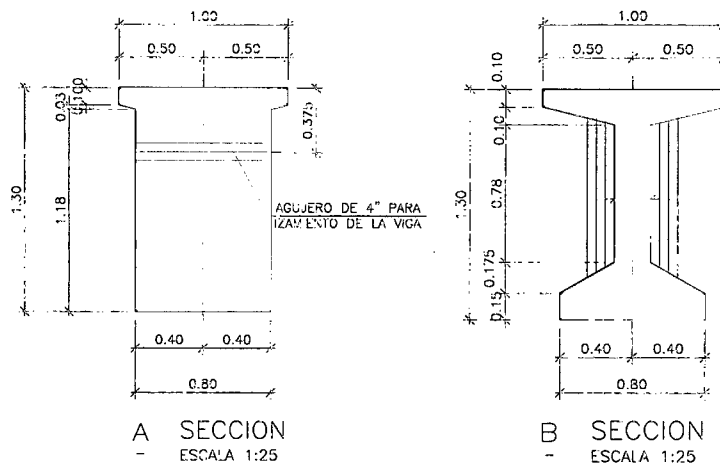


Figura 3.39: Sección de la Viga Típica  $h=1.30$  m y  $L= 24.70$  m.

3.2.2.5. Ingeniería de detalle de las vigas tipo I pretensadas típicas–Tramo 2

El detalle del acero de refuerzo pasivo y el acero de pretensado-viga  $L=24.70$  m:

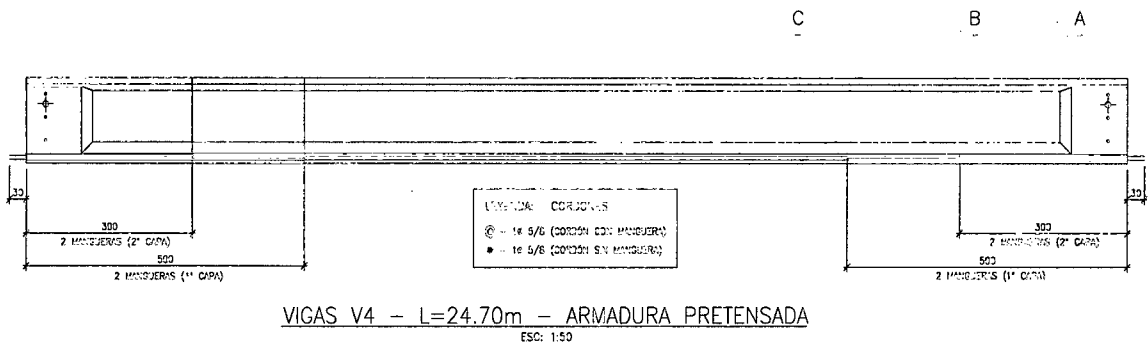


Figura 3.40: Detalle de la armadura pretensada.



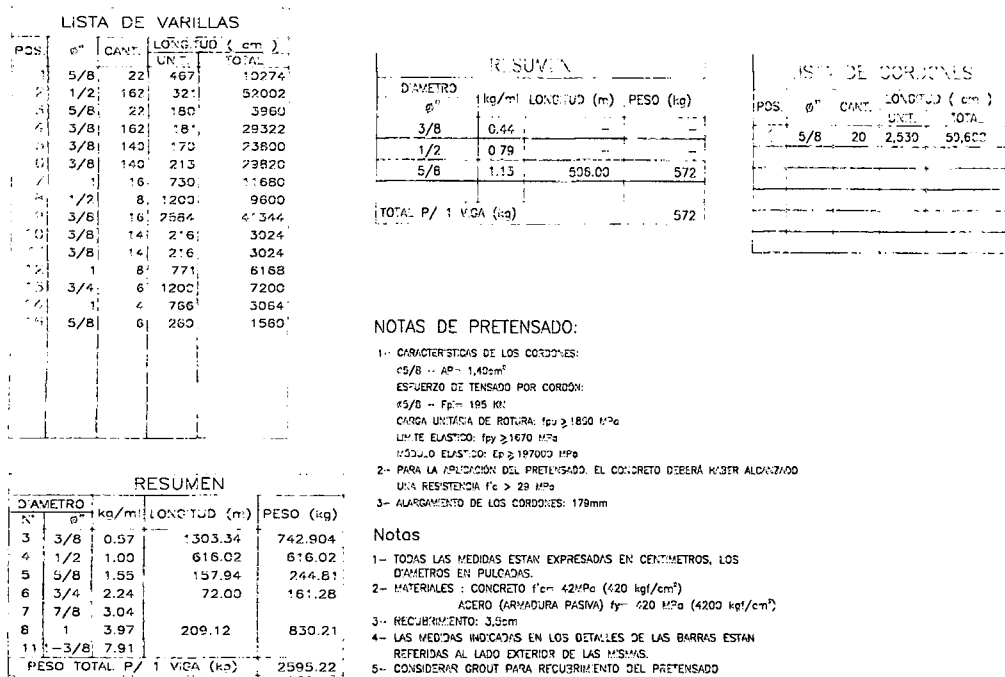


Figura 3.44: Resumen de la cantidad de refuerzos de la viga y las especificaciones técnicas.

### 3.2.2.6. Vigas cabezales–Tramo 2

En la construcción de las vigas cabezales de la infraestructura del Tren Eléctrico en la línea 1–Tramo 2 se decidió romper el paradigma empleado en el Tramo 1 e innovar en los prefabricados, produciendo por primera vez en el Perú, Vigas Cabezales Prefabricados de Concreto.

### 3.2.2.7. Modelo y producción de Vigas Cabezales prefabricados típicos

El criterio de diseño del viaducto no se ve alterado con el empleo de los cabezales prefabricados. El viaducto es una estructura hiperestática, con excelente comportamiento bajo solicitaciones sísmicas: Sobre el cabezal son colocados los aparatos elastoméricos de apoyo para las vigas “T” prefabricadas, las cuales son continuas por medio de diafragmas vaciados in situ. Los aparatos de apoyo transmiten las cargas verticales al pilar. Al igual que en los cabezales vaciados in situ, las restricciones longitudinales son embebidas en la viga cabezal y conectadas al tablero a través de los diafragmas. Esto con el fin de transmitir las cargas longi-

tudinales al pilar. Previo a la prefabricación de vigas cabezales, se desarrollaron Modelos de Prueba en coordinación de las áreas de Ingeniería y Producción, para seleccionar el modelo que cumpla con los requerimientos que exigía el proyecto.

A. Modelo N° 01 – Viga Cabezal Prefabricado

- Forma de cascarón, el cual después de ser montado sobre la columna tiene una segunda fase de concreto
- Modelo de alto costo debido a que se utiliza demasiados recursos en su fabricación, e involucra trabajos complementarios como la segunda fase y el postensado.

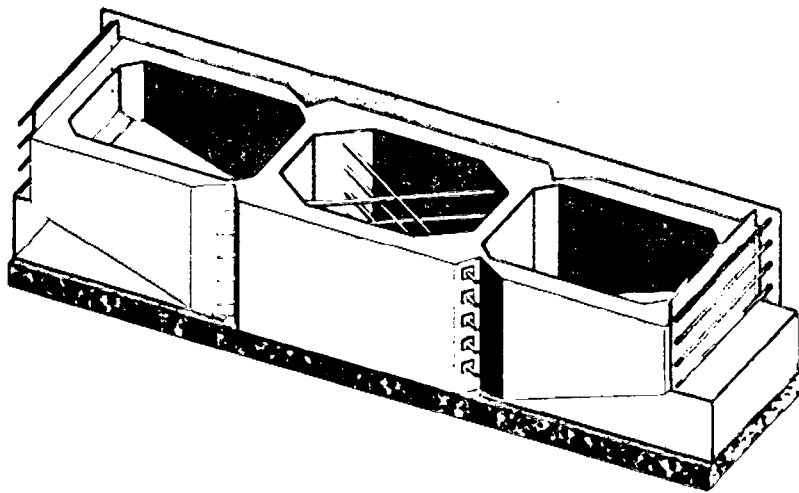


Figura 3.45: Modelo N° 01 de la viga cabezal.

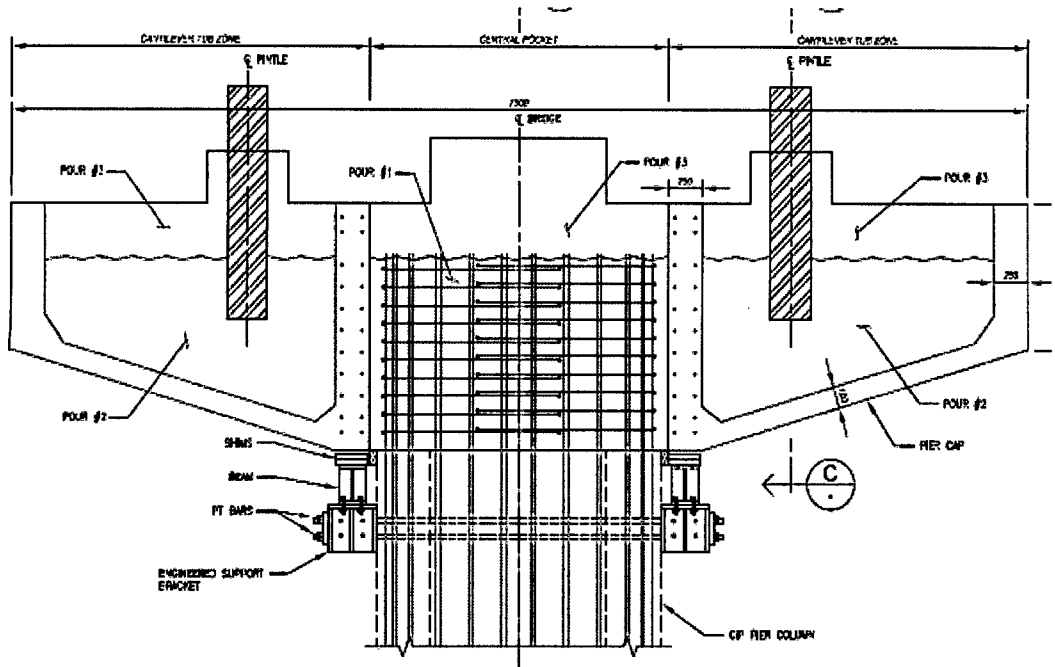


Figura 3.46: Planteamiento del Modelo N° 01 para fabricar vigas cabezales.

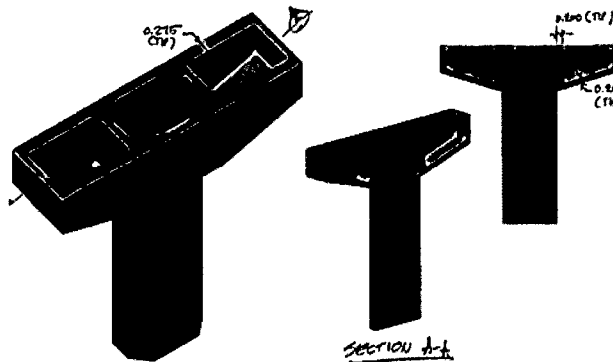


Figura 3.47: Vista isométrica del prototipo de viga cabezal-Modelo N° 01.

**B. Modelo N° 02 – Viga Cabezal Prefabricada**

- En el modelo N° 02, se consideró reducir el alto costo la fase inicial. El cabezal prefabricado sería un bloque macizo con un núcleo hueco, pero también consideraba una segunda fase de concreto y postensado (8 barras Dywidag).

- El costo disminuye; sin embargo la segunda fase aún mantiene el costo elevado de la viga cabezal. Los trabajos de postensado y el congestionamiento de acero aún siguen siendo un problema (a pesar de haber reducido el número de barras).

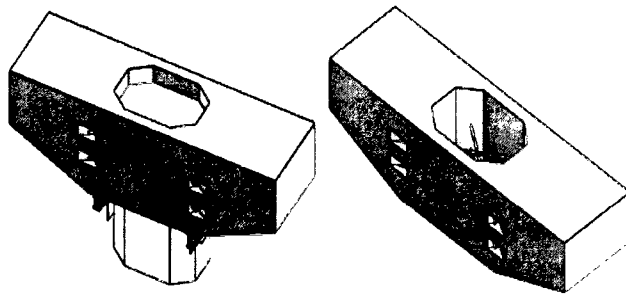


Figura 3.48: Vista isométrica del prototipo de viga cabezal del Modelo N° 02.

### C. Prototipo final de viga cabezal

Finalmente se considera un último diseño, con una estructura maciza y eliminando el postensado. El núcleo se minimiza entre 24 y 28 ductos (dependiendo del tipo de cabezal) de 10 cm. de diámetro por los cuales pasan varillas que conectan mediante empalmes mecánicos roscados a las varillas de la columna, finalmente se inyecta lechada de 35 MPa de resistencia a compresión y culminan los trabajos en la llave de corte.

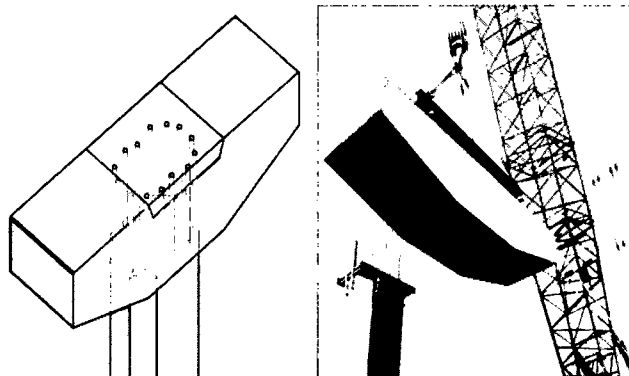


Figura 3.49: Prototipo de viga cabezal prefabricado y empleado en el Tramo 2.

3.2.2.8. Modelo final e ingeniería de detalle de las vigas cabezales prefabricados

Las dimensiones se mantiene al igual que de la viga cabezal fabricado in-situ.

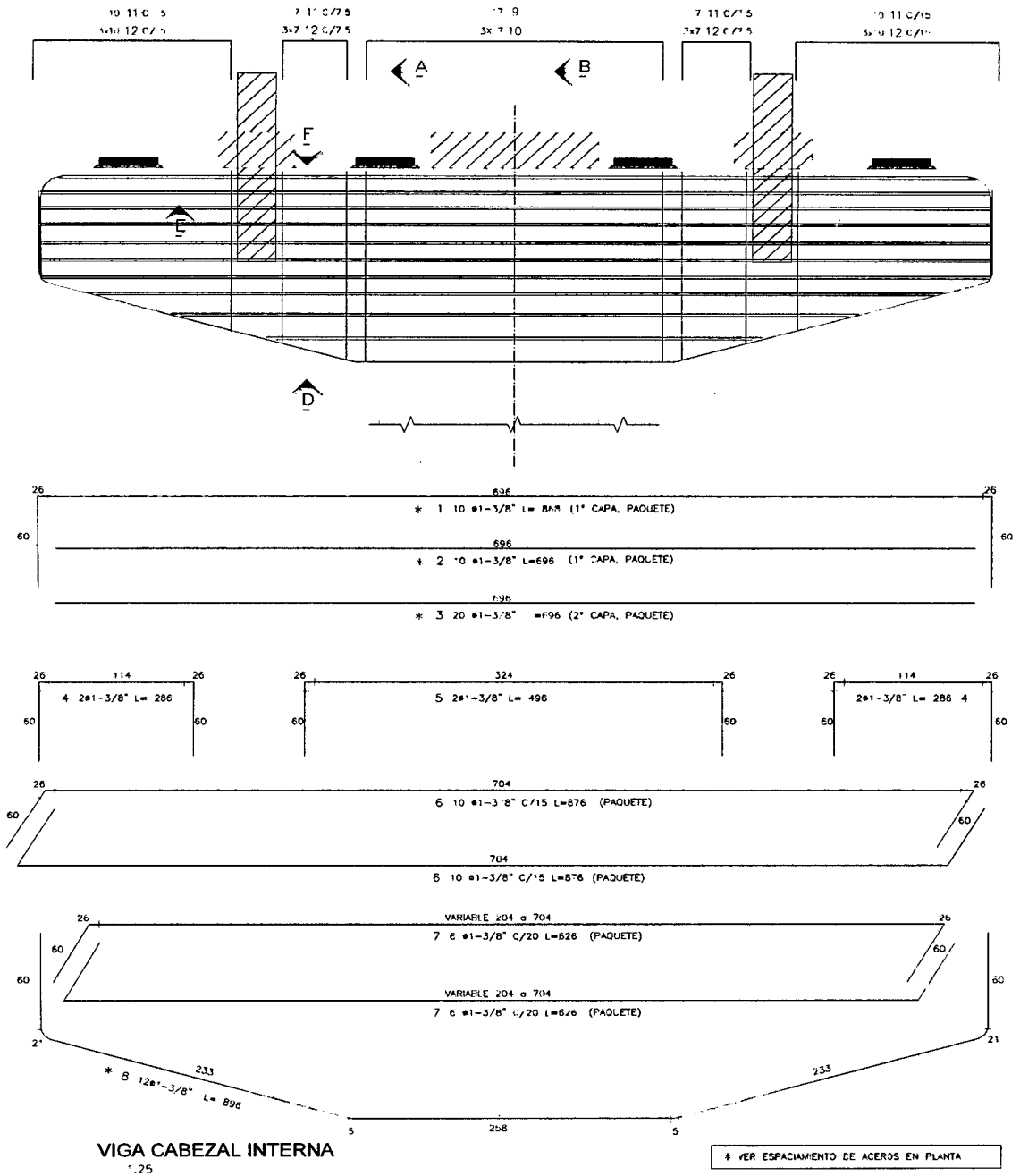
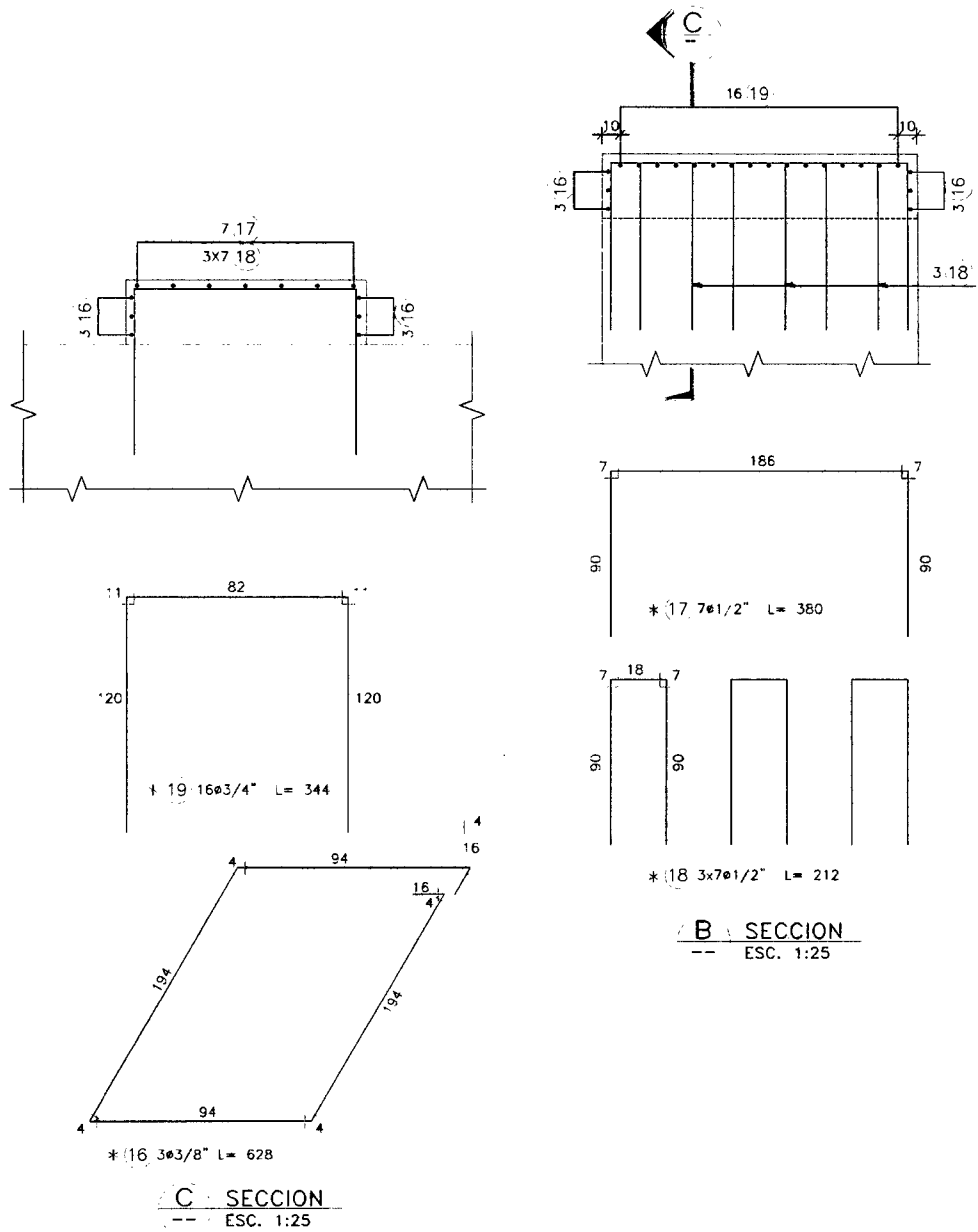


Figura 3.50: Acero de refuerzo de la viga cabezal prefabricada.





**ARMADURA DE LA LLAVE DE CORTE**

1:25

\* VER ESPACIAMIENTO DE ACEROS EN PLANTA

Figura 3.52: Acero de refuerzo de llave de corte en la viga cabezal.

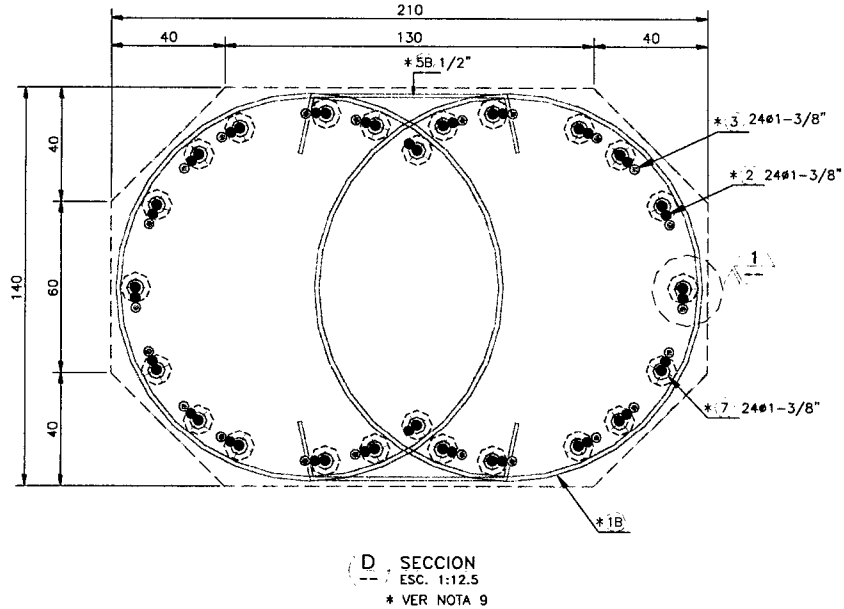


Figura 3.53: Detalle del acero de la columna según el corte D.

### LEYENDA

- ACERO LONGITUDINAL DE COLUMNA  $\phi 1-3/8"$  (POS. \***2**)
  - ACERO LONGITUDINAL DE COLUMNA  $\phi 1-3/8"$  (POS. \***3**)
  - ACERO DE EMPALME (POS. \***7**) EN COLUMNA Y \***6**) EN CABEZAL)
  - ACOUPLE GRIP TWIST (VISTA PROYECTADA)
  - DUCTO DE ACERO CORRUGADO ( $\phi=10\text{cm}$ ) EN INTERIOR DE CABEZAL (VISTA PROYECTADA DIAM. EXTERNO)
  - //// ACEROS EN CAPA SUPERIOR E INFERIOR DEL CABEZAL (POS. \***1** Y \***4**) RESPECTIVAMENTE)
- \* VER PLANO DE ACERO DE REFUERZO DE LAS COLUMNAS

### Notas:

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EXPRESADAS EN CENTIMETROS, LOS DIÁMETROS EN PULGADAS.
- 2.- LAS MEDIDAS INDICADAS EN LOS DETALLES DE LAS BARRAS ESTÁN REFERIDAS AL LADO EXTERIOR DE LAS MISMAS.
- 3.- CONCRETO  $f'c= 28\text{MPa}$  ( $280 \text{ kgf/cm}^2$ ) MÍN.
- 4.- ACERO  $f_y= 420 \text{ MPa}$  ( $4200 \text{ kgf/cm}^2$ ).
- 5.- RECUBRIMIENTO PARA LOS ESTRIBOS=  $4\text{cm}$ , EXCEPTO DONDE INDICADO.
- 6.- EL ACERO DE TODAS LAS BARRAS DEBE SER ASTM A706.
- 7.- UNIÓN CON SOLDADURA Y/O MEDIANTE ALAMBRE.
- 8.- MEDIDAS DE AGUJERO AL CENTRO DE LA BARRA DE  $1-3/8"$ , POS. 6.
- 9.- VER DISTRIBUCIÓN Y DESPIECE DE ACEROS DE LAS COLUMNAS

Figura 3.54: Leyenda y notas del detalle de vigas cabezales prefabricados.

La nota 9 y \* se explica claramente en ingeniería de detalle de la conexión entre la columna y viga cabezal.



### 3.2. Modelo del Proceso Constructivo

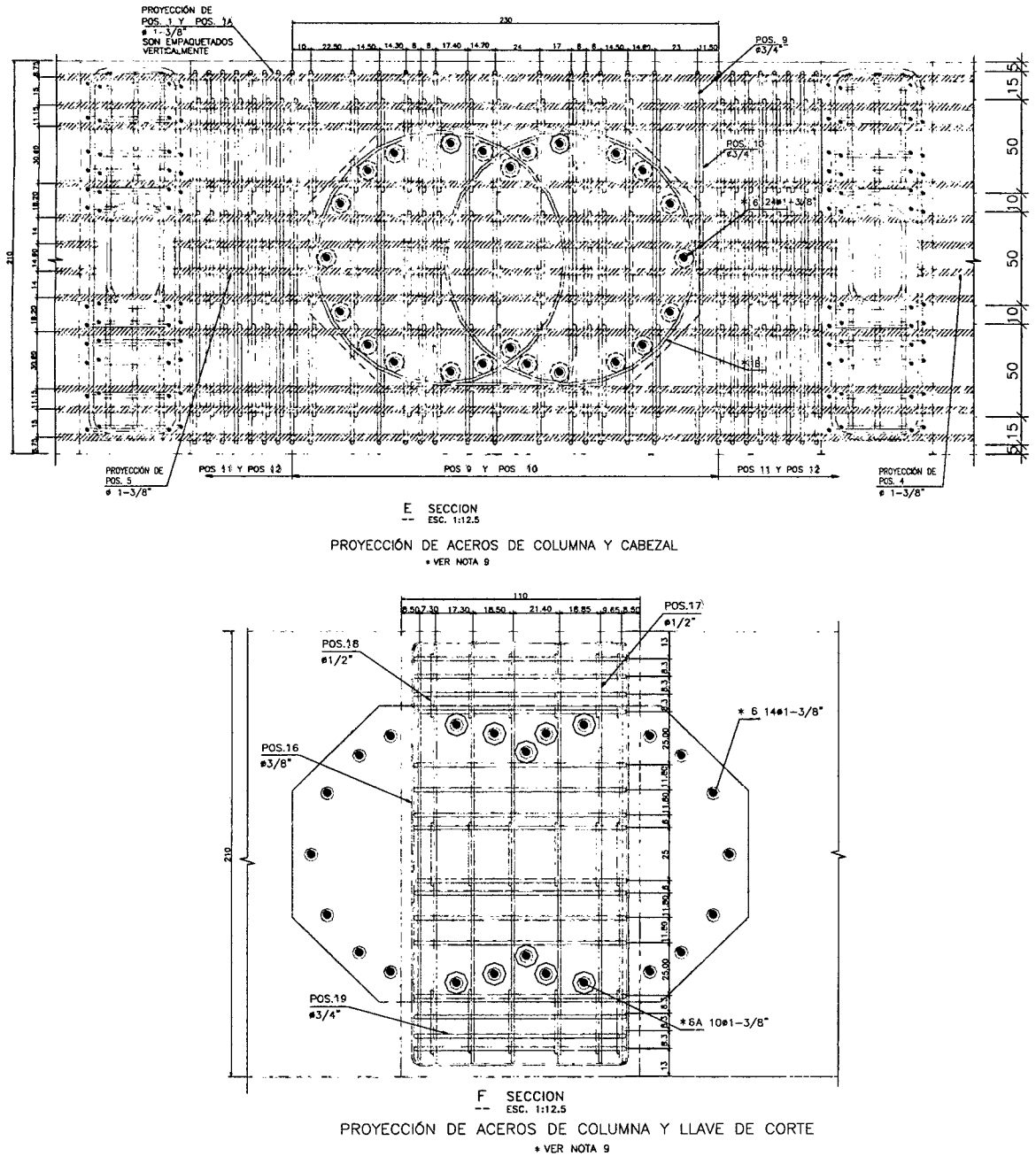


Figura 3.56: Detalle de proyección de acero de columna, viga cabezal y llave de corte.

#### 3.2.2.9. Conexiones entre columna y viga cabezal

Según el Código A.C.I. 318-2011 “Reglamento para Concreto Estructural”, el diseño de elementos prefabricados y sus conexiones debe incluir las condicio-

nes de carga y de restricción, desde la fabricación inicial hasta completar la estructura, incluyendo el desencofrado, almacenamiento, transporte y montaje. El capítulo 16.6 “Diseño de conexiones y apoyos” permite que las fuerzas sean transmitidas entre los elementos a través de juntas inyectadas con mortero, llaves de cortante, conectores mecánicos, conexiones con refuerzo de acero, afinado de piso reforzado, o combinación de estos métodos.

La Viga Cabezal fue diseñada con ductos de aproximadamente 10cm de diámetro, por los cuales se coloca el acero de refuerzo vertical que asegura finalmente el cabezal a la columna. Asimismo, cuenta con las llaves de corte y las restricciones longitudinales. La continuidad entre columna y viga cabezal ha sido dada por traslapes con el acero de refuerzo de las columnas, empleando conectores mecánicos del tipo “Grip-Twist” y los ductos en el cabezal prefabricado tienen el diámetro suficiente a fin de abarcar a la barra de acero de la columna (1 3/8”) y al acople. La armadura del cabezal prefabricado se ha mantenido similar a la armadura de los cabezales que originalmente eran vaciados in-situ.

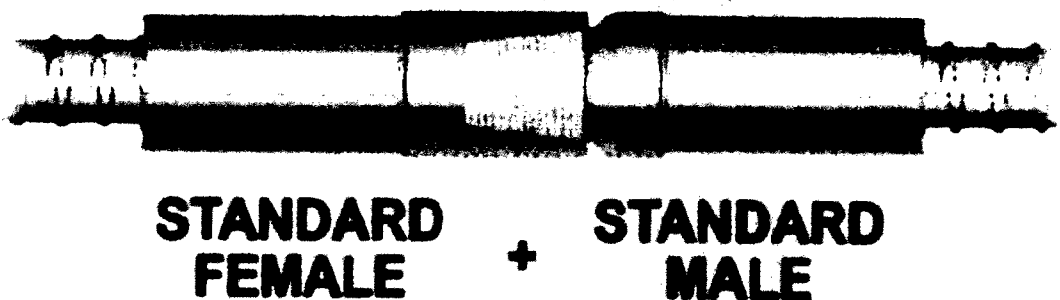


Figura 3.57: Conector mecánico del tipo “Grip-Twist”.

3.2.2.10. Prueba de carga en barras de acero corrugado de construcción (1 3/8”) ancladas en bloque de concreto

En el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se realizó una Prueba de Carga a escala real de barras de

acero corrugado de 1 3/8" ancladas en un bloque de concreto, modelando el sistema de anclaje y conexión entre columna – viga cabezal.

Para el modelo se construyeron dos bloques de concreto de dimensiones 1mx1m y 1.70m de altura, que simulaban una Viga Cabezal con sus respectivos ductos. Cada bloque contenía 03 barras de 1 3/8", ancladas en los ductos por medio de una lechada de 35 MPa de resistencia a compresión inyectada a presión en los ductos.

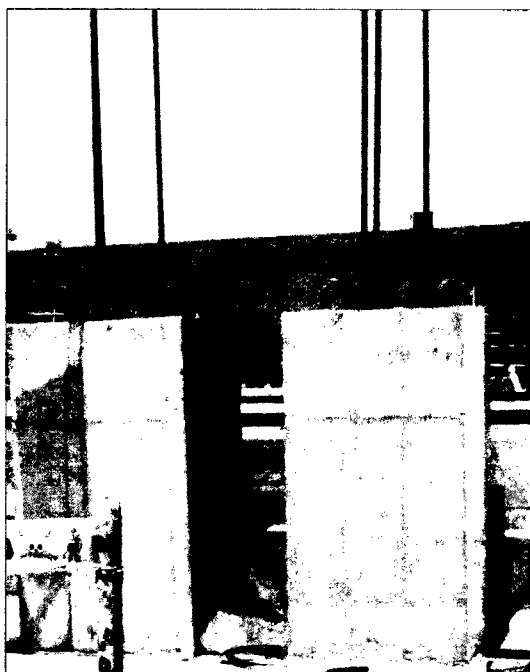


Figura 3.58: Bloques de concreto de dimensiones 1mx1m y 1.70m de altura, para simular una Viga Cabezal /Fuente: Área de Ingeniería–Consortio Tren Eléctrico.

Durante la prueba de carga, los bloques de concreto fueron sometidos a 10 ciclos de 40 toneladas, carga ligeramente superior a la nominal de fluencia; el resultado fue un comportamiento prácticamente de modo elástico. En ninguno de los casos se produjo la rotura o falla por adherencia. El grafico Carga Vs. Deformación muestra el comportamiento de la barra de acero hasta la zona de fluencia.



Figura 3.59: Prueba de carga de los bloques de concreto/Fuente: Área de Ingeniería–Consortio Tren Eléctrico.

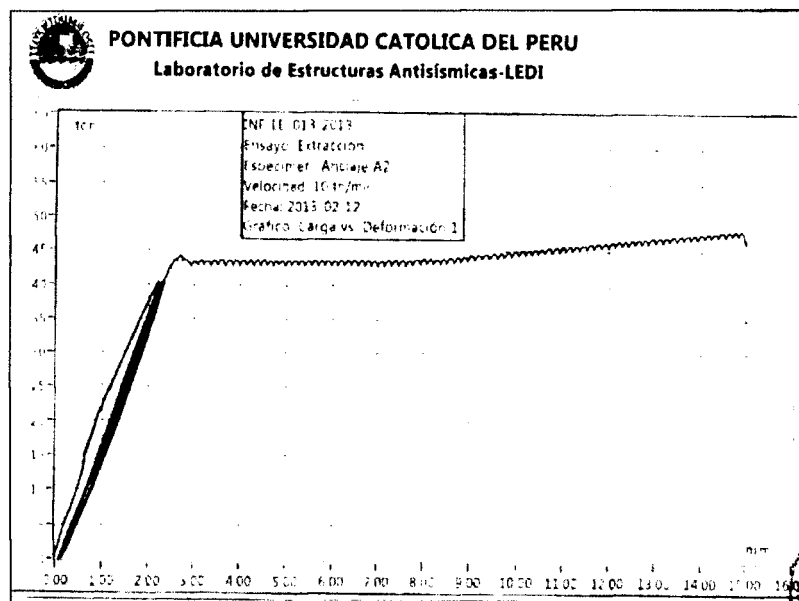


Figura 3.60: Análisis Carga (TN) – Deformación (mm)/Fuente: Área de Ingeniería –Consortio Tren Eléctrico.

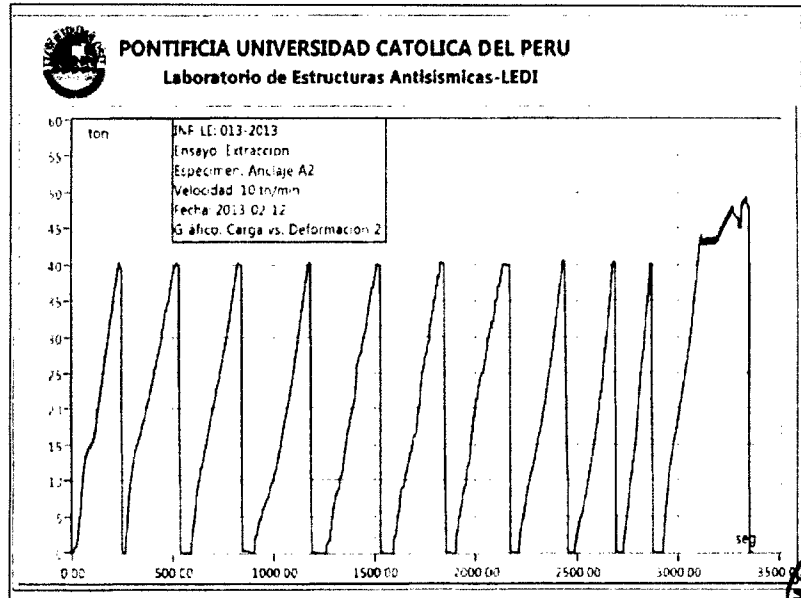


Figura 3.61: Análisis de Ciclo de Carga (TN) – Tiempo (seg.)/Fuente: Área de Ingeniería – Consorcio Tren Eléctrico.

Del diseño de conexiones y los ensayos a escala real realizados, se asegura la integridad estructural en la unión Columna – Viga Cabezal Prefabricada.

### 3.2.2.11. Ingeniería de detalle de la conexión entre la columna–Vigas Cabezal

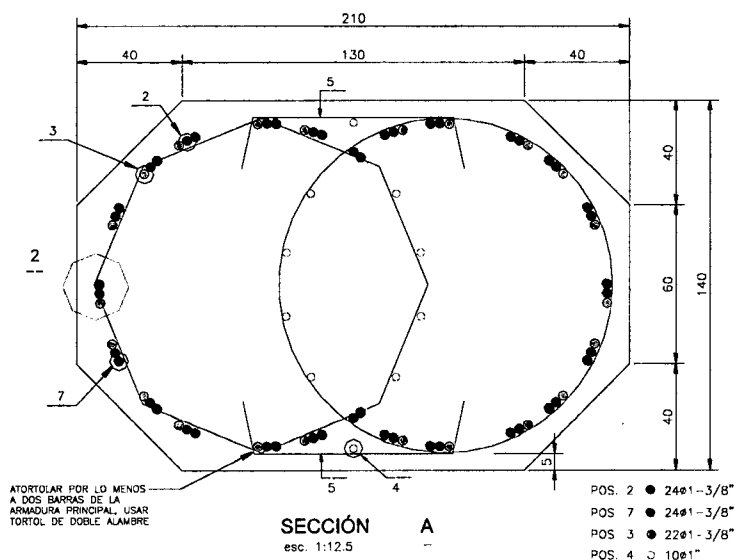


Figura 3.62: Detalle de distribución de acero de columna y viga cabezal.

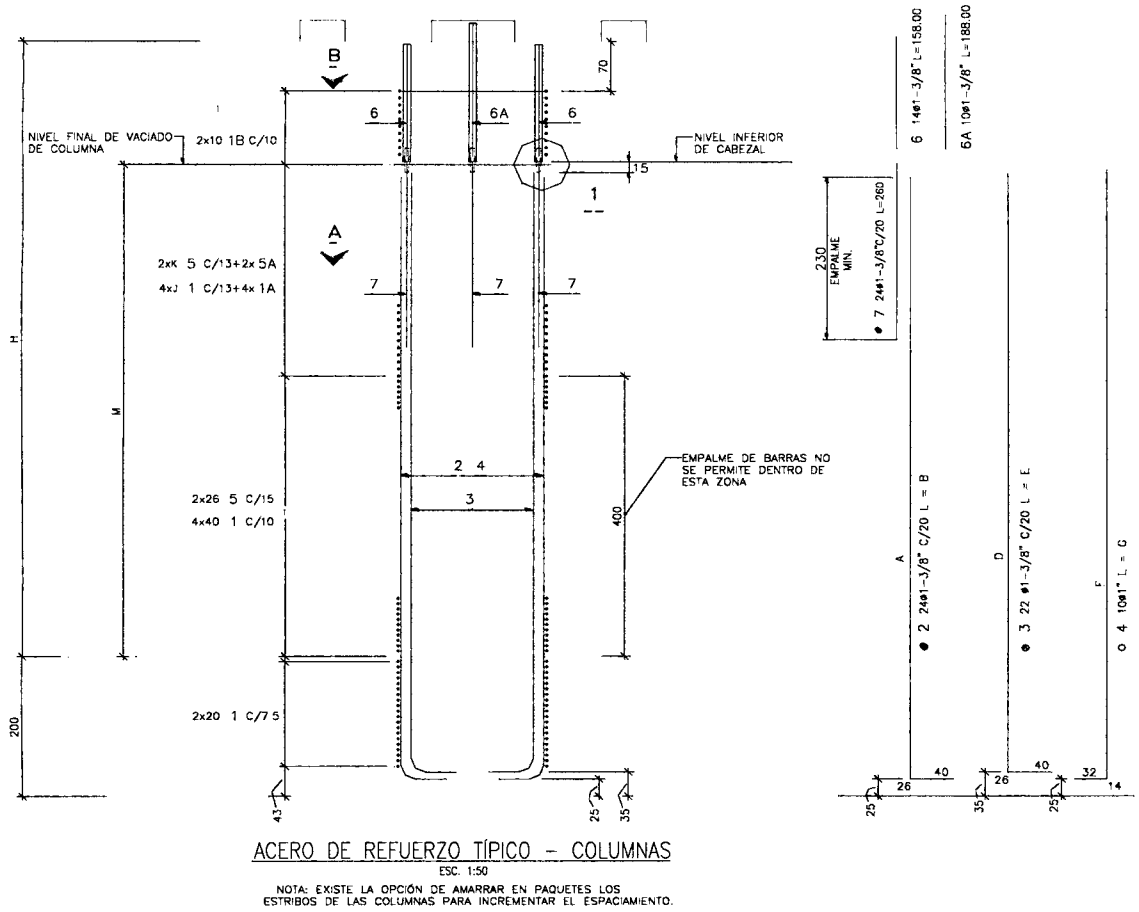


Figura 3.63: Detalle de acero de columna y el empalme con la viga cabezal.

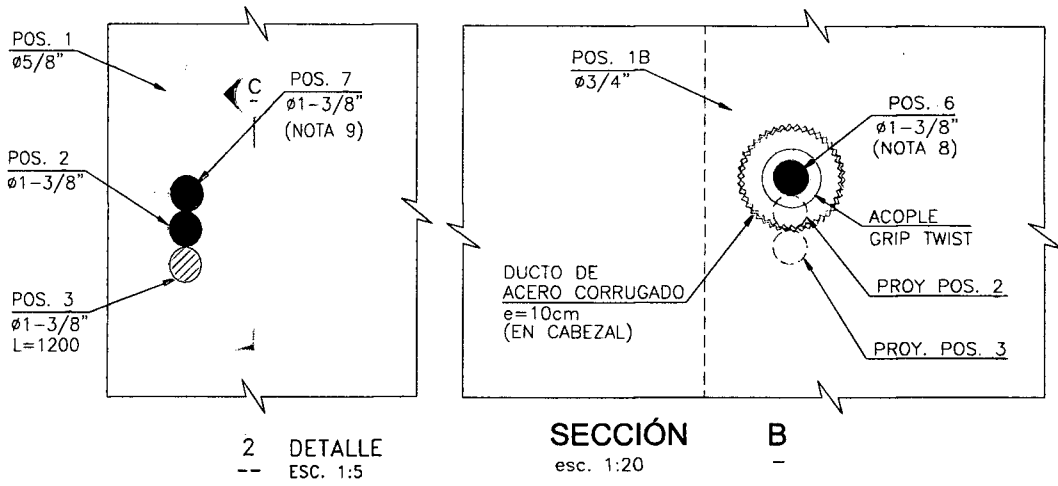


Figura 3.64: Detalle de la proyección del acero y ducto para empalme.

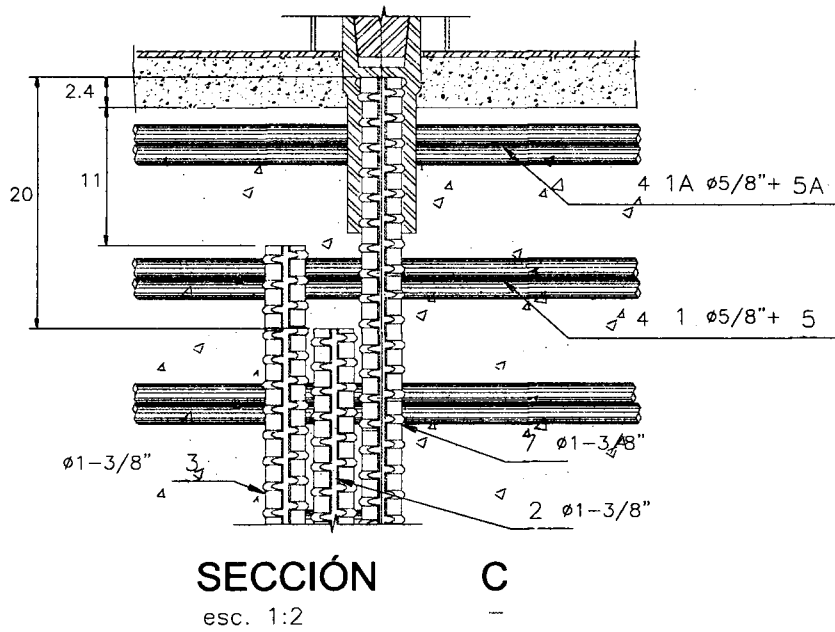


Figura 3.65: Detalle del encuentro entre el acero de columna y viga cabezal.



### 3.2.3. Modelo de Procedimiento de fabricación de vigas pretensadas

#### 3.2.3.1. Equipos

Los principales equipos para la fabricación de las vigas es el siguiente:

- Pórticos de capacidad de 20 ton, 25 ton y 40 ton.
- 3 Hidrolavadoras.
- Compresora.
- Reservorios de Agua.
- Gato Hidráulico.
- Manómetros (para el control de presiones de tensado).
- Otros.

#### 3.2.3.2. Actividades para construcción de vigas prefabricadas

##### a) Ejecución

En la planta de prefabricados se plantea lo siguiente:

La fabricación de las vigas se ejecutará en 2 patios, las vigas de 1.30m (se ejecutará en 04 líneas de 5 vigas con ciclo óptimo de fabricación de 02 líneas ó 10 vigas por turno) y vigas de 1.80m (se ejecutará en 02 líneas de 5 vigas con ciclo óptimo de fabricación de 01 línea ó 05 vigas por turno).

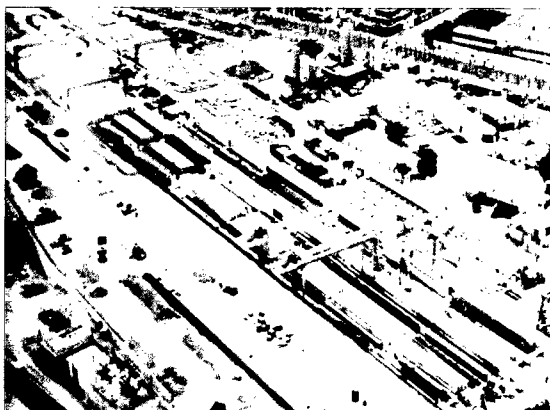


Figura 3.67: Planta de prefabricados en Bayóvar– San Juan de Lurigancho.

**b) Habilitación y colocación de acero de refuerzo**

**Empleo de acero habilitado de acuerdo a la ingeniería de detalle.**

El armado del acero de las vigas será realizado en un área exclusiva para las armaduras, luego serán movilizadas a las líneas de producción.

Para la correcta colocación de la armadura se pondrán las marcas necesarias sobre las planchas metálicas (solados de apoyo) que servirán como guías para su verificación, así como el control de los encofrados (alineamiento, espaciamiento, recubrimientos, niveles, etc.). Se utilizarán dados de concreto para asegurar el recubrimiento de la armadura.



Figura 3.68: Colocación de armadura pasiva de vigas pretensadas.

**c) Colocación de ductos / insertos**

- 06 tubos de acero corrugado  $\varnothing$  38 mm interior para el Post-tensado de los DIWIDAG de diafragma.
- 02 tubos de PVC de  $\varnothing$  4" para Izaje de viga.

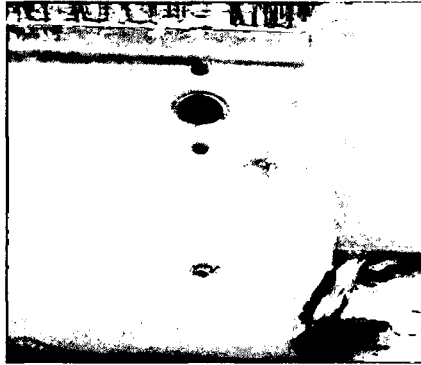


Figura 3.69: Colocación de ductos e insertos.

d) Colocación de puesta a tierra para sistema electromecánico

Colocación de dos planchas de acero galvanizado soldadas en ambos cabezales de las vigas a las armaduras longitudinales y a 3 posiciones de estribo de acuerdo a lo indicado en los Planos. Esta operación se debe realizar durante la colocación de la armadura e inspeccionar previo al cierre del encofrado.

Las dos planchas terminales para la conexión del cable de puesta a tierra se debe ubicar sobre la cara inferior de las vigas prefabricadas, ubicadas a 85 cm de los extremos y a 40 cm de los bordes laterales de cada viga.

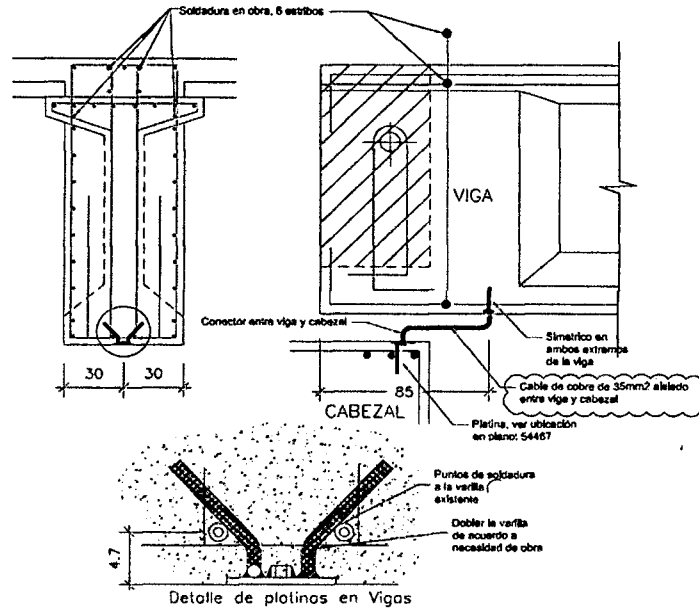


Figura 3.70: Detalle de puesta a tierra para sistema electromecánico en vigas.

e) Colocación de encofrado

Previo al montaje del encofrado, aplicar desmoldante a las caras de los paneles de acero que estarán en contacto con el concreto así como a la plancha metálica ubicada sobre los solados de apoyo. Seguidamente proceder con el montaje de los encofrados metálicos, fijándolos adecuadamente de modo que conserve la geometría de las vigas y el recubrimiento especificado.

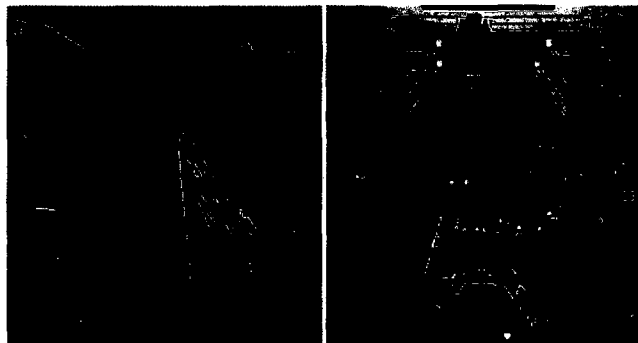


Figura 3.71: Colocación de torones, insertos y encofrado de vigas.

f) Colocación de torones

Concluido el armado del acero de la viga, proceder a colocar los encofrados laterales de los cabezales, insertar los torones según se requiera a lo largo de la línea fijándolos en los bloques de anclaje.

Se deberá tener los siguientes cuidados:

- El número de torones por cada tipo de viga, puesto que las vigas dependiendo de la longitud y altura tiene diferente cantidad de torones.
- Las longitudes de los torones que incluyen el sobre tamaño para el agarre de las gatas de tensado y los anclajes.
- Colocación de las mangueras en los tramos de torones indicados en el plano. Estas mangueras deben tener la estanqueidad necesaria para que la lechada de la mezcla de concreto no discurra entre ella y el tramo de tendón cubierto.

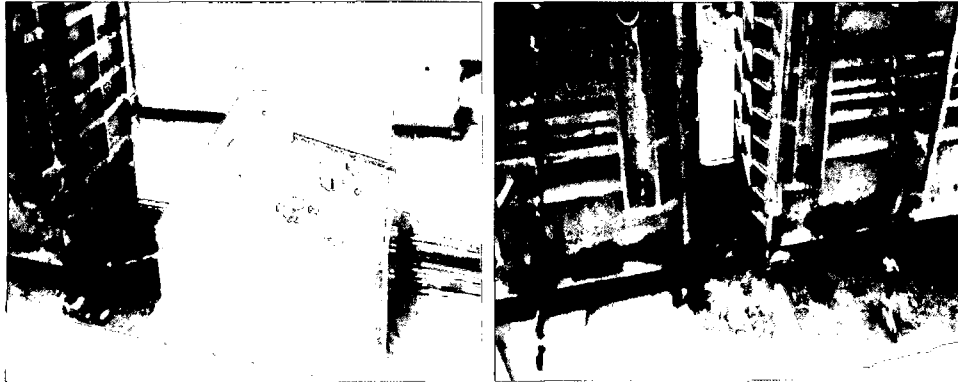


Figura 3.72: Torones colocados a lo largo de la viga y fijado en el bloque de anclaje.

g) El proceso de tensado de los torones:

- Aplicar una primera carga de 1000 PSI para el reacomodo de los cables. En este caso realizar una marca referencial al cable a 200 mm con respecto al accesorio de anclaje. Esta marca representa la elongación teórica referencial del cable a 1000 PSI (marca inicial).

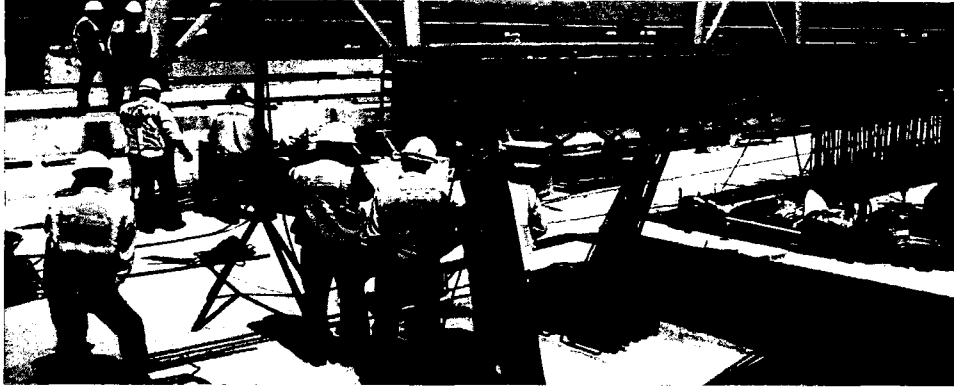


Figura 3.73: Proceso de tensado de los torones.

- El orden de tensado debe ser simétrico del centro hacia afuera en forma alternada. Por ejemplo para el caso de que la viga tenga la distribución que se muestra en la figura, el orden de tensado será:  
19,19',18,18',17,17',16,16',15,15',14,14',13,13',12,12',11,11', 10,10', 9, 9', 8, 8', 7, 7', 6, 6', 5, 5', 4, 4', 3, 3', 2, 2', 1 y 1'.
- Las elongaciones obtenidas para cada cable se registrarán en el protocolo de Registro de Extensiones Totales.

Los detalles de cálculo se indican en las Memorias de Cálculo de Elongaciones realizadas para cada tipo de viga.

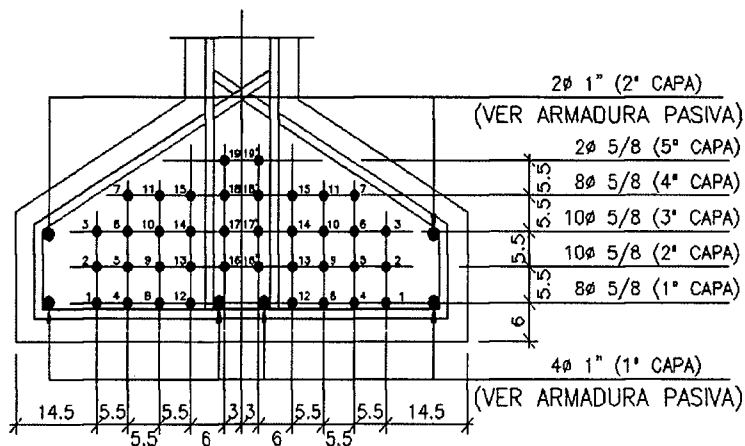


Figura 3.74: El detalle para tensado simétrico.

## h) Vaciado de concreto de las vigas

Realizar las inspecciones de verificación de Control de Calidad y emitir la correspondiente autorización, luego proceder con el vaciado de las vigas.

El concreto será suministrado por la planta de concreto instalada especialmente en el área de prefabricados y su calidad corresponderá al diseño de mezcla específico aprobado para estas estructuras; tal como se ha mencionado sobre la planta de concreto y diseño de mezcla en el Capítulo III.

Para el vaciado de las vigas los mixer se desplazarán por la parte exterior. Para asegurar que el “chute” del mixer llegue a la parte superior del encofrado de la viga, las líneas de fabricación se encontrarán bajo el nivel del terreno como se indica en la figura.

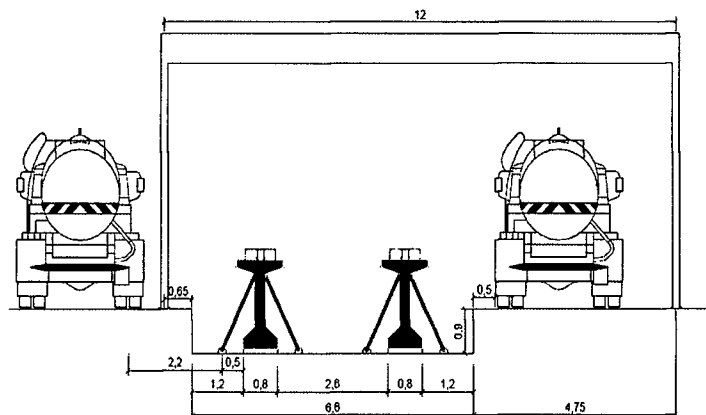


Figura 3.75: Posición de las vigas en las líneas de fabricación.

La colocación del concreto debe ser continua realizándose en 3 etapas para adecuado vibrado en cada viga.

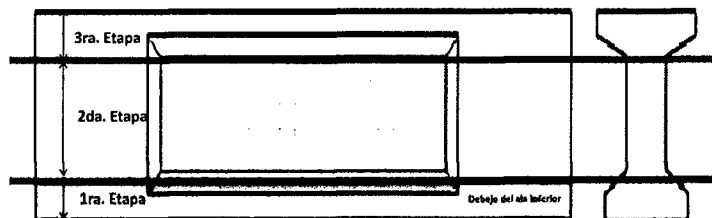


Figura 3.76: Proceso de vaciado de concreto en la viga.

Debido al uso de concretos de altas resistencias tempranas, la temperatura de colocación de concreto puede alcanzar temperaturas alrededor de los 38°C a fin de garantizar que las mezclas indicadas alcancen las resistencias del 70%  $f'c$  (indicado para cada tipo de vigas) a temprana edad.[1]



Figura 3.77: Vaciado de concreto en la viga.

i) Curado del concreto

Etapa 1: Posterior a la colocación de Concreto

- Una vez que el concreto de las vigas comience a exudar (30 a 45 minutos terminado el concretado), proceder a cubrir las vigas con la manta de curado (Manta 400 / Curaflex o similar).
- Aplicar agua caliente por encima de la viga a una temperatura de 60 a 100 °C.
- Inmediatamente cubrir toda la viga con una manta plástica.

Etapa 2: Posterior al Desencofrado

- El desencofrado de las caras laterales de las vigas se debe realizar una vez que estas alcancen una resistencia de 60  $kg/cm^2$ .
- Deberá tomarse las precauciones del caso en el momento del desencofrado de las vigas para evitar abolladuras en los bordes.

- Una vez retirado el encofrado, tapan con la manta de curado, echar agua caliente a las vigas (60 a 100 °C) y cubrir con plástico de acuerdo al proceso inicial (Etapa 1)

Mantener el curado de las vigas hasta que éstas hayan alcanzado una resistencia de  $290 \text{ kg/cm}^2$  o  $320 \text{ kg/cm}^2$ . Una vez alcanzado los  $290 \text{ kg/cm}^2$  o  $320 \text{ kg/cm}^2$ , proceder a retirar las mantas de curado y autorizar el corte de los cables de pretensado. A partir de esta etapa las vigas no necesitarán ningún sistema de curado adicional.



Figura 3.78: Curado de la viga con agua temperada.

j) Corte de cables de pretensado

Una vez que el concreto haya alcanzado el 70% de su resistencia final dependiendo del  $f'c$  indicado en los planos por cada tipo de viga, iniciar el corte de los torones de forma secuencial y continua en la dirección longitudinal de los cables viga a viga, tal y como se especifica en el siguiente esquema:

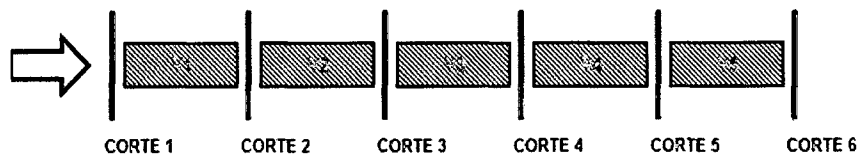


Figura 3.79: Secuencia de corte de los torones en las vigas.

El corte en las colas de las vigas se debe realizar desde los extremos hacia el centro de la viga.

Se realiza de esta forma por seguridad tratando de mantener la simetría respecto al eje, lo que implica cortar los cables en parejas (Por ejemplo 1 y 1')

k) Protección de torones

- Realizar la protección de torones con un producto altamente resistenten como Sika Rep o similiar de acuerdo a las indicaciones de la hoja técnica del producto.
- Se colocar el mortero hasta una altura aprox. de 15 cm respecto al fondo de la base. Se debe cubrir una distancia de 2.0 cm respecto al torón superior más alejado.

Cabe indicar que esta actividad puede realizar dentro de la Planta de Prefabricados o en el Viaducto y el curado se puede realizar con vía húmeda o curador químico

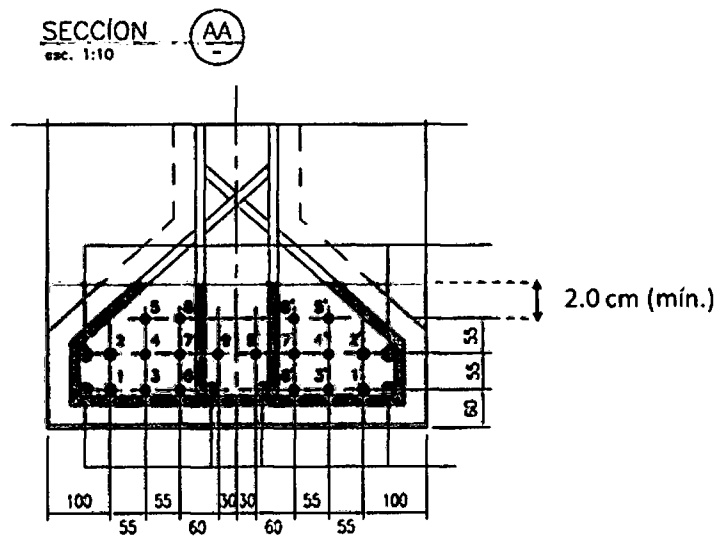


Figura 3.80: Vista frontal – Detalle talón de protección.

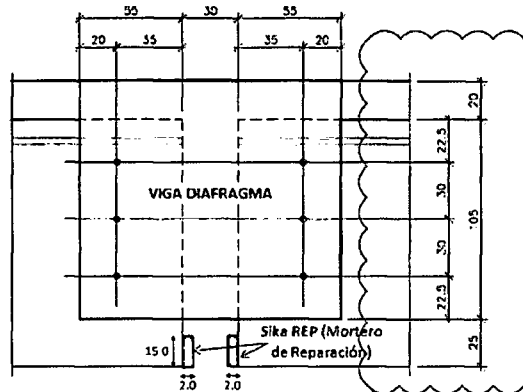


Figura 3.81: Vista lateral – Detalle talón de protección.

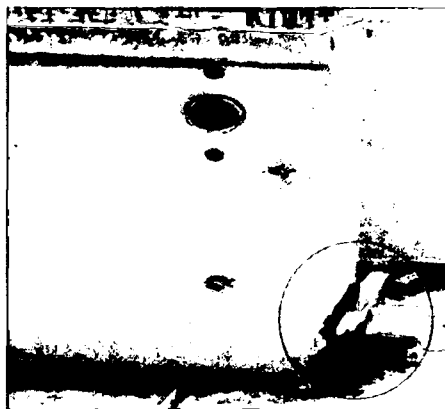


Figura 3.82: Protección de torones.

l) inspección post-vaciado

Una vez cortado el cable, se debe realizar la inspección Post Vaciado (Lograr la autorización de la Supervisión con Protocolo) donde se debe verificar las dimensiones, contraflechas, acabado (caras laterales y fondo de viga) y el tratamiento superficial de las vigas. Para el control de las contraflechas, tener en cuenta los valores indicados en Tolerancia Contraflechas en Vigas Premoldeadas (Para vigas tipo I: Teórico= 2.02 cm, Máxima=2.56 cm y Mínima=1.55 cm.).

m) Preparación de Zona de Diafragma

Como parte de las actividades post vaciado, se debe picar la zona que quedará

en contacto con el concreto del diafragma a fin de mantener una superficie rugosa. Asimismo descubrir el acero transversal que formará parte de la viga postensada (zona del diafragma).

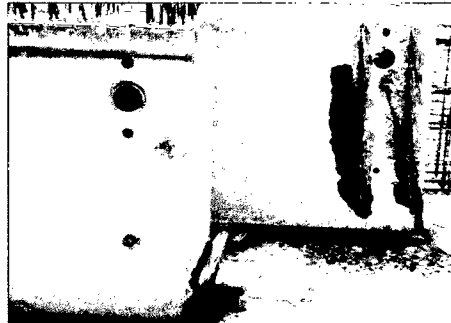


Figura 3.83: Preparación de la zona de viga diafragma.

n) **Reparación de Burbujas Superficiales**

Aquellas zonas con presencia de burbujas superficiales serán revestidas con una mezcla de cemento-cal-arena fina y agua en la proporción adecuada para alcanzar la tonalidad de la estructura.

ñ) **Reparación de Cantos Quebrados**

Aquellas zonas que presenten segregación, aristas quebradas y/o despostillamiento de concreto, se debe resanar con un mortero de reparación tipo EMACO S88 (BASF) o Sika REP (Sika). Seguir el procedimiento indicado en la ficha del producto.

### 3.2.4. Modelo de Procedimiento de Fabricación de Vigas Cabezales

#### 3.2.4.1. Actividades para construcción de vigas prefabricadas.

Primeramente se debe construir líneas de producción con cierta cantidad de módulos de acuerdo a la necesidad del proyecto.

En el caso de estudio se construyó una línea de producción con 5 módulos, cada uno de ellos implementado con un sistema de encofrado y un área de armado de acero al alcance de las grúas. Una distribución adecuada considerando el pase

de camiones mezcladores “Mixer” de concreto sin interferencia con el pase de las grúas Pórtico.



Figura 3.84: Los módulos para la fabricación de las vigas cabezales.

El armado de acero, el encofrado y el vaciado de concreto se realiza al igual que de las vigas tipo I, con la diferencia de que se debe dejar ductos en su posición correcta de acuerdo a los Planos de Detalle para la unión Columna–Viga Cabezal.

Encofrado de la base fijo con la distribución de ductos y el vaciado de directo desde camión mixer. Para ello deberá comprobarse y debe estar autorizado el vaciado de concreto mediante Protocolo de Calidad.



Figura 3.85: Vaciado de concreto en las vigas cabezalcs.

Se incrementa la productividad por un desencofrado rápido, sin necesidad de retirar las tapas frontales (implementación de Bisagras). Colocación de desmoldante

en los elementos del encofrado rápida y segura.



Figura 3.86: Desencofrado de vigas cabezales.

Cuadro 3.9: Productividad en Vigas Cabezal.

| DESCRIPCIÓN                | UNIDAD                      | CANTIDAD    |
|----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Cantidad                   | Und.                        | 141         |
| Duración                   | Días                        | 162         |
| <b>Producción diaria</b>   | <b>Und/día</b>              | <b>0.87</b> |
| Volumen de concreto        | $m^3$                       | 3222.5      |
| Peso de acero              | Tn                          | 1023        |
| <b>Volumen de concreto</b> | <b><math>m^3/día</math></b> | <b>20</b>   |
| Peso de acero              | Tn/día                      | 6.31        |

*Fuente:* Área de Producción y Costos – Consorcio Tren Eléctrico.

### 3.2.5. Almacenamiento de los elementos prefabricados

#### 3.2.5.1. Codificación y transporte a la zona de despacho

Concluido el curado inicial o acelerado y cortado los torones de pretensado se debe proceder a codificar claramente las vigas I y vigas cabezales de modo que su montaje en el viaducto sea en el orden establecido en los planos de proyecto. En la identificación se debe indicar: tipo de viga, número correlativo y fecha de vaciado de concreto.



Figura 3.87: Codificación de las vigas.

Una vez codificadas, los elementos prefabricados se debe trasladar a la zona de despacho. El traslado será efectuado con grúa pórtico.

El despacho de las vigas a la obra (viaducto) será realizado de acuerdo a los requerimientos de la Producción.



Figura 3.88: Transporte de vigas a la zona de despacho.

### 3.2.5.2. Detalle de Apoyo para Transporte de Vigas

En base a las condiciones finales de apoyo, las vigas deben ser transportadas obedeciendo al siguiente esquema (de acuerdo a su posición final en el Viaducto):

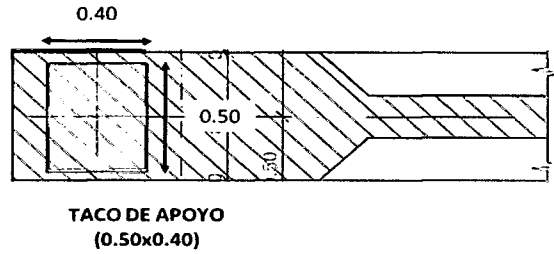


Figura 3.89: Detalle en planta de apoyo de madera o similar.

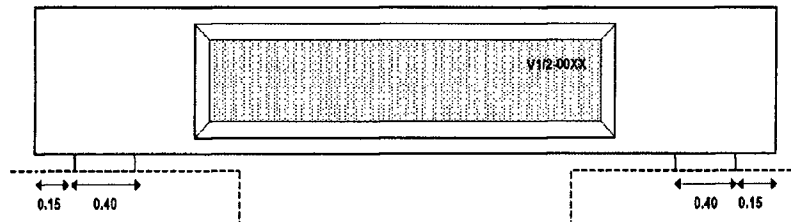


Figura 3.90: Detalle de apoyo de madera o similar para traslado en camión cama-baja o carreta.

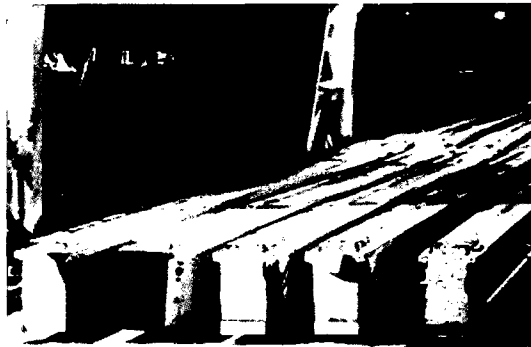


Figura 3.91: Vigas apoyados sobre madera.

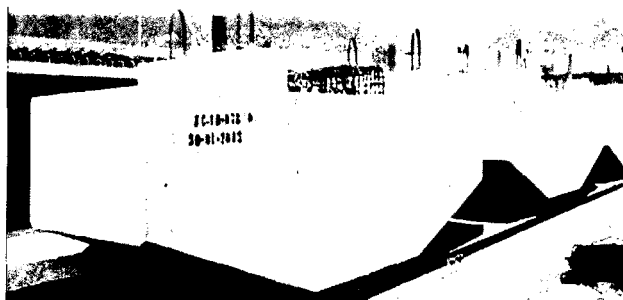


Figura 3.92: Vigas cabezales apoyados sobre madera.

### 3.2.6. Control de Calidad

#### 3.2.6.1. Protocolos

Todos los trabajos deberán estar autorizados por la supervisión; para ello el área de Calidad debe preparar los siguientes formatos de Protocolos de Liberación:

- Protocolo de control de pretensado.
- Protocolo de Pre-Vaciado.
- Protocolo de Post-Vaciado.

Teniendo dichos documentos, se procederá a registrar y verificar en campo el tensado de los torones, Pre-Vaciado (armado de acero y topografía) y finalmente Post-Vaciado (Producto terminado listo para despacho a obra). Dichos documentos deberán estar firmados por el responsable de Calidad, Producción y Supervisión.

#### 3.2.6.2. Tolerancias

De acuerdo al Manual para el Control de Calidad de Plantas y Producción de productos prefabricados de hormigón del P.C.I. (*Precast Prestressed Concrete Institute*) para vigas "I": [24]

Longitud: El menor valor entre:  $\pm 6\text{mm}$  por 7.5m de longitud y  $\pm 25\text{mm}$ .

Ancho (b):  $\pm 10\text{ mm}$ ,  $\pm 6\text{ mm}$ .

Alma ( $b_1$ ):  $\pm 10$  mm,  $\pm 6$  mm.

Espesor de alas ( $c_1$ ):  $\pm 6$  mm.

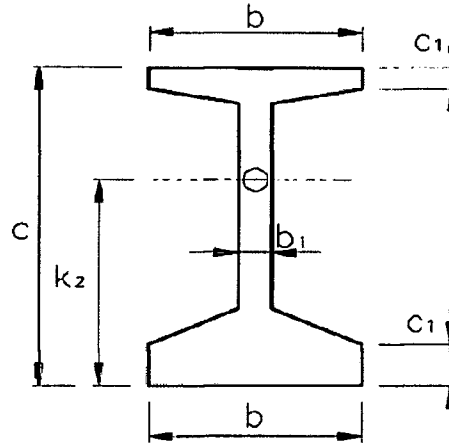


Figura 3.93: Viga Tipo I – Control de dimensiones.

Estas variaciones en dimensiones no deben involucrar recubrimientos por debajo de los mínimos permitidos.

### 3.2.6.3. Matriz de responsabilidades

### 3.2.6.4. Enfoque basado en procesos

La Norma Internacional ISO 9001: 2008 promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos. [14]

Un enfoque de este tipo, cuando se utiliza dentro de un sistema de gestión de la calidad, enfatiza la importancia de:

- a) La comprensión y el cumplimiento de los requisitos.
- b) La necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor.
- c) La obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso.

Cuadro 3.10: Cuadro de matriz de responsabilidades.

| Nº | ACTIVIDADES  | Calidad | Producción | Topografía | Capataz | Especialista Pretensado |
|----|--|---------|------------|------------|---------|-------------------------|
| 1  | Revisar los planos y las Especificaciones Técnicas del Proyecto.         | X       | X          | X          | X       | X                       |
| 2  | Verificar Certificados de Calidad y Calibración de equipos.              | X       | X          |            |         |                         |
| 3  | Emitir diariamente notificaciones de inspección y emisión de protocolos. | X       | X          |            |         |                         |
| 4  | Inspección Pre-Vaciado   | X       | X          | X          |         | X                       |
| 5  | Control del tensado de los cables  | X       | X          |            |         | X                       |
| 6  | (verificación de temperatura, slump, muestreo de probetas, etc.)         | X       | X          |            |         |                         |
| 7  | Curado de los elementos de acuerdo al método propuesto                   |         | X          |            |         |                         |
| 8  | Rotura de probetas para autorización de corte de cables                  | X       |            |            |         |                         |
| 9  | Corte de cables de tensado   |         | X          |            |         | X                       |
| 10 | Inspección Post Vaciado  | X       | X          |            |         |                         |
| 11 | Verificación de contafechas  | X       | X          | X          |         |                         |

d) La mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.

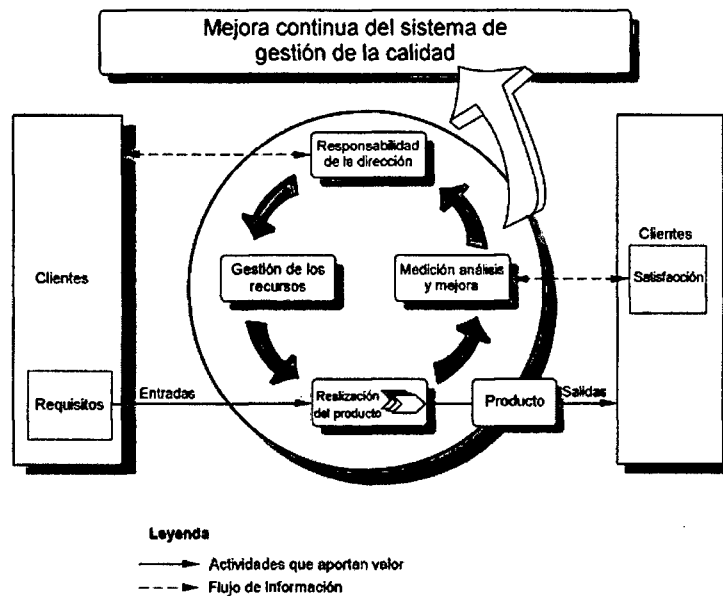


Figura 3.94: Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos/ Fuente: ISO 9001.

De manera adicional, puede aplicarse a todos los procesos la metodología conocida como "Planificar-Hacer-Verificar-Actuar"(PHVA). PHVA puede describirse brevemente como:[14]

**Planificar:** establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.

**Hacer:** implementar los procesos.

**Verificar:** realizar el seguimiento y la medición de los procesos y los productos respecto a las políticas, los objetivos y los requisitos para el producto, e informar sobre los resultados.

**Actuar:** tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos.

### 3.2.7. Comparación de áreas de planta de prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2

#### 3.2.7.1. Optimización de espacio y tiempo en la nueva planta de prefabricados "Bayóvar"

El desafío en el tramo 2, en comparación con el tramo anterior era producir más elementos en una menor área para la Planta de Prefabricados, optimizando el espacio en las diferentes líneas de producción. La Planta de Prefabricados del Tramo 2, presenta un área menor en 18% con respecto a la planta del Tramo 1.



Figura 3.95: Planta de prefabricados- Bayóvar –Tramo 2.

Cuadro 3.11: Comparación de Áreas de Planta de Prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2.

| Tramo   | Área Total (m) <sup>2</sup> | Layout de la Planta de Prefabricados de Concreto |
|---------|-----------------------------|--|
| Tramo 1 | 57,850                      |  |
| Tramo 2 | 47,500                      |  |

Fuente: Área de Ingeniería -Consortio Tren Eléctrico de Lima.

### 3.2.8. Comparación de áreas de patios de producción de prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2

Como se muestra en el Cuadro 3.12, el área de los patios de producción en el Tramo 2, es menor con respecto al Tramo 1. En todos los servicios se buscó incrementar la producción y disminuir el área en la línea de producción.

### 3.2.9. Comparación de líneas de producción de vigas entre el tramo 1 y tramo 2.

Se aprecia claramente que en la planta de Tramo 1 hay más líneas de producción que Tramo 2, tal y como se muestra en el Cuadro 3.13.

Cuadro 3.12: Comparación de Áreas de Patios de Producción.


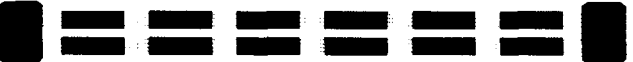




| Área para Producción de Prefabricados por Estructura | Unidad         | Tramo 1      | Tramo 2      |
|--|----------------|--------------|--------------|
| Vigas Pretensadas H=1.3 m                            | m <sup>2</sup> | 11250        | 10020        |
| Vigas Pretensadas H=1.8 m                            | m <sup>2</sup> | 8300         | 4490         |
| Vigas Cabezales                                      | m <sup>2</sup> | 0            | 1000         |
| Prelosas   | m <sup>2</sup> | 5200         | 4800         |
| Bordes típicos                                       | m <sup>2</sup> | 1100         | 2400         |
| Planta de Concreto                                   | m <sup>2</sup> | 8100         | 7066         |
| Almacenamiento                                       | m <sup>2</sup> | 23900        | 17724        |
| <b>Área Total</b>                                    | m <sup>2</sup> | <b>57850</b> | <b>47500</b> |

Fuente: Área de Ingeniería Consorcio Tren Eléctrico de Lima.

### 3.2.10. Comparación de producción de prefabricados entre el Tramo 1 y Tramo 2

Como se muestra en el Cuadro 3.14, la cantidad de elementos prefabricados producidos en el Tramo 2, es mayor con respecto al Tramo 1. En todos los elementos se buscó incrementar la producción de prefabricados y disminuir la construcción in-situ.

Cuadro 3.13: Comparación de Líneas de Producción de Vigas entre el Tramo 1 y Tramo 2.

| Área Total (m <sup>2</sup> )            | Líneas de Producción          | Cantidad     | Layout de Fabricación de Vigas Pretensadas h=1.30 m                                 |
|---|-------------------------------|--------------|---|
| Planta Tramo 1<br>11,550 m <sup>2</sup> | Líneas de Producción          | 6            |   |
|   | Vigas por Línea de Producción | 6            |   |
|   | Longitud de una Viga          | 19.70 metros |   |
| Planta Tramo 2<br>10,020 m <sup>2</sup> | Líneas de Producción          | 4            |   |
|   | Vigas por Línea de Producción | 5            |   |
|   | Longitud de una Viga          | 24.70 metros |  |

Fuente: Área de Ingeniería -Consortio Tren Eléctrico de Lima.

Cuadro 3.14: Comparación de cantidad de estructuras prefabricadas.

| Estructura Prefabricada   | Unidad | Tramo 1        | Tramo 2        |
|---------------------------|--------|----------------|----------------|
| Vigas Pretensadas H=1.3 m | Unid   | 1455 L=19.70 m | 1144 L=24.70 m |
| Vigas Pretensadas H=1.8 m | Unid   | 374            | 774            |
| Vigas Cabezales           | Unid   | 0              | 140            |
| Prelosas                  | Unid   | 21559          | 27225          |
| Bordes típicos            | Unid   | 8568           | 9237           |

Fuente: Área de Costos- Consortio Tren Eléctrico de Lima.

Cuadro 3.15: Producción Mensual de Vigas Tipo I (h=1.3 m) Prefabricados en el Tramo 2.

| MESES(2012-2013) | VIGAS TIPO I h=1.30 m (Und/Mes) |
|------------------|---------------------------------|
| Setiembre        | 106                             |
| Octubre          | 120                             |
| Noviembre        | 214                             |
| Diciembre        | 155                             |
| Enero            | 145                             |
| Febrero          | 178                             |
| Marzo            | 98                              |
| Abril            | 128                             |
| <b>Total</b>     | <b>1144</b>                     |

Fuente:Elaboración propia.

3.2.10.1. Producción Mensual de Vigas Tipo I (h=1.3 m)–Tramo 2

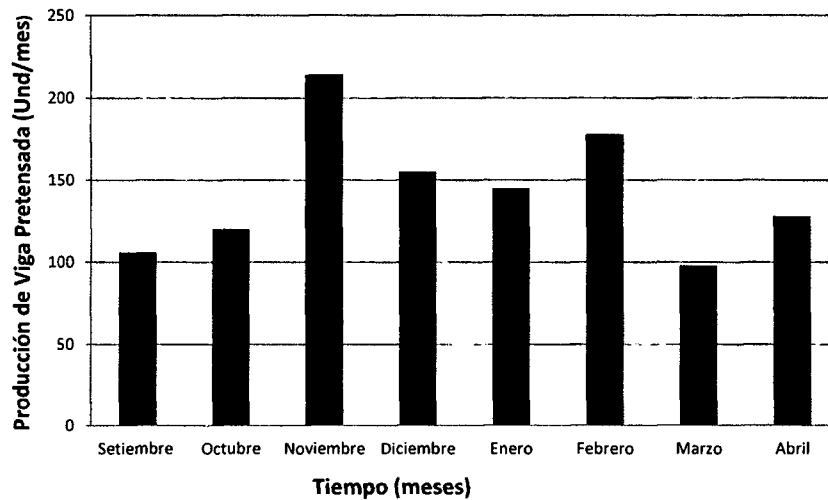


Figura 3.96: Producción Mensual de Viga Tipo I (h=1.3 m) Prefabricado del Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

Se alcanzó a producir 214 vigas pretensadas típicas de 1.30 m. de altura por mes en la planta de prefabricados Bayóvar–Tramo 2.

Cuadro 3.16: Producción Mensual de Viga Cabezal Prefabricada en Tramo 2.

| MESES        | VIGAS CABEZALES (Und/Mes) |
|--------------|---------------------------|
| Octubre      | 5                         |
| Noviembre    | 34                        |
| Diciembre    | 32                        |
| Enero        | 27                        |
| Febrero      | 20                        |
| Marzo        | 23                        |
| <b>Total</b> | <b>141</b>                |

Fuente:Elaboración propia.

### 3.2.10.2. Producción Mensual de Vigas Cabezales Prefabricados–Tramo 2

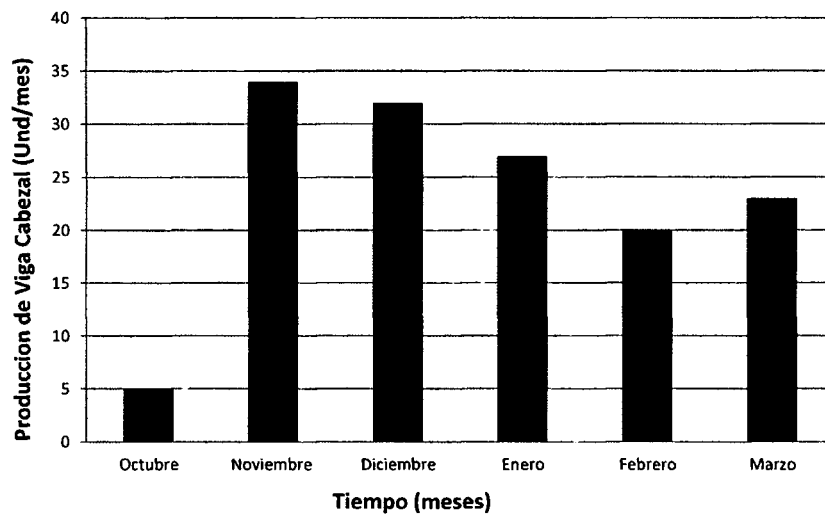


Figura 3.97: Producción Mensual de Viga Cabezal Prefabricada en Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

Se alcanzó a producir 34 vigas cabezales prefabricadas por mes.

### 3.2.11. Gestión de la seguridad en el trabajo

Este punto tiene por finalidad establecer las directrices y actividades a seguir para la realización de análisis de trabajos seguros (ATS) y Permiso de Trabajo (PDT) con el fin de determinar los peligros, riesgos y controles que permitan minimizar los incidentes durante la realización de los trabajos. Así mismo regular la gestión,

obtención y autorización de los Permisos de Trabajo requeridos.

#### 3.2.11.1. Definiciones

**PDT:** Permiso de Trabajo, identifica el proceso completo que permite tramitar y obtener el permiso para la ejecución de un trabajo o actividad.

**Alto Riesgo:** Estas actividades son entre otras, los trabajos en caliente, intervención en equipos energizados, entrada a espacios confinados, trabajos en altura, elevación de cargas críticas, etc.

**APNR:** Análisis Preliminar de Niveles de Riesgo, herramienta que permite la identificación de peligros inherentes a las operaciones, valorar los riesgos, y establecer las medidas de control necesarias para eliminar, reducir o controlar dichos riesgos.

**Caso SST:** Es la aplicación del proceso de gestión de peligros y efectos para aquellas instalaciones y operaciones críticas que complementa una demostración formal de que los riesgos han sido reducidos a un nivel tan bajo como sea razonablemente posible.

#### 3.2.11.2. Responsabilidades

##### a) Director de Contrato

Define las políticas requeridas para la capacitación y el proceso de aplicación de metodologías de análisis de riesgo. Así mismo aprobar el procedimiento de PDT.

##### b) Gerente de Producción

- Designar al personal autorizado para la emisión de PDT, verificar que todas las operaciones a ejecutarse en el proyecto, cuenten con el correspondiente PDT.
- Validar la clasificación de riesgos intolerables y aprobar el equipo que realizará el ATS.
- Informar al Gerente SST sobre la realización de trabajos de riesgo intolerables.

**c) Gerente SSTMA**

- Validar la clasificación de riesgos intolerables en los trabajos, y aprobar el equipo que realizará el ATS para los trabajos de riesgo intolerables.
- Brindar asistencia técnica al emisor y/o ejecutante del PDT.
- Brindar soporte a la Gerencia de Producción, para la puesta en práctica de las medidas de control establecidas en el PDT y validar los ATS.
- Autonomía para determinar la paralización temporal o permanente de una operación, cuando a criterio del personal de SST, exista una condición y/o acto que ponga en riesgo inminente a los colaboradores, el medio ambiente y/o las operaciones.
- Auditar el cumplimiento del proceso de PDT, en base a los requisitos del procedimiento de trabajo.

**d) Ingeniero Responsable**

- Participar en los equipos de trabajo para ATS, donde es líder.
- Validar la evaluación de riesgos de los trabajos valorados en Análisis Preliminar de Riesgos.
- Aprobar el equipo que realizará el ATS para los trabajos de riesgo Moderado.
- Informar al responsable de la actividad respectivo sobre la realización de trabajos con riesgo Moderado.
- Validar los ATS de los trabajos o actividades evaluados como de riesgo Moderado
- Emitir el PDT General y/o Específico y realizar el cierre de la misma.
- Hacer cumplir los requerimientos y controles operacionales establecidos en el PDT.
- Velar que únicamente personal capacitado, entrenado y acreditado, según corresponda, ejecuten las tareas programadas y autorizadas en el PDT.

e) Capataz

- Participar en los equipos de trabajo para ATS, donde es nombrado.
- Es responsable por las evaluaciones de riesgos de todos los trabajos de su área.
- Verificar que se estén aplicando los controles establecidos en el ATS.
- Debe conocer y dar a conocer el ATS elaborado para la tarea.
- Asegurar que se alimente el archivo de ATS.
- Asegurarse que únicamente personal capacitado, entrenado y acreditado, según corresponda, ejecuten las tareas programadas y autorizadas en el PDT.

f) Trabajadores

- Participar en los equipos de trabajo para elaborar ATS donde sean requeridos.
- Conocer y dar a conocer el ATS elaborado para la tarea.
- Cumplir y hacer cumplir con los controles establecidos en el ATS.
- Tramitar la renovación del PDT ante el Emisor con la debida antelación.
- Seguir las acciones especificadas en el PDT.

g) Supervisores y/o Técnicos de SSTMA

- Definir e implementar la estrategia para la evaluación y análisis de riesgos de trabajo, de acuerdo a los roles y responsabilidades definidos en el organigrama del proyecto.
- Apoyar al Ingeniero responsable en velar y hacer cumplir las acciones especificadas en el PDT y ATS.

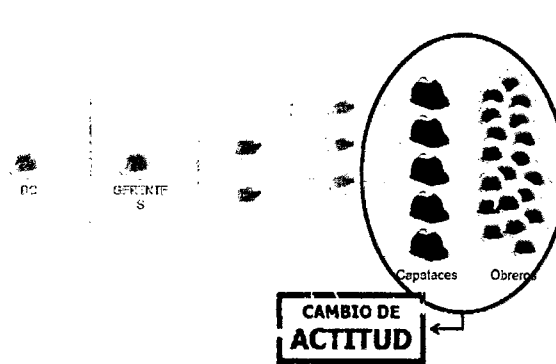


Figura 3.98: Responsabilidades en Seguridad Basada en la Conducta.

### 3.2.11.3. Descripción de las Actividades

El proceso de gestión de seguridad y salud en el trabajo se basa en la metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA). PHVA puede describirse brevemente como:[12]

**Planificar:** establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo a las políticas de SST de la organización.

**Hacer:** implementar los procesos.

**Verificar:** realizar el seguimiento y la medición de los procesos y los productos respecto a las políticas de SST, los objetivos, las metas y los requisitos legales y otros requisitos, e informar sobre los resultados.

**Actuar:** tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño del sistema de gestión de la SST.



Figura 3.99: Modelo de sistema gestión de SST/Fuente:OHSAS 18001: 2007

#### 3.2.11.4. Procedimiento

##### a) Sistema de PDT

Queda establecido que todos los trabajos a ser realizados, deberán estar cubiertos por un PDT General y los trabajos de alto riesgo por PDT específicos, tales como: trabajos en altura, elevación de carga, montajes, mantenimiento de instalaciones, trabajos en caliente, trabajos en espacios confinados, maniobras de izaje, etc.

##### b) Emisión del PDT

El PDT podrá ser tramitado únicamente por un Ejecutante autorizado, ante un Emisor también autorizado.

Para ser autorizados, los Emisores y Ejecutantes, deberán ser presentados y registrados formalmente por la Gerencia de Producción, para lo cual deberán ser previamente entrenados por la Unidad de Seguridad y Salud en el Trabajo, en la correcta aplicación del procedimiento de PDT.

El PDT emitido deberá llevar las firmas del Ingeniero responsable y del Capataz autorizado.

#### 3.2.11.5. Charla de Seguridad

Todos los días, antes de comenzar con la ejecución de las actividades se debe realizar las charla de seguridad durante 5 a 10 minutos; con la finalidad de explicar los peligros y riesgos que existen dentro el área de trabajo.

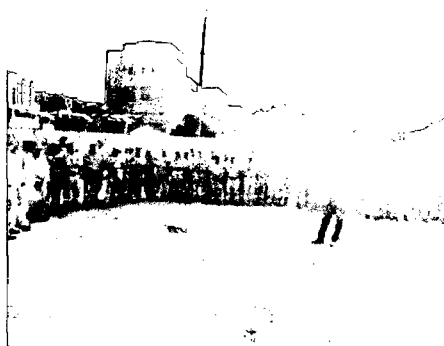


Figura 3.100: Charla de seguridad.



Figura 3.101: Chequeo médico en Obra a Cargo de Doctores de Salud Ocupacional.

#### 3.2.11.6. Elaboración del Permiso de Trabajo

El formulario de PDT General, debe comprender los siguientes campos:

- **Aplicación del Permiso.**
- **Peligro Potencial.**
- **Requerimientos de Aislamiento y Preparación.**
- **Compromiso de los Colaboradores.**
- **Equipo de Protección Personal y Equipos de Protección Colectiva.**
- **Precauciones Adicionales.**
- **Permisos Adicionales.**
- **Medidas Adicionales de Control.**
- **Aislamiento Eléctrico / Mecánico (Colocación).**
- **Aceptación del PDT.**
- **Transferencia de la Responsabilidad.**
- **Finalización / Suspensión del Trabajo.**
- **Aislamiento Eléctrico Mecánico (Retiro).**
- **Cierre del Permiso.**

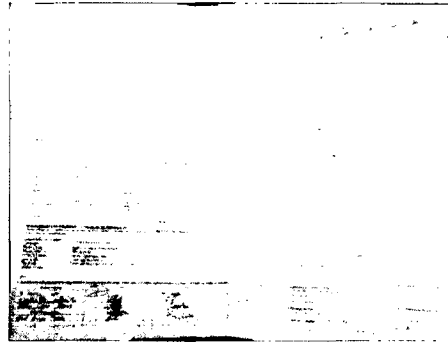


Figura 3.102: Formato de Permiso de trabajo General/Fuente: SSTMA del Consorcio Eléctrico.

#### 3.2.11.7. Instrucciones para el Análisis de Trabajo Seguro (ATS)

**Paso 1: Definir el trabajo a ser analizado.**

**Paso 2: Dividir el trabajo en pasos individuales o tareas.**

**Paso 2: Dividir el trabajo en pasos individuales o tareas.**

**Paso 3: Identificar los peligros e incidentes potenciales en cada paso o tarea identificando su código o nombre.**

**Paso 4: Definir controles, medidas de recuperación y responsables.**

**Paso 5: Documentar el ATS.**

**Paso 6: Comunicar en detalle, a todos los involucrados en el trabajo, el ATS.**

**Paso 7: Revisar / actualizar / corregir el ATS al termino del trabajo y archivarlo.**

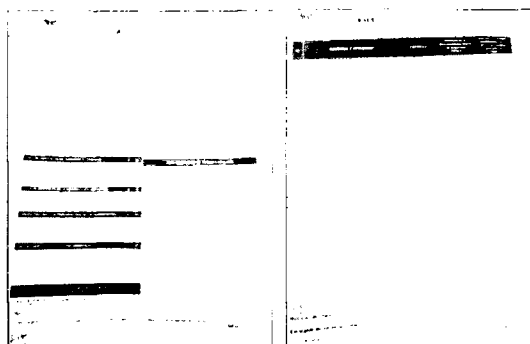


Figura 3.103: Formato de Análisis de Trabajo Seguro/Fuente: SSTMA del Consorcio Eléctrico.



Figura 3.104: Mapa de riesgos en la planta de prefabricados-Bayóvar-Tramo 2.

### 3.2.12. Gestión de Medio Ambiente

Los residuos y desperdicios producidos durante los trabajos deben ser clasificados y manejados convenientemente hasta su disposición final. Para tal efecto, deben ser colocados temporalmente en áreas acordonadas y señalizadas en recipientes adecuados y debidamente rotulados.

Durante la inspección de los equipos se debe tomar especial cuidado para verificar la inexistencia de fugas o derrames. Tener con un kit anti-derrames al pie de obra.  
[13]

Segregar los residuos PELIGROSOS de los NO PELIGROSOS, a efectos de darles el tratamiento conveniente, hasta su disposición final.

#### 3.2.12.1. Residuos No Peligrosos

Se clasificarán en función al tratamiento que se haya decidido dar a cada residuo:

- a) Reutilizar.
- b) Recuperar.
- c) Reciclar.

### 3.2.12.2. Residuos Peligrosos

Se almacenarán temporalmente en áreas aisladas, debidamente señalizadas, hasta ser entregados a empresas especializadas para su disposición final.

Adicionalmente, se debe cumplirá lo establecido por la Norma Técnica Peruana: NTP 400.050 “Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción” y por la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento, ambas vigentes. [11]



Figura 3.105: Clasificación de los residuos sólidos en la planta de prefabricados–Tramo 2.



Figura 3.106: Residuos sólidos clasificados en la planta de prefabricados–Tramo 2.

## 3.3. Procedimiento de transporte vigas tipo I y las vigas cabezales

Este subcapítulo trata sobre el transporte de vigas cabezales prefabricados y las Vigas Prefabricadas tipo I, desde la planta de prefabricados a Obra; es decir, transportar los elementos hasta los putos de izaje. Así mismo tiene por finalidad definir

el procedimiento de transporte de los elementos prefabricados mencionados del Viaducto elevado, teniendo en cuenta la seguridad en el trabajo y la contaminación del medio ambiente. Para ello en el área de despacho, todos los elementos prefabricados deberán estar terminados completamente listos para envío a obra.

### 3.3.1. Equipos Utilizados

El equipo para proceso de transporte es el siguiente:

- 2 Grúas pórticos 40 ton.
- Camión plataforma.
- Camión plataforma con semirremolque.
- 2 camionetas para escoltar en todo el tramo de transporte.
- Estrobos de acero.
- Grilletes.
- Pines de acero  $3\frac{1}{2}$ " y 5".

### 3.3.2. Cuadrilla del personal

- Un capataz de Transporte.
- Un operador de Camión plataforma con semirremolque.
- 2 Operadores de Grúas pórticos.
- 6 Riggers.
- 2 Conductores de camionetas.
- 4 Operarios de montaje.

### 3.3.3. Descripción del proceso de transporte

#### 3.3.3.1. Consideraciones

- a) Primeramente los operadores de equipos, riggers y ayudantes deberán elaborar el ATS, Lista de Verificación de equipos y materiales a emplearse durante el transporte de elementos prefabricados, de acuerdo al plan de izaje. Dichos documentos deberán estar firmados por el Capataz y el Ingeniero responsable.
- b) Para el izaje de vigas al camión plataforma con semirremolque se empleará dos grúas pórticos de 40 Ton. y para izaje de vigas cabezales al camión plataforma se empleará una grúa pórtico; para ello el stock de los elementos prefabricados deberán estar al alcance o en la línea de producción de las grúas pórticos.
- c) La maniobra deberá ser dirigido por los riggers que conozcan las señales establecidas y que estén en todo momento a la vista de los operadores. En caso de emergencia cualquier persona podrá dar la señal de parada. Los riggers son los responsables de verificar que el área de maniobras esté señalizada.



Figura 3.107: Izaje de vigas tipo I al camión plataforma con semirremolque unido a la viga.

- d) Deberá colocarse sogas en los extremos de la carga para su correcto direccionamiento y control.
- e) Es recomendable efectuar un “pulseo” de la carga antes de comenzar el izaje propiamente dicho. No se permite bajo ninguna circunstancia que personal se ubique sobre la carga al momento de ser izada, así como tampoco la permanencia de personas bajo cargas suspendidas.

- f) Se comenzará a elevar la carga solo cuando el cable de izaje esté vertical y la cuadrilla de maniobras esté alejada de la carga, fuera del área de oscilación de la misma.



Figura 3.108: Izaaje de vigas cabezales a camión plataforma para transporte.

- g) Los operadores no debe abandonar los controles de las grúas pórticos mientras la carga esté suspendida.



Figura 3.109: Camión plataforma con semirremolque unido a la viga.

- h) Cuando finalicen las maniobras deberá subir completamente la pluma.
- i) Finalmente tanto las vigas tipo I como las vigas cabezales deberán estar asegurados al camión plataforma, para que así no se tenga problemas en el transporte (evitar caída de cargas).

---

3.3. Procedimiento de transporte vigas tipo I y las vigas cabezales

---



Figura 3.110: Cruce de las avenidas con ayuda de Efectivos policiales.

- j) En todo recorrido de transporte de elementos prefabricados, el camión plataforma deberá ser ploteado con dos camionetas para evitar accidentes de tránsito.



Figura 3.111: Ploteo durante el transporte de vigas con 2 camionetas y en horario nocturno.

- k) En todos los cruces con las avenidas, deberán estar ubicados los Efectivos Policiales para ayudar al del camión plataforma con carga, y así evitar algún accidente o incidente de tránsito.



Figura 3.112: Cruce de las avenidas con ayuda de Efectivos policiales.

- l) Cuando el camión plataforma llega a obra, deberá estacionarse dentro del radio de giro de la grúa, para realizar el montaje de vigas.



Figura 3.113: Transporte de viga tipo I– Llegada a Obra.

#### 3.3.4. Gestión de la Seguridad y el Medio Ambiente en el Proceso de Transporte

Durante el izaje de elementos prefabricados al camión plataforma, se deberá tener en cuenta la matriz de peligros y responsabilidades que se indicará en el Capítulo VI, en el punto de Gestión de la Seguridad y el Medio Ambiente en el Proceso de Montaje.

Este punto define el transporte de elementos prefabricados de manera segura y sin generar la contaminación del medio ambiente. Para ello se debe definir la vía por el cual se realizará el transporte, previa autorización de las autoridades competentes.

Para el caso de estudio se ha tomado la Vía Próceres de la Independencia; lo cual es la arteria principal de San Juan de Lurigancho, por la cual se movilizan trabajadores de empresas manufactureras provenientes de los diferentes distritos de Lima, comerciantes y se transportan productos para mercados y fábricas, así mismo, en esta vía se registran 75 rutas de transporte público y tiene 12 cruces importantes con las avenidas.

### 3.3. Procedimiento de transporte vigas tipo I y las vigas cabezales

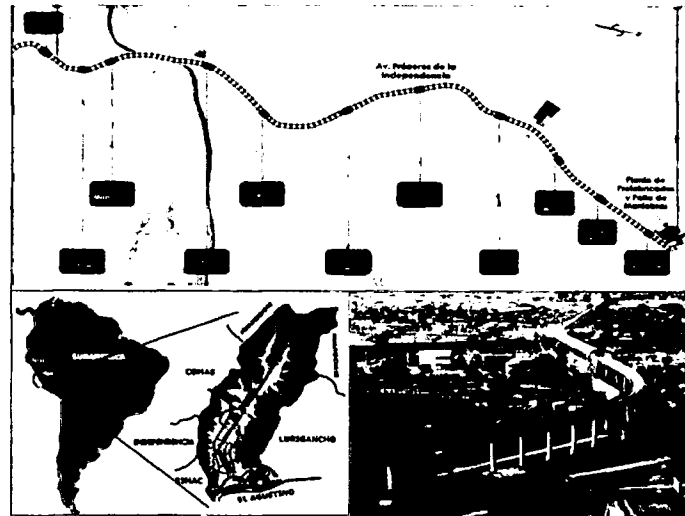


Figura 3.114: Ubicación de los distritos de influencia, y el trazo del viaducto elevado del Tramo 2 de la Línea 1

Durante la ejecución del Mega-Proyecto Metro de Lima, existieron 3 aspectos necesarios para la continuidad de trabajos:

- a) La necesidad de cerrar los carriles centrales de Próceres de la Independencia.
- b) la necesidad cerrar los cruces transversales a la avenida Próceres de la Independencia, y finalmente.
- c) la necesidad de pasar con el viaducto elevado sobre la vía Evitamiento.

#### 3.3.4.1. Impacto del proyecto sin sostenibilidad vial

¿Cómo impactaría el proyecto sin Sostenibilidad Vial?

3.3. Procedimiento de transporte vigas tipo I y las vigas cabezales



Figura 3.115: Impacto del proyecto sin sostenibilidad vial.

3.3.4.2. Solución: Minimizar los impactos en el Cierre de las Vías

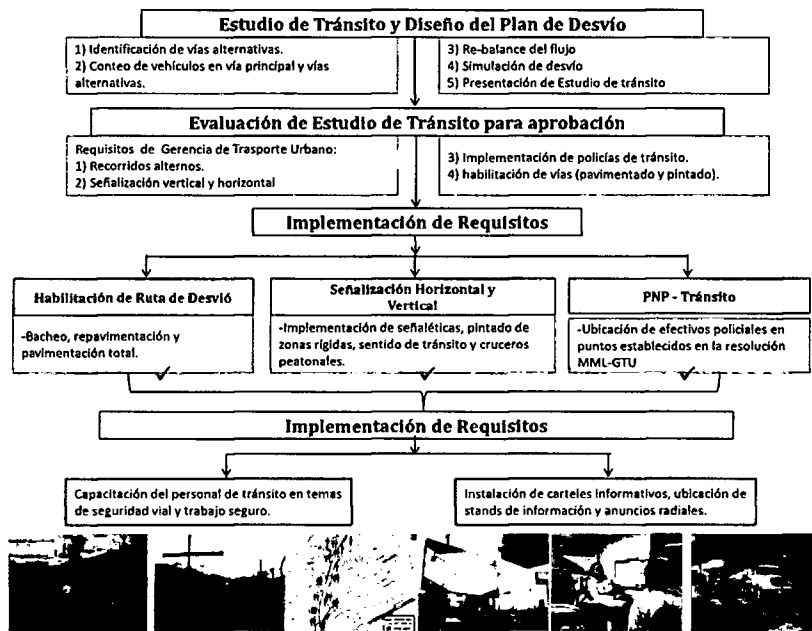


Figura 3.116: Estudio de tránsito y diseño del plan de desvío.

3.3.4.3. Identificación de las vías alternas

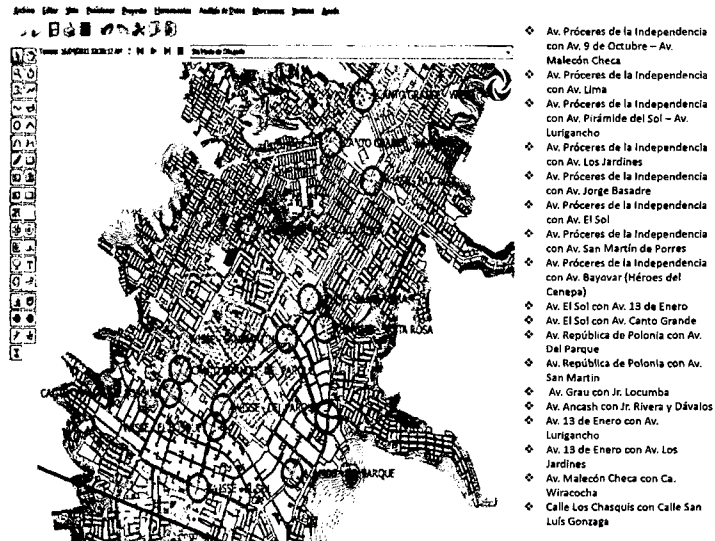


Figura 3.117: Identificación de las vías alternas/ fuente: Gerencia de interferencias y tránsito de Consorcio Tren Eléctrico.

3.3.4.4. Conteo y estadística de paso de vehículos

Aforo vehicular en la intersección de la Av. Próceres de la Independencia con Av. El Sol, para determinar el plan de desvío vehicular.

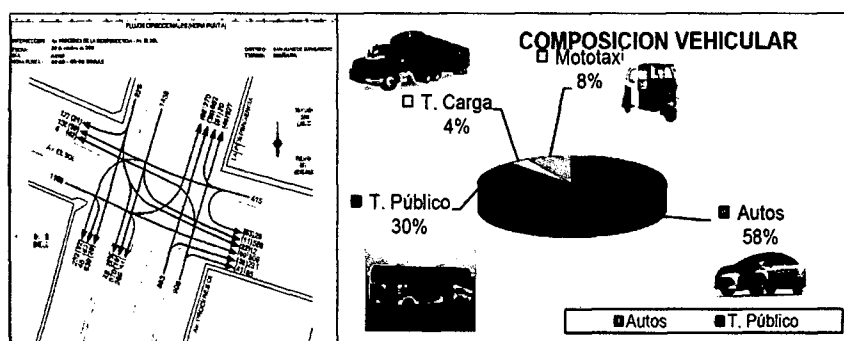


Figura 3.118: Composición vehicular de la zona afectada/fuente: Gerencia de interferencias y tránsito de Consorcio Tren Eléctrico.

3.3.4.5. Elaboración de plan de desvío vehicular

Una vez identificados las vías alternas y teniendo los datos estadísticos de paso de vehículos, se realiza el plan de desvío vehicular. Dicho plan ha sido realizado por el área de Gerencia de interferencias y tránsito de Consorcio Tren Eléctrico.



Figura 3.119: Plan de desvío vehicular en todo el tramo de construcción del Viaducto del Tren Eléctrico—Tramo 2

La propuesta ha sido evaluada por la Gerencia de Transporte Urbano de la municipalidad Metropolitana de Lima, para lo cual emiten una serie de requisitos, cuyo cumplimiento es evaluado mediante auditorías e inspecciones.

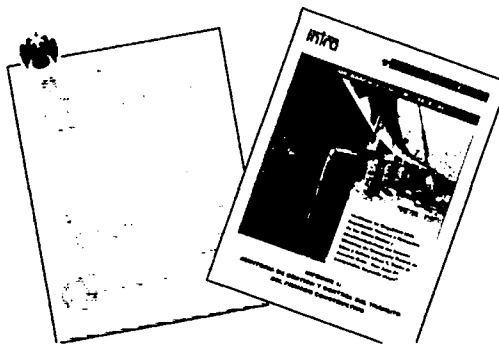


Figura 3.120: Autorización de GTU-MML (horario nocturno de 11:00 pm a 5:00 am) para transporte y izaje de vigas.

## Capítulo 4

# Caso de estudio: Aplicación de prefabricados al tren eléctrico

Este punto tiene por finalidad definir la secuencia de montaje que se debe seguir para el izaje de las vigas cabezales y de las Vigas Prefabricadas tipo I del Viaducto elevado; teniendo en cuenta el tiempo, costo, calidad, seguridad en el trabajo y la contaminación del medio ambiente.

### 4.1. Procedimiento de montaje de vigas prefabricadas tipo I –Tramo 2

#### 4.1.1. Definiciones

a) Neoprenos (300x400x86mm)

Dureza Shore A (ASTM D 2240)= $60\pm 5$ , Resistencia tracción a la ruptura (ASTM D 412)  $>17,5$  MPa; Alargamiento a la ruptura (ASTM D 412)  $>350\%$ ; Acero interno - Clase CF-24 -  $f_y = 24$  kg/mm<sup>2</sup>.

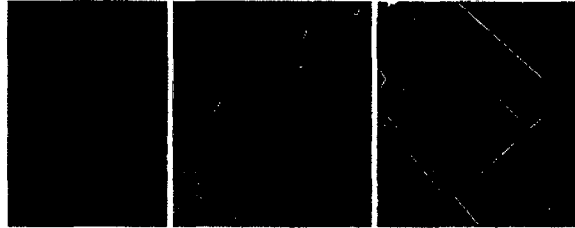


Figura 4.1: Escarificado, saturado, grouteado y colación de neopreno.

**b) Estructuras Fijación Provisional (barras dywidag)**

**Barras de Postensado:** Son barras de acero grado 150, roscado, de  $\text{Ø}32\text{mm}$ , y cumplen con lo especificado en la norma ASTM A 722-90. Se colocará provisionalmente en el ducto de izaje de las vigas, para arriostrar y dejar fijos en su posición las cuatro vigas montadas.

**c) Arriostre en X**

**Puntales de madera de sección cuadrada  $4'' \times 4''$ .**

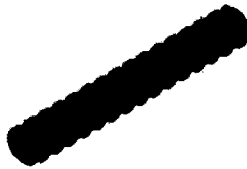


Figura 4.2: Barra de acero para postensado

#### 4.1.2. Equipos Utilizados

El equipo utilizado para el izaje de las Vigas Prefabricadas es el siguiente:

- Grúa 200 ton.
- Grúa 230 ton.
- 04 Telehandlers.
- Estrobos de acero.
- Grilletes.
- Pines de acero  $3\frac{1}{2}''$  y  $5''$ .

Se requerirá 2 grúas y 4 Telehandlers, siempre en cuando se realiza izaje de vigas en curvas y accesos restringidos. Mientras en líneas rectas y accesos libres solo se requerirá 1 grúa y 2 Telehandler.

#### 4.1.3. Cuadrilla del personal

- Un capataz de montaje
- Un operador de grúa.
- Un operador de Camión plataforma con semirremolque.
- 10 Riggers.
- 6 Operarios de montaje.
- 2 Operadores de Telehandler.
- 1 Operador de camión grúa.

#### 4.1.4. Descripción del proceso de montaje

##### 4.1.4.1. Consideraciones

- a) Antes de operar una grúa el responsable de las operaciones de izaje conjuntamente con el operador deben hacer una inspección de seguridad que incluya revisión del winche, poleas, cables, seguros, bridas, abrazaderas y en general todo el sistema elevador. No se permitirá el uso de aparejos de izaje tales como ganchos, argollas, grilletes, canastillos, etc.; fabricados con fierro de construcción.
- b) El operador deberá demostrar que está familiarizado con el equipo y comprobar antes del izado el funcionamiento de los frenos, palancas, controles y de la maquinaria en general.
- c) Deberá verificar la operatividad de la alarma de fin de carrera del gancho de la grúa y del pestillo de seguridad del mismo.

- d) El responsable de la operación de izaje utilizará las tablas de capacidad para verificar que la grúa y los aparejos tengan capacidad suficiente para izar la carga. Deberá así mismo, verificar que los estrobos tengan el diámetro adecuado para resistir la carga, así como, el buen estado de los mismos, descartando los que tengan dobleces, hilos rotos, corrosión excesiva, fallas por fatiga, etc. No se permiten estrobos hechizos. Se descartarán así mismo las fajas o eslingas que presenten costuras o hilos rotos. Se deberá controlar; así mismo, la estiba de la carga, utilizando contenedores cuando se requiera izar carga disgregada (ladrillos, paneles y similares).
- e) La grúa se posicionará en terreno firme y nivelado. Se utilizará, tacos apropiados para nivelar los apoyos del vehículo. Se deberá demarcar toda el área de influencia del radio de giro de la tornameza de la grúa con acordonamiento o conos de señalización. No se permite izar cargas si la grúa no se apoya en sus soportes hidráulicos.
- f) La maniobra de izaje deberá dirigirla una sola persona (Maniobrista) que conozca las señales establecidas y que estará en todo momento a la vista del operador. El maniobrista deberá usar chaleco y guantes reflectivos. En caso de emergencia cualquier persona podrá dar la señal de parada. Si el maniobrista no puede ser visto en todo momento por el operador, deberá implementarse comunicación por radio. El maniobrista es el responsable de verificar que el área de maniobras esté acordonada y/o señalizada.
- g) Deberá colocarse sogas en los extremos de la carga para su correcto direccionamiento y control.
- h) Es recomendable efectuar un “pulseo” de la carga antes de comenzar el izaje propiamente dicho. No se permite bajo ninguna circunstancia que personal se ubique sobre la carga al momento de ser izada, así como tampoco la permanencia de personas bajo cargas suspendidas.
- i) Es importante verificar que no haya cables eléctricos que representen un peligro para las operaciones de izaje. Si los hubiera, tomar las precauciones del caso y efectuar la puesta a tierra del equipo.

#### 4.1. Procedimiento de montaje de vigas prefabricadas tipo I – Tramo 2

- j) Se comenzará a elevar la carga solo cuando el cable de izaje esté vertical y la cuadrilla de maniobras esté alejada de la carga, fuera del área de oscilación de la misma.
- k) El operador no debe abandonar los controles de la grúa mientras la carga esté suspendida.
- l) Cuando finalicen las maniobras deberá bajar completamente la pluma.

Las grúas son elegidas de acuerdo a la capacidad de carga. Además por temas de seguridad se considera solo el 80% de la capacidad máxima. La capacidad de carga de la grúa disminuye según el radio y el ángulo de la pluma.

Cuadro 4.1: Dimensiones y pesos de las vigas.

| TRAMO   | VIGA | DIMENSIONES      | PESO       |
|---------|------|------------------|------------|
| Tramo 1 | V-1  | L=19.70m h=1.30m | 23.68 Ton. |
| Tramo 2 | V-1  | L=24.70m h=1.30m | 34.36 Ton. |

Fuente:Elaboración propia.

##### 4.1.4.2. Operación de Izaje

Los pasos a seguir para el izaje de las Vigas Prefabricadas es el siguiente:

- Posicionamiento de la Grúa
- La grúa deberá estacionarse dentro del radio de operación seguro de acuerdo a Tabla de Operación. El radio será determinado en base al peso de la viga a ser colocada.

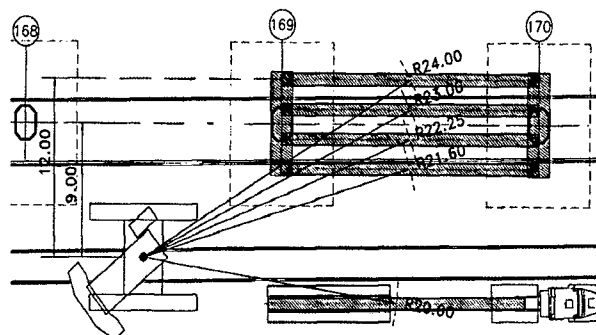


Figura 4.3: Estacionamiento de la grúa.

- Para una mejor distribución del peso, la grúa deberá ser colocada sobre una plataforma de madera.

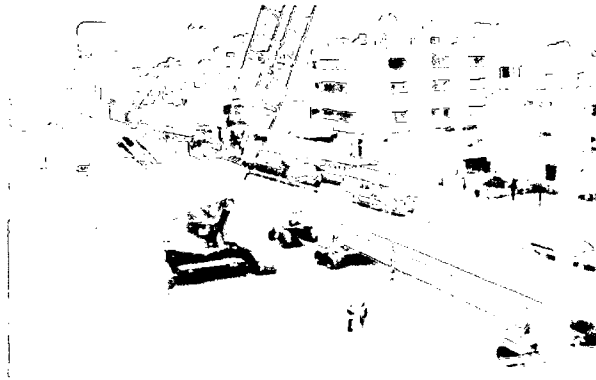


Figura 4.4: Estacionamiento de la grúa y la viga en camión plataforma dentro de radio de giro.

- Si existe líneas de media tensión la grúa deberá respetar una distancia mínima de 3.0 m (Prevención de los Peligros de la Electricidad).
- Para el izaje de las vigas se deberá utilizar estrobos de acero, grilletes y pines de acero de  $3\frac{1}{2}''$  y  $5''$ .
- Las vigas serán izadas solo cuando el capataz Rigger autorice el montaje.
- Las vigas deberán ser amarradas a cuatro vientos para mayor estabilidad durante la operación. El montaje de las vigas se debe realizar con ayuda de 02 Telehandlers.

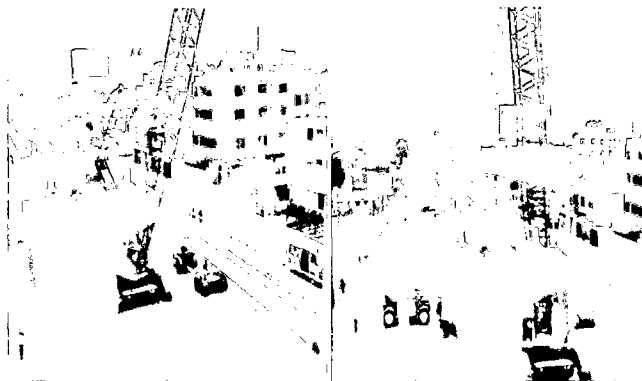


Figura 4.5: Inicio de montaje y las vigas amarradas a cuatro vientos.

---

4.1. Procedimiento de montaje de vigas prefabricadas tipo I – Tramo 2

- Una vez que la viga sea retirada del camión, la grúa posicionará la viga en los cabezales de las columnas con la ayuda de 02 Telehandler (cada telehandler debe tener 02 operadores).

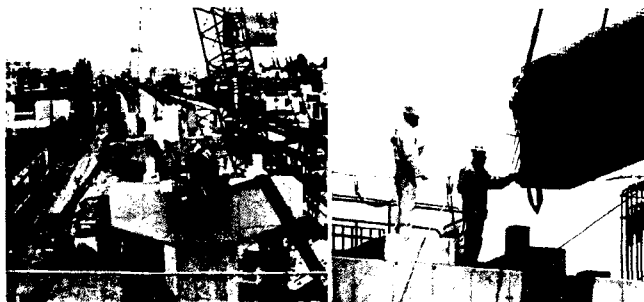


Figura 4.6: Posicionamiento de la viga en vigas cabezales .

- Las personas a cargo de los Telehandlers estarán a cargo del montaje final de las vigas y retiro de los accesorios de izaje. Las personas encargadas de la maniobra deberán tener arnés de seguridad anclados a la canastilla del equipo.
- Toda operación de montaje debe ser coordinado por el capataz Rigger y el Ingeniero Responsable de Producción de Montaje vigas (Durante la operación se debe contar con equipo de radiocomunicación).
- Todo montaje se debe realizar de acuerdo al Plan de Izaje.

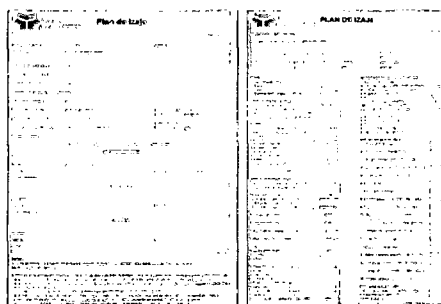


Figura 4.7: Plan de izaje/ Fuente: Área de Ingeniería.

- La secuencia de montaje será de Sur a Norte desde la vía abierta para el tránsito vehicular hacia la vía cerrada a tránsito (Orden 1, 2, 3 y 4 ), tal

como se ve en la figura.

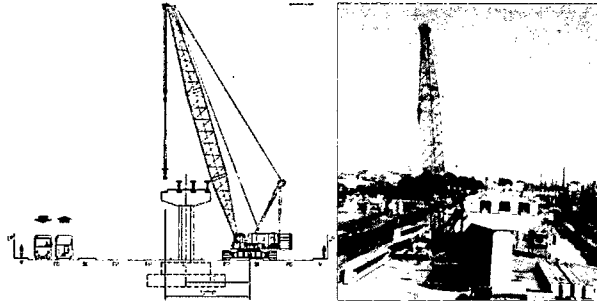


Figura 4.8: Esquema de secuencia de montaje-Elevación y montaje en Obra

- Para la ejecución de trabajos nocturnos (maniobras de izaje) se debe contar con un adecuado sistema de iluminación conformado por alumbrado público y torres luminarias.

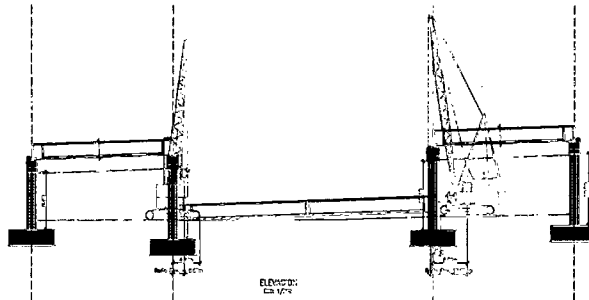


Figura 4.9: Esquema en Elevación sobre Izaje de vigas en accesos restringidos.



Figura 4.10: Montaje de vigas en horario nocturno y en accesos restringidos.

#### 4.1.4.3. Arriostre y Montaje de Vigas

Identificado el vano a asegurar se debe usar el camión grúa para izar todos los elementos de fijación. El personal subirá con ayuda del telehandler y se anclarán en los puntos definidos en el procedimiento de seguridad.

Se deben colocar dos estructuras de fijación provisional y ajustada de modo que no permitan movimiento independiente de las vigas. Usar los arriostres en “X” conformados por cuarterones de madera de 4" x4" cruzados para sujetar el interior de las vigas, estos deben estar apoyados contra las alas superiores e inferiores y calzadas a tope con cuñas de madera o caucho restringiendo casi totalmente el rango de movimiento en caso de alguna eventualidad.

Cada vano debe estar asegurado en dos puntos equidistantes de los apoyos por el sistema de fijación provisional con barras y arriostre de madera en “X”, tal como se ve en la figura.

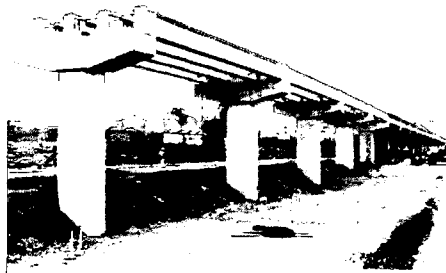


Figura 4.11: Vigas montados en las vigas cabezales prefabricados.

#### 4.1.4.4. Control de Calidad en montaje de vigas

La cuadrilla de topografía verificará el alineamiento vertical y la ubicación final de las Vigas (posicionamiento), registrando en el Protocolo de Topografía. Una vez verificado la posición correcta de las vigas se solicitará la autorización de la Supervisión para continuar con el proceso de construcción.

## 4.2. Procedimiento de montaje de Vigas Cabezales

Este punto tiene por finalidad definir la secuencia de montaje y colocación que se seguirá para el izaje de los cabezales prefabricados del Viaducto elevado y su fijación sobre las columnas respectivas.

### 4.2.1. Equipos Utilizados

El equipo utilizado para el izaje de las vigas cabezales prefabricadas es el siguiente:

- Grúa 230 ton.
- 02 Telehandler.
- Estrobos de acero.
- Grilletes.
- Pines de acero  $2\frac{1}{2}$ " y 5".
- Balancín para 60 ton.

### 4.2.2. Cuadrilla del personal

- Un capataz de montaje
- Un operador de grúa.
- Un operador de Camión plataforma.
- 6 Riggers.
- 4 Operarios de montaje.
- 2 Operadores de Telehandler.
- 1 Operador de camión grúa.

Algunos equipos se puede compartir con el montaje de vigas, como camión grúa.

### 4.2.3. Descripción del proceso de montaje

#### 4.2.3.1. Consideraciones

Seguir las consideraciones indicadas en el procedimiento de montaje de vigas prefabricadas-Tramo 2.

Cuadro 4.2: Dimensiones y pesos de las vigas cabezales.

| TRAMO   | VIGA CABEZAL | DIMENSIONES        | PESO       |
|---------|--------------|--------------------|------------|
| Tramo 1 | in-situ      | 7.50x2.10m h=1.70m | 55.50 Ton. |
| Tramo 2 | Prefabricado | 7.50x2.10m h=1.70m | 55.50 Ton. |

Fuente:Elaboración propia.

#### 4.2.3.2. Operación de Izaje

Los pasos a seguir para el izaje del cabezal Prefabricadas es el siguiente:

- a) Posicionamiento de la Grúa. La grúa deberá estacionarse dentro del radio de operación seguro de acuerdo a Tabla de Operación. El radio será determinado en base al peso del cabezal a ser colocado. Para una mejor distribución del peso, la grúa deberá ser colocada sobre una plataforma de madera. Debido a la existencia de líneas de media tensión la grúa deberá respetar una distancia mínima de 3.0 m.
- b) Para el izaje de los cabezales se utilizarán estrobos de acero, grilletes y pines de acero de  $2\frac{1}{2}$ " y 5".
- c) Previo al inicio de montaje debe estar lista la superficie en el nivel superior de la columna, la instalación de las platinas metálicas y pareja de acoples instalados con las barras de acero del cabezal.



Figura 4.12: Superficie de la columna preparada lista para montaje de la viga cabezal

- d) **El izaje del cabezal será realizado con un balancín a fin de transmitir las cargas de manera vertical al elemento.**
- e) **El cabezal será izado solo cuando el capataz Rigger autorice el montaje.**

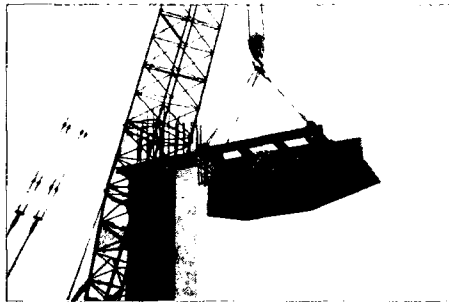


Figura 4.13: Izaje de la viga cabezal usando un balancín y amarrado a cuatro vientos.

- f) **El cabezal será amarrado a cuatro vientos para mayor estabilidad durante la operación. El montaje de lo cabezal se realizarán con 02 Telehandlers.**
- g) **Una vez que el cabezal sea retirado del camión pataforma, la grúa posicionará el cabezal en la columna.**

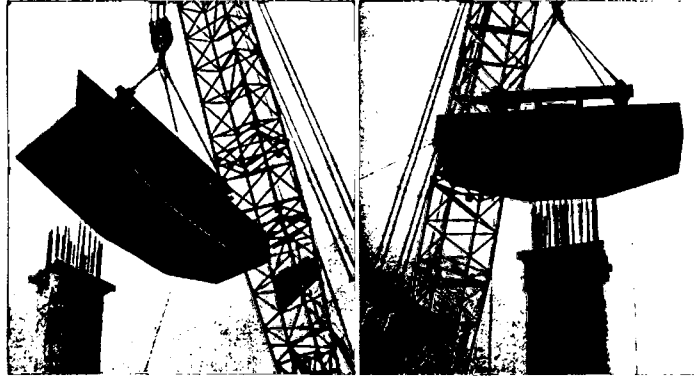


Figura 4.14: Posicionamiento del cabezal en la columna.

h) Montaje del cabezal:

- Una vez montado el cabezal en la columna, 4 operarios subirán al cabezal utilizando dos Telehandlers, quienes colocarán los aceros en los ductos de la viga cabezal.

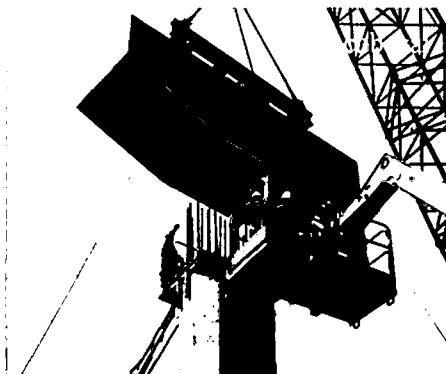


Figura 4.15: Colocación del acero en los ductos del cabezal.

- Los operarios permanecerán con sus arneses anclados en el Telehandler hasta finalizar la colocación de todo el acero, colocar la viga cabezal perfectamente en su posición y finalmente liberar la grúa, sacando todos los accesorios de montaje de la viga cabezal.
- Toda operación de montaje será coordinada por el capataz Rigger y el Responsable de Producción de Montaje.
- Durante la operación se deberá contar con equipo de radiocomunicación.

Todo montaje se realizará de acuerdo al Plan de izaje.



Figura 4.16: Viga cabezal montado en la columna.

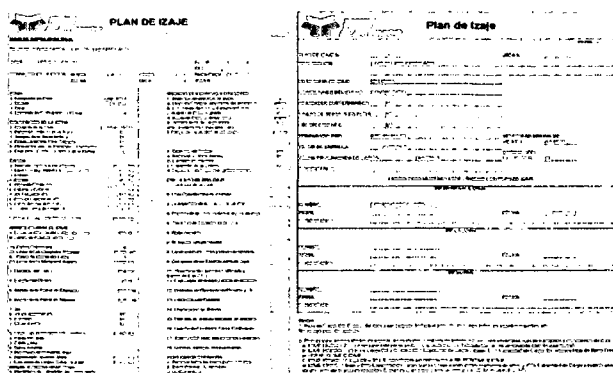


Figura 4.17: Plan de izaje de vigas cabezales

#### 4.2.3.3. Operación de colocación del cabezal prefabricado

Los pasos a seguir para la fijación del cabezal Prefabricado a la columna son los siguientes:

##### A) Personal

Para la preparación de morteros y encofrados de borde se utilizara el siguiente personal:

- 02 operadores Telehandlers
- 02 carpinteros
- 02 albañiles

- 01 ayudante

B) Equipos

- 02 Telehandlers
- 01 bomba hidráulica para inyección de grouting.

a) Previo a la operación de izaje se deberán proceder con las siguientes actividades sobre la columna del viaducto, con fines de recibir al cabezal:

- La superficie del nivel de concretado de la columna debe quedar uniforme y rugosa, en lo generar reglada.
- Colocar apoyos sobre la columna del viaducto. Estos apoyos se plantean de dimensiones 20cm x20 cm y serán asentados bajo mortero de fragua rápida (SIKAREP o similar). Los puntos de colocación de este mortero son verificados por topografía, así como la cota superior del mismo.

Para el apoyo del cabezal, el mortero deberá haber alcanzado una resistencia superior a  $75\text{kg}/\text{cm}^2$ .

El nivel superior de la platina será marcado con el área de topografía. El espesor de mortero permitirá llegar a la cota deseada.

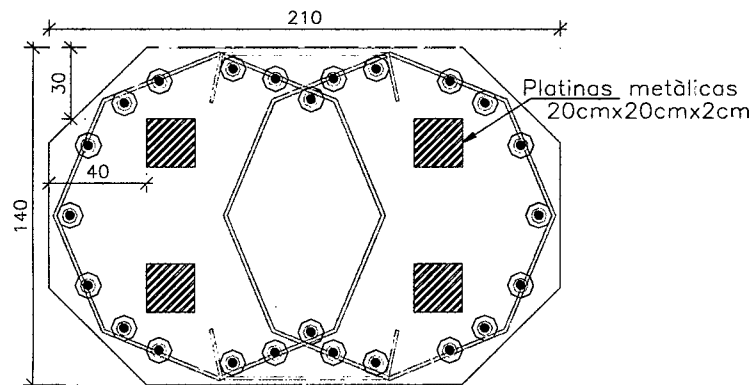


Figura 4.18: Esquema en planta de ubicación de platinas metálicas (20cmx20cmx2cm) de apoyo en la columna.

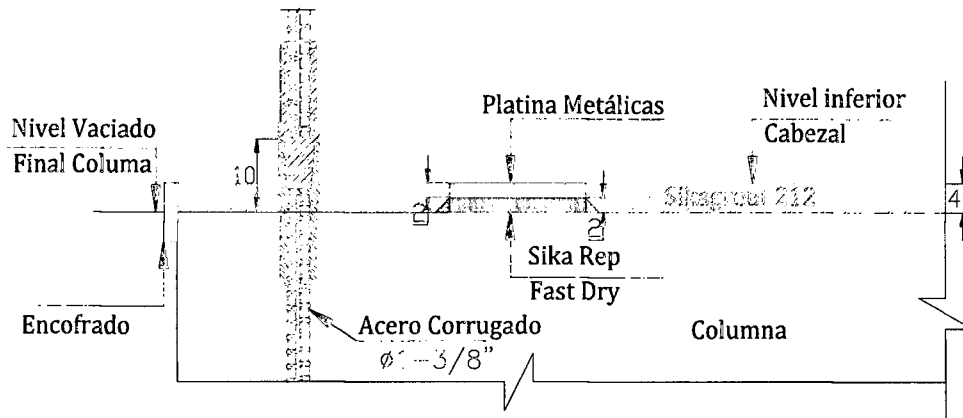


Figura 4.19: Esquema en elevación de ubicación de platinas de apoyo en la columna.

- b) Se coloca el mortero que servirá como fijación entre el cabezal y la columna (SikagROUT 212 o similar) el cabezal debe ser colocado antes de que se alcance la fragua inicial, mínimo 3 horas antes.

Antes de la colocación del SikagROUT o similar, verificar:

- Que el concreto se encuentre limpio, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa o pintura, la barra debe encontrarse libre de óxido.
  - Que el encofrado que contendrá el SikagROUT 212 para la cama, este colocado de la manera más hermética posible. El concreto debe saturarse con agua, sin que exista agua superficial en el momento de la aplicación.
  - La preparación del producto de acuerdo a las especificaciones proporcionadas por el fabricante.
- c) El cabezal prefabricado cuenta con ductos de 10cm de diámetro, estos deberán posicionarse centrados al acople de las columnas del viaducto. El izaje del cabezal será realizado con un balancín a fin de transmitir las cargas de manera vertical al elemento.

## 4.2. Procedimiento de montaje de Vigas Cabezales

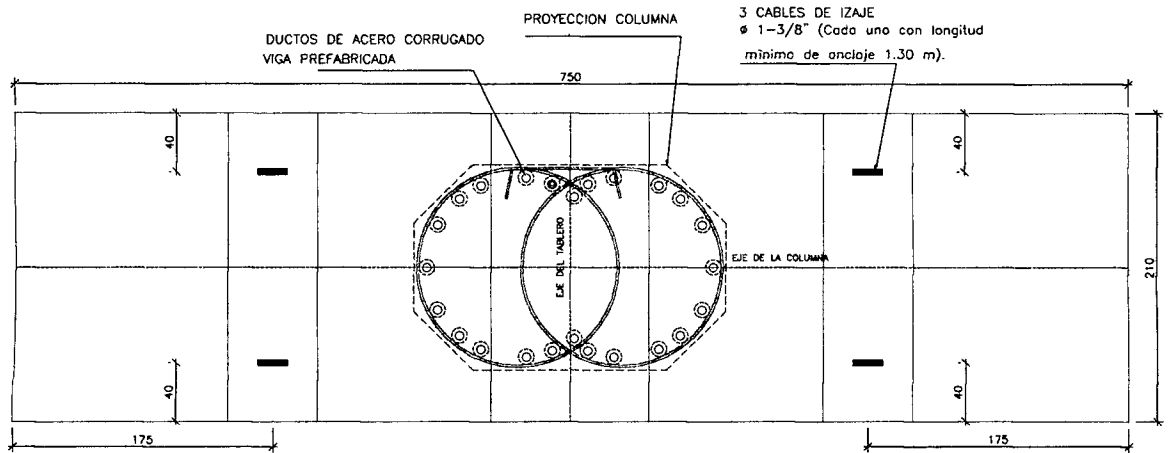


Figura 4.20: Esquema de ubicación de ductos de acero en cabezal prefabricado y puntos de izaje.

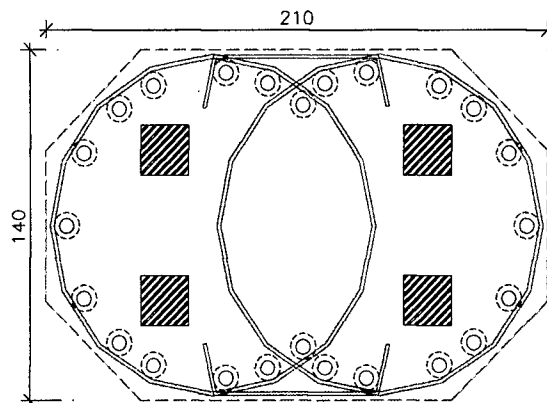


Figura 4.21: Proyección en planta de ubicación de ductos de acero en columna.

Las medidas de 19.5 y 32mm pueden variar en campo para permitir la conexión de columna-viga cabezal, el espacio mínimo para que fluya el mortero puede ser 1cm.

#### 4.2. Procedimiento de montaje de Vigas Cabezales

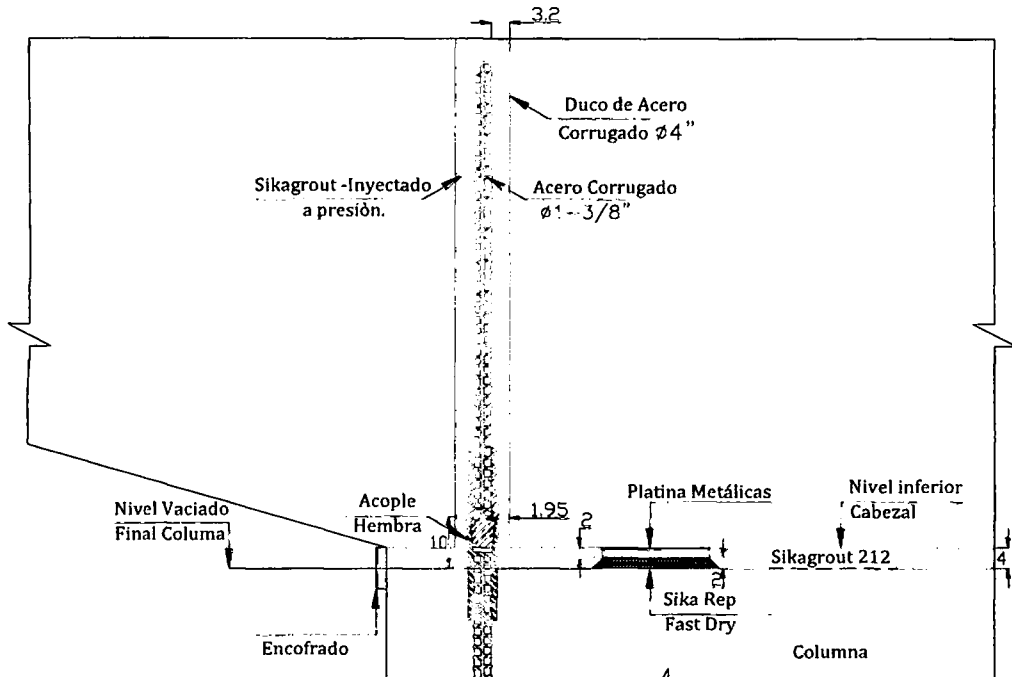


Figura 4.22: Esquema de cabezal colocado en columna y grouteado.

- d) Asentado el cabezal se procederá a colocación de la pareja de acoples y de las barras de acero en los ductos del cabezal.

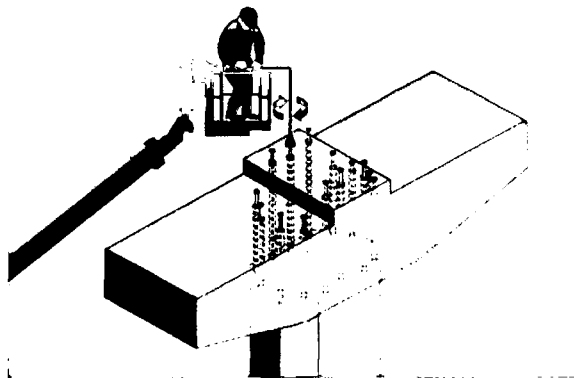


Figura 4.23: Colocación de la pareja de acoples y de las barras de acero en los ductos del cabezal.

- e) Posteriormente al montaje se procede con la fijación del acero vertical de refuerzo, la nivelación y finalmente la inyección del grout en los ductos del

cabezal, por la parte superior, haciendo uso de una bomba manual, la cual fijará la posición final del elemento y con esto se culmina con la instalación del cabezal Prefabricada.

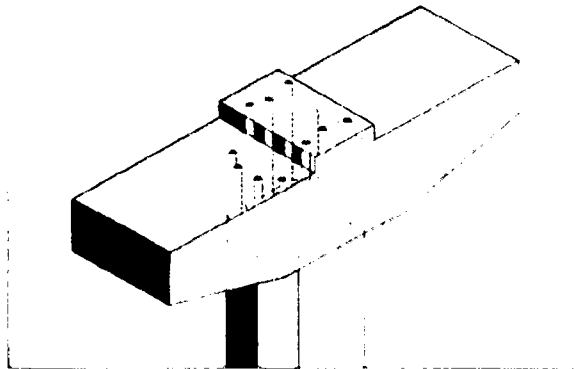


Figura 4.24: Inyección del grout en los ductos del cabezal.

#### 4.2.4. Control de Calidad en el montaje de vigas cabezales

La cuadrilla de topografía verificará el alineamiento vertical y la ubicación final de las Vigas Cabezales (posicionamiento), registrando en el Protocolo de Topografía. Una vez verificado la posición correcta de las vigas se solicitar la autorización de la Supervisión para continuar con el proceso de construcción.

### 4.3. Gestión de la Seguridad y el Medio Ambiente en el Proceso de Montaje

#### 4.3.1. Matriz de peligros

Cuadro 4.3: Matriz de peligros en el proceso de montaje.

| Peligros                              | Medidas preventivas   | Criterios de aplicación   | Responsables   |
|---------------------------------------|---|---|--|
| Caídas a nivel                        | Cada zona de trabajo debe permanecer limpia y ordenada, manteniendo los pasillos de circulación sin obstáculos, los mismos que tendrán el ancho suficiente para permitir el paso del personal en general.                                     | Se debe seguir lo dispuesto en el estándar de Seguridad SSTMA, asimismo los pasillos de circulación deberán de mantener 1,20 m de ancho como mínimo, despejados de material y herramientas.   | RP Producción, RS Producción, Capataz  |
| Caída de objetos                      | Personal de apoyo ubicado fuera del área de influencia de la carga. Señalización del área inferior con cintas de prohibición color rojo.  | De acuerdo a los radios dados por las grúas a emplear o los elementos de sujeción durante la maniobra.  | RP Producción, RS Producción y Capataz.  |
|                                       | Emplear los aparejos de izaje correctos y resistentes.  | Mediante certificación normada.   |  |
|                                       | Verificación de capacidad de carga.   | De acuerdo a lo indicado en los registros de capacidad y/o por medio de un dinamómetro para garantizar el peso real en caso se desconozca el mismo.   |  |
|                                       | Empleo de tacos de madera o separadores en el momento de depositar la carga en su posición final.   | Para todas las maniobras.   |  |
| Aplastamiento/Caída de carga          | Cuando se trabaje en altura, las herramientas deberán estar amarradas para evitar su caída.   | Todas las herramientas que deban ser manipuladas en forma continua.   | RP Producción, RP Montaje, Supervisor de izaje, Capataz de izaje, operador y rigger. |
|                                       | Inspección de dispositivos y aparejos.  | Se debe seguir lo dispuesto en el estándar de Seguridad SSTMA sobre Izaje de cargas y trabajos en altura.   |  |
| Atropellos                            | Señalizar y delimitar el área de trabajo con cinta de prohibición.<br>Operador y rigger certificados y capacitados.<br>Estabilizadores extendidos al 100%<br>Análisis Preliminar de la actividad: ATS,<br>Permiso de izaje y/o Plan de Izaje. | Los vigías deben ubicarse tanto en la parte delantera como posterior de la grúa. Ambos serán responsables de restringir el ingreso del personal hacia la zona de tránsito de la grúa.   | RP Producción, RS Producción, Capataz, Seguridad                                     |
|                                       | Restricción de ingreso a la zona de traslado mediante vigías permanentes.   | De acuerdo a los radios dados por las grúas a emplear.  | Maniobrista  |
| Colisión                              | Cierre de vías mientras dure el traslado de la grúa.  | El cierre de las vías se realizará mediante conos de seguridad y vigías para el control de ello.  | Capataz / Seguridad  |
|                                       | Límites de velocidad controlados.   | Respetar los 20 kmh al interior del área de trabajo   | Conductor Operario   |
| Ruido                                 | Uso de tapones auditivos  | Permanentemente durante el traslado de la grúa hasta su posición final.   | Capataz / Personal implicado   |
| Volcaduras                            | Empleo de conductores con experiencia y capacitación sustentada.  | Licencia de manejo categoría A-2 (mínimo) y cursos de manejo defensivo dictado en obra.   | Conductor Operario   |
|                                       | Límites de velocidad controlados.   | Respetar los 20 kmh máximos permitidos en zonas de trabajo y 30 kmh en zonas de tránsito general.   |  |
| Potencial explosión/Incendio          | Mantenimiento preventivo a todas las unidades móviles.  | De esta manera se minimiza la posibilidad de cortocircuitos, fugas de combustible y demás. Los programas serán mensuales.   | Jefe de equipos/Operadores   |
| Potencial derrame combustible/Aceites | El programa de mantenimiento de equipos a combustión deberá considerar las cantidades estimadas de sobrantes de aceite y afines para ver lo referente a su almacenamiento y entrega a una institución reconocida.                             | A lo previsto almacenar según el programa de mantenimiento, se le aumentará un 20% en aras de mantener un margen para los residuos a tratar. La empresa a entregar los mismos será una Empresa reconocida y que extienda el certificado de disposición final. | Jefe de equipos/Operadores   |

Fuente:Elaboración propia.

## Capítulo 5

# Resultados y Discusión de la Investigación

### 5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

Con la aplicación de Prefabricados de concreto y el Modelo de proceso constructivo en la Construcción del Viaducto Elevado del Tren Eléctrico de Lima, bajo los estándares de Calidad, Seguridad y salud en el trabajo y el Medio Ambiente, se ha llegado a los siguientes resultados:

#### 5.1.1. Reducción de riesgos en la construcción de vigas cabezales

La prefabricación de estructuras de concreto reduce notablemente los peligros y riesgos asociados a las estructuras construidas en obra, minimizando el tiempo de exposición del personal a los trabajos en altura. Tal como se muestra en la figura la construcción de vigas cabezales “in-situ” exponía a los trabajadores a los peligros, riesgos y mayor tiempo de permanencia en la construcción del Tramo 1.

## 5.1. Resultados de aplicación del uso de concreto y del modelo de proceso constructivo

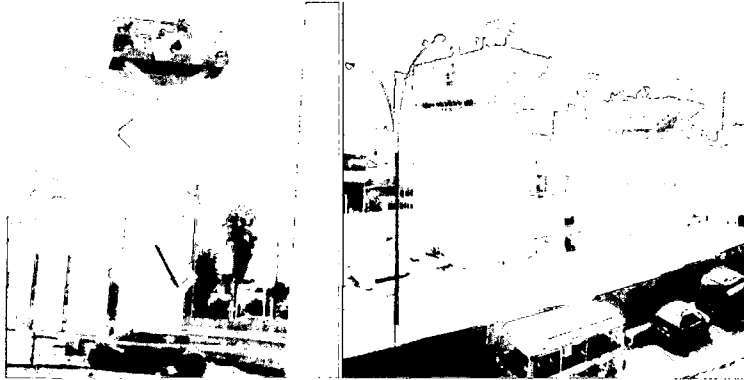


Figura 5.1: Izquierda: Viga cabezal prefabricado y montado en la columna. Derecha: Construcción de Viga Cabezal “in-situ”.

### 5.1.2. Comparación de Tiempo de “Viga Cabezal In-Situ” vs “Viga Cabezal Prefabricado”

El tiempo de ejecución de una Viga Cabezal “in-situ” es 16 días según el “tren de actividades” del proceso hasta la finalización del grout. Las Vigas Cabezales Prefabricados, sólo toman 3 días en su ejecución, ya que dichos elementos sólo requieren de la etapa de preparación, montaje y grout.

Cuadro 5.1: Comparación de tiempo de ejecución de Viga cabezal “in-situ” vs “Viga cabezal prefabricado”.

|                            | Viga Cabezal “In-Situ”   | Viga Cabezal Prefabricado   |
|----------------------------|--|---|
| <b>Tiempo de ejecución</b> | 16 días  | 3 días  |
| <b>Fuente</b>              | Tren de actividades  | Acompañamiento de obra  |
| <b>Incluye</b>             | Armado de andamio, apuntalamiento, encofrado, armado de acero, vaciado de concreto, desencofrado y traslado de andamio | Montaje de cabezal, colocación de barras de acero con acoples en los ductos e inyección de lechada. |
| <b>Requisitos</b>          | Columna a nivel de relleno.  | Columna a nivel de relleno.   |

Fuente:Elaboración propia.

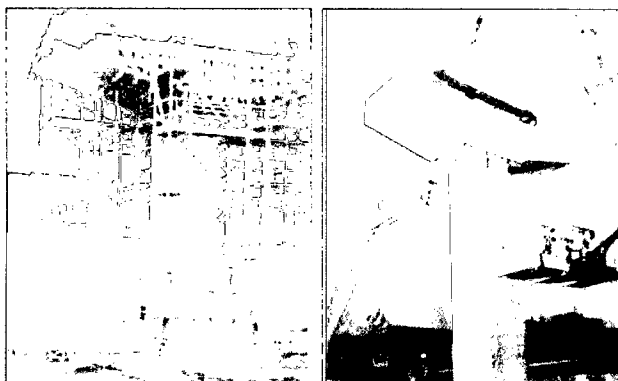


Figura 5.2: Izquierda:Viga cabezal “in-situ”. Derecha: Construcción con Viga prefabricado.

### 5.1.3. Comparación de Costo de “Viga Cabezal In-Situ” vs “Viga Cabezal Prefabricado”

Cuadro 5.2: Comparación de costos de ejecución de Viga cabezal “in-situ” vs “Viga cabezal prefabricado”.

| Viga Cabezal “In-Situ” |                    | Viga Cabezal Prefabricado |                    |
|------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| Acero                  | \$ 12029.14        | Fabricación               | \$ 13892.37        |
| Encofrado              | \$ 7939.39         | Transporte y montaje      | \$ 5959.99         |
| Concreto               | \$ 3705.69         |                           |                    |
| <b>Total</b>           | <b>\$ 23674.22</b> | <b>Total</b>              | <b>\$ 19852.36</b> |

Fuente:Área de Costos y Presupuestos -Consortio Tren Eléctrico.

$$\frac{\text{Costo de viga cabezal prefabricado}}{\text{Costo de viga cabezal "in - situ"}} = 84\%$$

De la comparación de costos en la construcción de vigas cabezales, podemos concluir que el costo de las vigas cabezales prefabricadas requiere solo el 84% del costo de las vigas construidas “in-situ”.

### 5.1.4. Comparación de Calidad de las Vigas Cabezales entre Prefabricado y Construido “in-situ”

La diferencia en estándares de calidad entre la viga prefabricada y construido “in-situ”, es bastante notorio tal como se puede apreciar en la figura que muestra a continuación.

5.1. Resultados de aplicación del uso de concreto y del modelo de proceso constructivo



Figura 5.3: Izquierda: Viga cabezal prefabricado. Derecha: Viga Cabezal “in-situ”.

Tal como se planteó en la hipótesis, que con el empleo de elementos prefabricados se logra obtener estructuras con altos estándares de calidad, competitivo y se logra la satisfacción del cliente; cumplimiento las dos restricciones muy complicados del proyecto.

5.1.5. Comparación de Costos de fabricación por metro cúbico

5.1.5.1. Comparación de Costos por metro cúbico de los Elementos Prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1

Resultado de la optimización de procesos en el Tramo 2 con respecto al Tramo 1, se logró obtener reducción en el costo unitario de los elementos prefabricados, conforme al siguiente cuadro:

Cuadro 5.3: Comparación de costos de por metro cubico de los elementos prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1.

| Estructura Prefabricada       | TRAMO 1           |                              | TRAMO 2           |                              |
|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
|                               | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$/m <sup>3</sup> ) | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$/m <sup>3</sup> ) |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m     | 1455              | 599.02                       | 1144              | 267.46                       |
| Vigas Pretensadas H=1.8 m     | 374               | 599.02                       | 774               | 267.46                       |
| Vigas Cabezales prefabricadas | 0                 | 1028.52                      | 140               | 862.48                       |
| Prelosas                      | 21559             | 552.00                       | 27225             | 308.00                       |
| Bordes típicos                | 8568              | 545.00                       | 9237              | 284.35                       |

Fuente: Área de Costos y Presupuestos -Consortio Tren Eléctrico.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

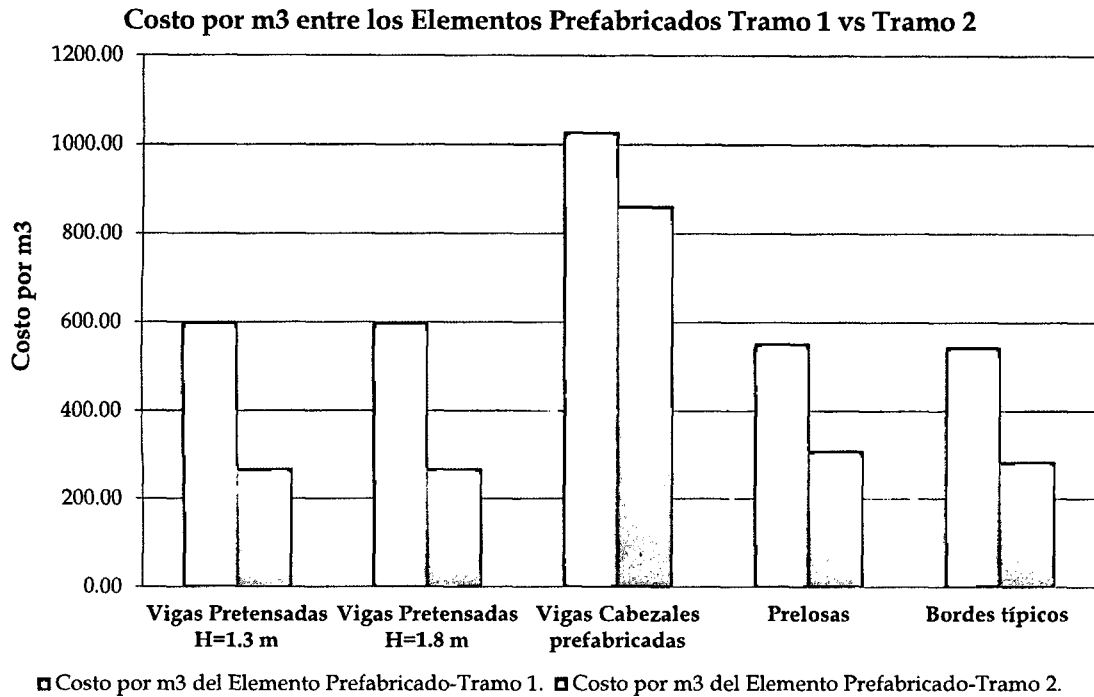


Figura 5.4: Comparación de costos por metro cubico de los elementos prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1. Fuente:Elaboración propia.

5.1.5.2. Comparación de Costos por elemento prefabricado entre el Tramo 2 y Tramo 1

Cuadro 5.4: Comparación de costos por elementos prefabricados entre el Tramo 2 y Tramo 1.

| Estructura Prefabricada   | TRAMO 1           |              | TRAMO 2           |              |
|---|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|   | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$) | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$) |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m, Tramo 1 L=19.70 m y Tramo 2 L=24.70 m. | 1                 | 5766.42      | 1                 | 3829.65      |
| Vigas Pretensadas H=1.8 m, L=35 m                                 | 1                 | 14355.90     | 1                 | 6409.85      |
| Vigas Cabezales prefabricadas                                     | in-situ           | 23719.72     | 1                 | 19890.51     |
| Prelosas  | 1                 | 138.54       | 1                 | 65.08        |
| Bordes típicos  | 1                 | 337.36       | 1                 | 176.01       |

Fuente:Elaboración propia.

Vale aclarar que el costo de la viga cabezal en el Tramo 2, incluye el costo de

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

fabricación, transporte y montaje.

5.1.5.3. Comparación de Costos de fabricación para un módulo de 100 m. de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1

Este costo es sin considerar la construcción de losa “in-situ” (encima de las vigas) y sin considerar el costo de una zapata y de una columna por demás, que se genera por emplear vigas de longitud L=19.70 m. en un módulo de 100 m de viaducto elevado típico - Tramo 1. Lo cual se analizara profundamente en Discusión de Resultados.

Cuadro 5.5: Comparación de costos de fabricación para un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1.

| Estructura Prefabricada   | TRAMO 1           |              | TRAMO 2           |              |
|---|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|   | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$) | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$) |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m, Tramo 1 L=19.70 m y Tramo 2 L=24.70 m. | 20                | 115328.36    | 16                | 61274.40     |
| Vigas Cabezales prefabricadas                                     | 6 in-situ         | 142318.31    | 5                 | 99452.53     |
| Prelosas  | 200               | 27707.75     | 200               | 13015.83     |
| Bordes típicos  | 76                | 25639.31     | 76                | 13377.13     |
| Total   | US\$              | 310993.73    | US\$              | 187119.89    |

Fuente:Elaboración propia.

$$\frac{\text{Costo de fabricacion para un modulo de 100 m - Tramo 2}}{\text{Costo de fabricacion para un modulo de 100 m - Tramo 1}} = 60\%$$

De la comparación de costos en la construcción de un módulo típico de 100 m., podemos concluir que el monto empleado en el Tramo 2 representa el 60% del monto invertido en el tramo 1.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

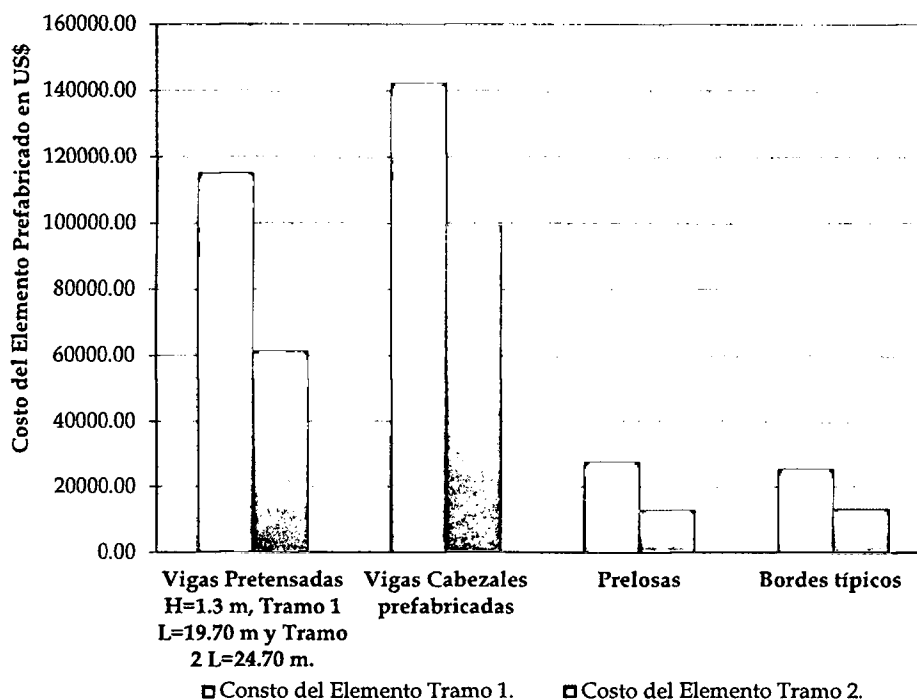


Figura 5.5: Comparación de Costos de fabricación para un módulo de 100 m. de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. Fuente:Elaboración propia.

5.1.5.4. Comparación de costos de fabricación para un módulo típico de 100 m. de viaducto elevado entre el presupuesto contractual y costo real en la construcción del tramo 2

$$\frac{\text{Costo de un modulo de 100 m} - \text{Tramo 2}}{\text{Presupuesto contractual de un mdulo de 100m} - \text{Tramo 2}} = 46\%$$

De la comparación de costos entre el presupuesto contractual y real en la construcción de un módulo típico de 100 m de viaducto elevado, podemos concluir que el costo real empleado en el Tramo 2 representa el 46% del presupuesto contractual.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

Cuadro 5.6: Comparación de costos de fabricación entre el presupuesto contractual y costo real-Tramo 2.

| Estructura Prefabricada                          | Presupuesto Contractual<br>Tramo 2 |                  | Costo Real<br>Tramo 2 |                  |
|--|------------------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
|  | Cantidad<br>(Unidad)               | Costo<br>(US\$)  | Cantidad<br>(Unidad)  | Costo<br>(US\$)  |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m-<br>Tramo 2 L=24.70 m. | 20                                 | 207204.84        | 16                    | 61274.40         |
| Vigas Cabezales prefabricadas                    | 5 (in-situ)                        | 118598.59        | 5                     | 99452.53         |
| Prelosas   | 200                                | 48998.04         | 200                   | 13015.83         |
| Bordes típicos                                   | 76                                 | 33808.14         | 76                    | 13377.13         |
| <b>Total</b>                                     | <b>US\$</b>                        | <b>408609.61</b> | <b>US\$</b>           | <b>187119.89</b> |

Fuente:Elaboración propia.

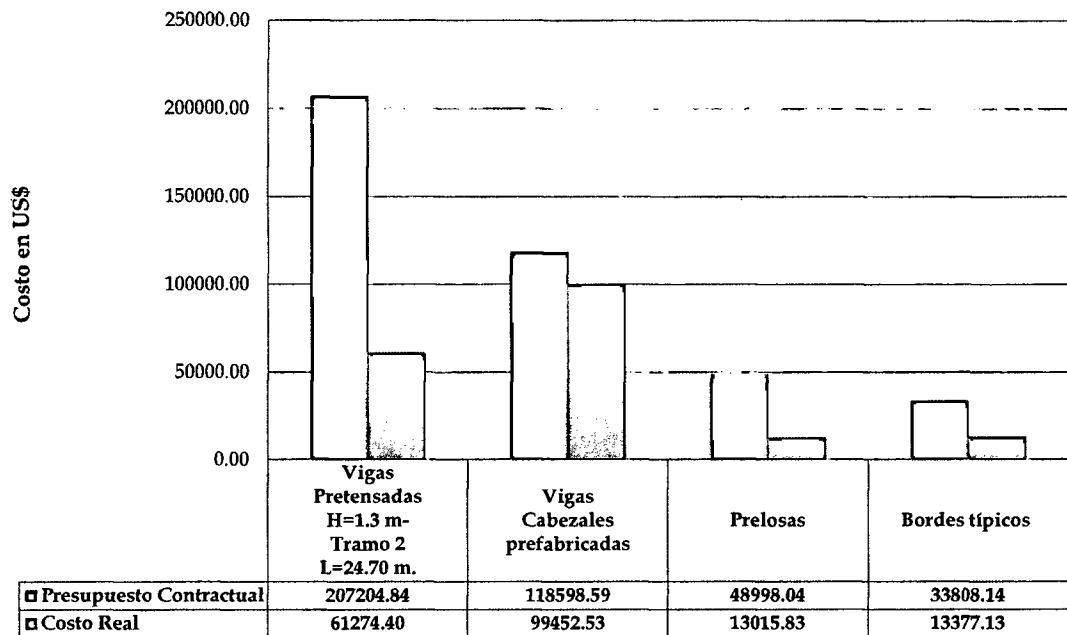


Figura 5.6: Comparación del presupuesto contractual con costo real-Módulo 100 m-Tramo 2.

Fuente:Elaboración propia.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

**5.1.6. Comparación de costos de transporte y montaje**

**5.1.6.1. Comparación de costos de transporte y montaje por metro cubico del elemento prefabricado entre Tramo 2 y Tramo 1**

En el siguiente cuadro se muestra claramente la comparación de costos de transporte y montaje por metro cúbico del elemento prefabricado.

Cuadro 5.7: Comparación de costos de transporte y montaje por metro cúbico del elemento prefabricado

| Estructura Prefabricada       | TRAMO 1           |                              | TRAMO 2           |                              |
|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
|                               | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$/m <sup>3</sup> ) | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$/m <sup>3</sup> ) |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m     | 1455              | 166.39                       | 1144              | 115.54                       |
| Vigas Pretensadas H=1.8 m     | 374               | 166.39                       | 774               | 115.54                       |
| Vigas Cabezales prefabricadas | 0 (in-situ)       | 1028.52                      | 140               | 258.43                       |
| Prelosas                      | 21559             | 56.85                        | 27225             | 56.26                        |
| Bordes típicos                | 8568              | 147.28                       | 9237              | 140.78                       |

Fuente: Área de Costos y Presupuestos -Consortio Tren Eléctrico.

**5.1.6.2. Comparación de Costos de transporte y montaje por elemento prefabricado entre el Tramo 2 y Tramo 1**

En el siguiente cuadro se muestra claramente la comparación de costos de transporte y montaje por cada elemento prefabricado.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

Cuadro 5.8: Comparación de costos de transporte y montaje por elemento prefabricado.

| Estructura Prefabricada   | TRAMO 1           |              | TRAMO 2           |              |
|---|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|   | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$) | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$) |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m, Tramo 1 L=19.70 m y Tramo 2 L=24.70 m. | 1                 | 1601.74      | 1                 | 1654.37      |
| Vigas Pretensadas H=1.8 m, L=35 m                                 | 1                 | 3987.64      | 1                 | 2768.99      |
| Vigas Cabezales prefabricadas                                     | in-situ           | 23719.72     | 1                 | 5959.98      |
| Prelosas  | 1                 | 14.27        | 1                 | 11.89        |
| Bordes típicos  | 1                 | 91.17        | 1                 | 87.14        |

Fuente:Elaboración propia.

Cuadro 5.9: Comparación de costos de transporte y montaje de elementos para un módulo de 100m.

| Estructura Prefabricada   | TRAMO 1           |                  | TRAMO 2           |                 |
|---|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|   | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$)     | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$)    |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m, Tramo 1 L=19.70 m y Tramo 2 L=24.70 m. | 20                | 32034.80         | 16                | 26469.92        |
| Vigas Cabezales prefabricadas                                     | 6 in-situ         | 142318.31        | 5                 | 29799.90        |
| Prelosas  | 200               | 2853.60          | 200               | 2377.50         |
| Bordes típicos  | 76                | 6928.73          | 76                | 6622.94         |
| <b>Total</b>  | <b>US\$</b>       | <b>184135.44</b> | <b>US\$</b>       | <b>65270.26</b> |

Fuente:Elaboración propia.

5.1.6.3. Comparación de Costos de transporte y montaje para un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1

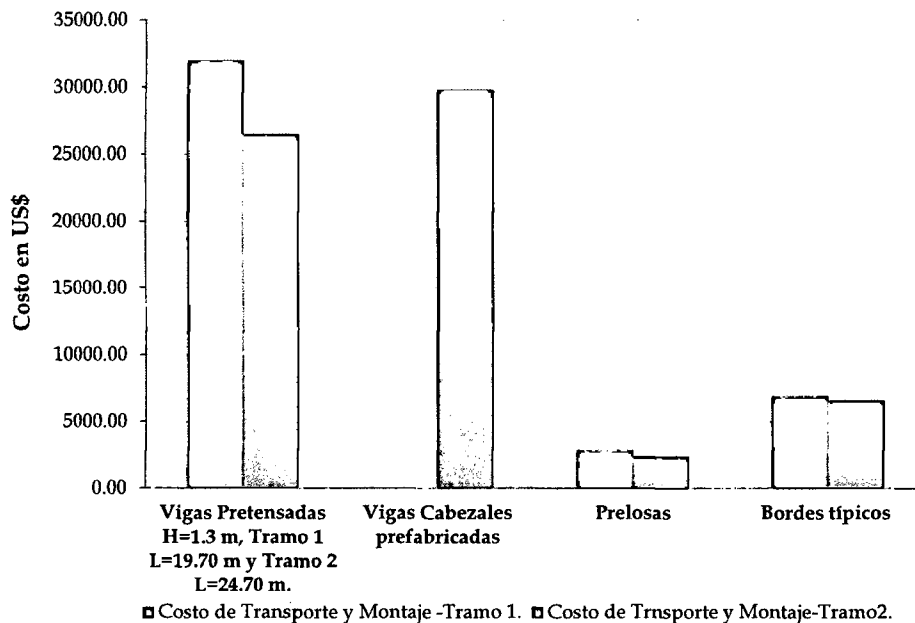


Figura 5.7: Comparación de Costos de transporte y montaje para un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. Fuente:Elaboración propia.

$$\frac{\text{Costo de transporte y montaje para un modulo de 100 m - Tramo 2}}{\text{Costo de transporte y montaje para un modulo de 100 m - Tramo 1}} = 85\%$$

De la comparación de costos de transporte de elementos prefabricados para la construcción de un módulo típico de 100 m, podemos concluir que el monto empleado en el Tramo 2 representa el 85% del monto invertido en el tramo 1.

5.1.7. Comparación de costo total de la construcción de un módulo de 100m de viaducto elevado entre Tramo 2 y Tramo 1

Esta comparación de costos incluye la fabricación, transporte y montaje de los elementos prefabricados.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

Cuadro 5.10: Comparación de costo total de la construcción de un módulo de 100 m.

| Estructura Prefabricada                       | Costo Tramo 1     |                  | Costo Tramo 2     |                  |
|---|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|   | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$)     | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$)     |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m- Tramo 2 L=24.70 m. | 20                | 166300.26        | 16                | 104095.00        |
| Vigas Cabezales prefabricadas                 | 6 (in-situ)       | 142318.31        | 5                 | 99452.53         |
| Prelosas                                      | 200               | 33046.51         | 200               | 17474.18         |
| Bordes típicos                                | 76                | 38693.25         | 76                | 25853.36         |
| <b>Total</b>                                  | <b>US\$</b>       | <b>380358.32</b> | <b>US\$</b>       | <b>246875.07</b> |

Fuente:Elaboración propia.

$$\frac{\text{Costo total de construcción de un módulo de 100 m – Tramo 2}}{\text{Costo total de construcción de un módulo de 100 m – Tramo 1}} = 65\%$$

De la comparación de costo total de la construcción de un módulo típico de 100 m, podemos concluir que el monto empleado en el Tramo 2 representa el 65% del monto invertido en el tramo 1.

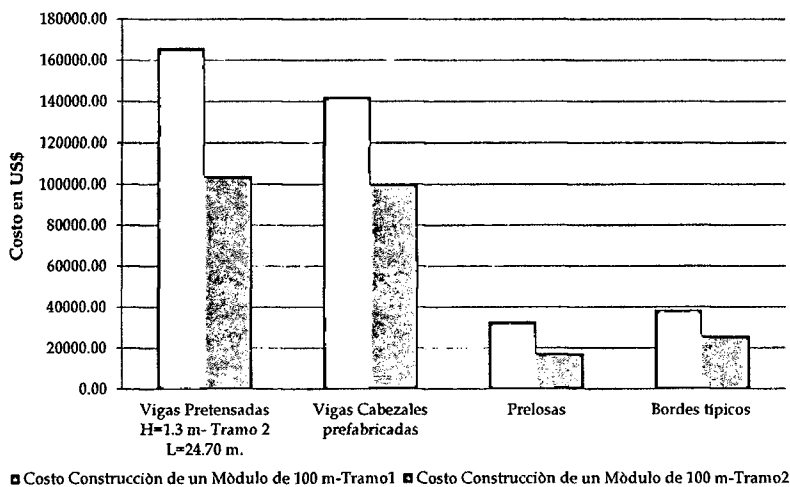


Figura 5.8: Comparación de Costo total de la construcción de un módulo de 100m de viaducto elevado típico entre Tramo 2 y Tramo 1. Fuente:Elaboración propia.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

5.1.8. Comparación del presupuesto contractual con costo real en la construcción del de un módulo típico de 100 m. de viaducto elevado - tramo 2

Esta comparación de costos incluye la fabricación, transporte y montaje de los elementos prefabricados en el Tramo 2.

Cuadro 5.11: Comparación del presupuesto contractual con costo real para construcción de un modulo de 100 m-Tramo 2.

| Estructura Prefabricada                      | Presupuesto Contractual |                  | Costo Real        |                  |
|--|-------------------------|------------------|-------------------|------------------|
|  | Tramo 2                 |                  | Tramo 2           |                  |
|  | Cantidad (Unidad)       | Costo (US\$)     | Cantidad (Unidad) | Costo (US\$)     |
| Vigas Pretensadas H=1.3 m-Tramo 2 L=24.70 m. | 20                      | 239239.64        | 16                | 104095.00        |
| Vigas Cabezales prefabricadas                | 5 (in-situ)             | 118598.59        | 5                 | 99452.53         |
| Prelosas                                     | 200                     | 51851.64         | 200               | 17474.18         |
| Bordes típicos                               | 76                      | 40736.87         | 76                | 25853.36         |
| <b>Total</b>                                 | <b>US\$</b>             | <b>450426.74</b> | <b>US\$</b>       | <b>246875.07</b> |

Fuente:Elaboración propia.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

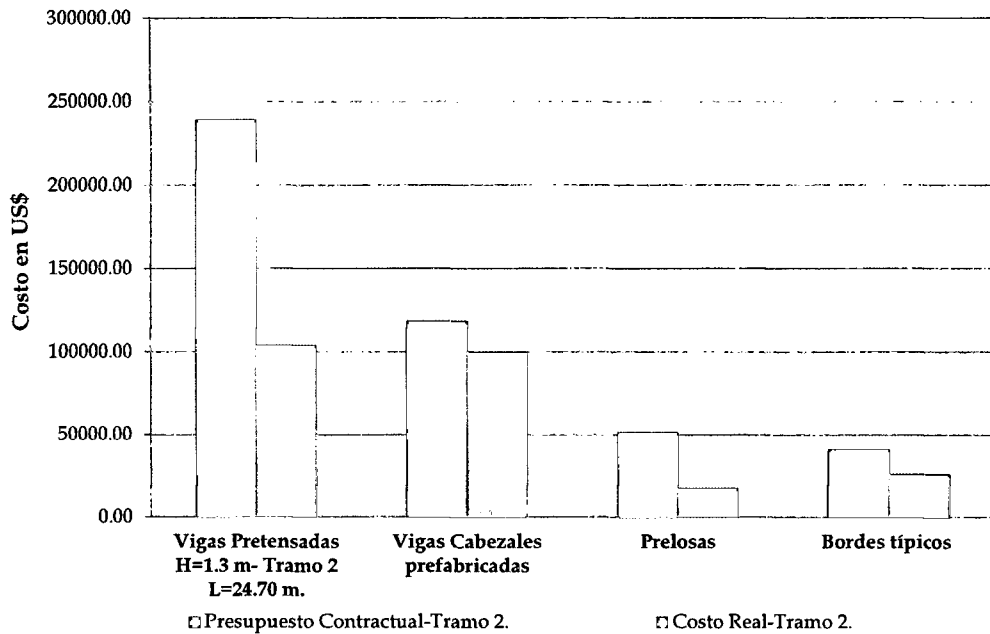


Figura 5.9: Comparación del presupuesto contractual con costo real de la construcción de un módulo típico de 100 m-Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

$$\frac{\text{Costo real de construcción de un módulo de 100 m – Tramo 2}}{\text{Presupuesto contractual para construcción de un módulo de 100 m – Tramo 2}} = 55\%$$

De la comparación del presupuesto contractual con costo real en la construcción de un módulo típico de 100 m, se concluye que el monto empleado representa el 55% del presupuesto contractual asignado-Tramo 2.

5.1.9. Comparación sobre la gestión de la Seguridad y medio ambiente entre Tramo 2 y Tramo 1

5.1.9.1. Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

El 18 de marzo del 2011 el Consorcio Tren Eléctrico de Lima sufrió la pérdida de un colaborador que realizaba actividades en el viaducto elevado. Este tipo de hechos afecta directamente en el costo, tiempo, seguridad y medio ambiente en la industria de la construcción; pues el compromiso de todos los profesionales no sólo es con el cliente, sino también con la vida y el bienestar de cada uno de

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

colaboradores o trabajadores.

Cuadro 5.12: Comparación de accidentes fatales ocurridos entre el Tramo 1 y Tramo 2.

| Tipo de Accidentes                  | TRAMO 1 | TRAMO 2 |
|-------------------------------------|---------|---------|
| Accidentes fatales (pèdida de vida) | 1       | 0       |

Fuente: Área de Seguridad y Salud en el Trabajo -Consortio Tren Eléctrico.

Con los datos estadísticos recopilados mediante Cualimetría (herramienta de observación y mejora continua) y encuestas por el Área de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo-Consortio Tren Eléctrico; teniendo en cuenta los procedimientos de trabajo seguro, normas y reglamentos vigentes, formatos de seguridad, el compromiso de los colaboradores y bajo la filosofía de la Seguridad Basada en la Conducta, se ha obtenido los siguientes resultados:

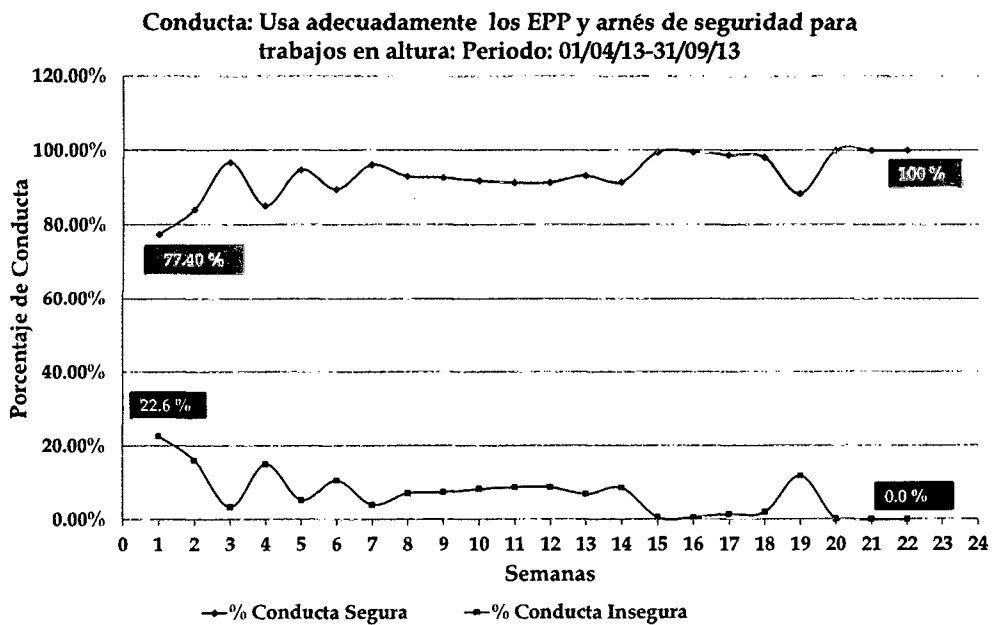


Figura 5.10: Conducta sobre uso adecuado de EPP y arnés de seguridad en trabajos en altura-Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

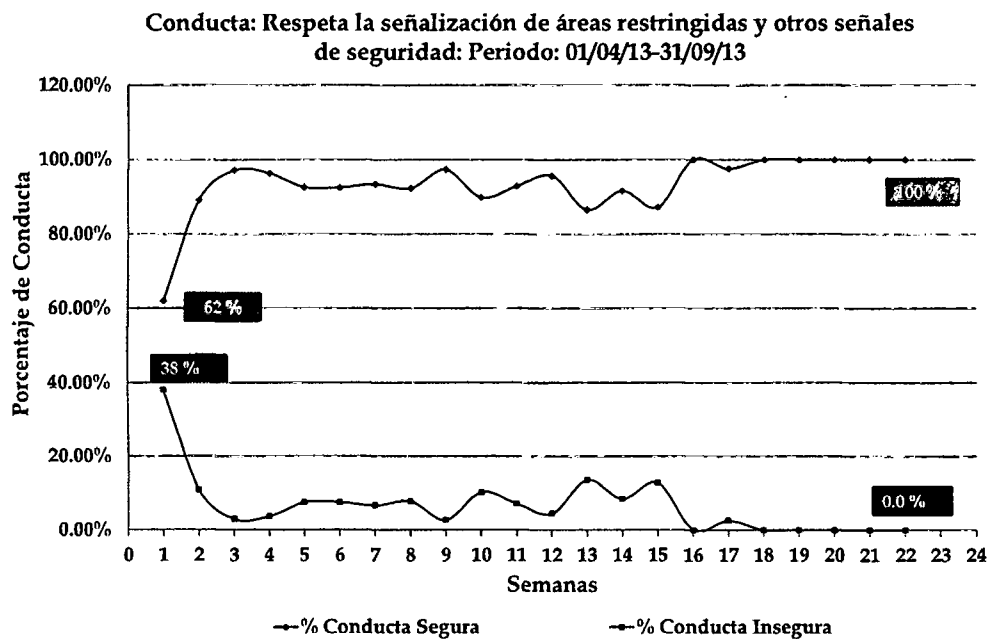


Figura 5.11: Conducta sobre respeto de señales de seguridad-Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

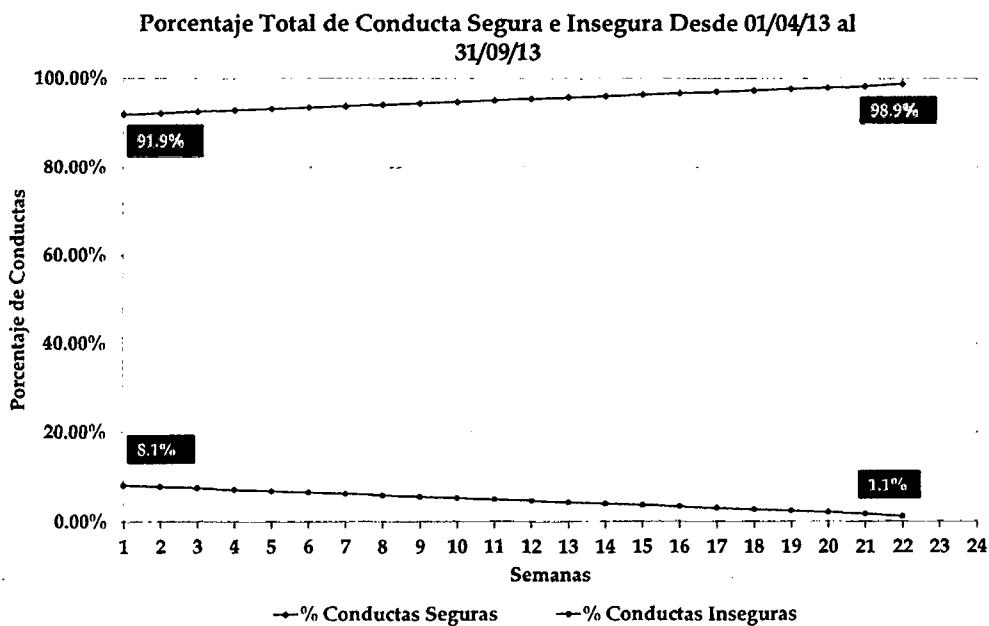


Figura 5.12: Porcentaje total de conducta segura e insegura en aplicación de seguridad y salud en el trabajo-Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

### 5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

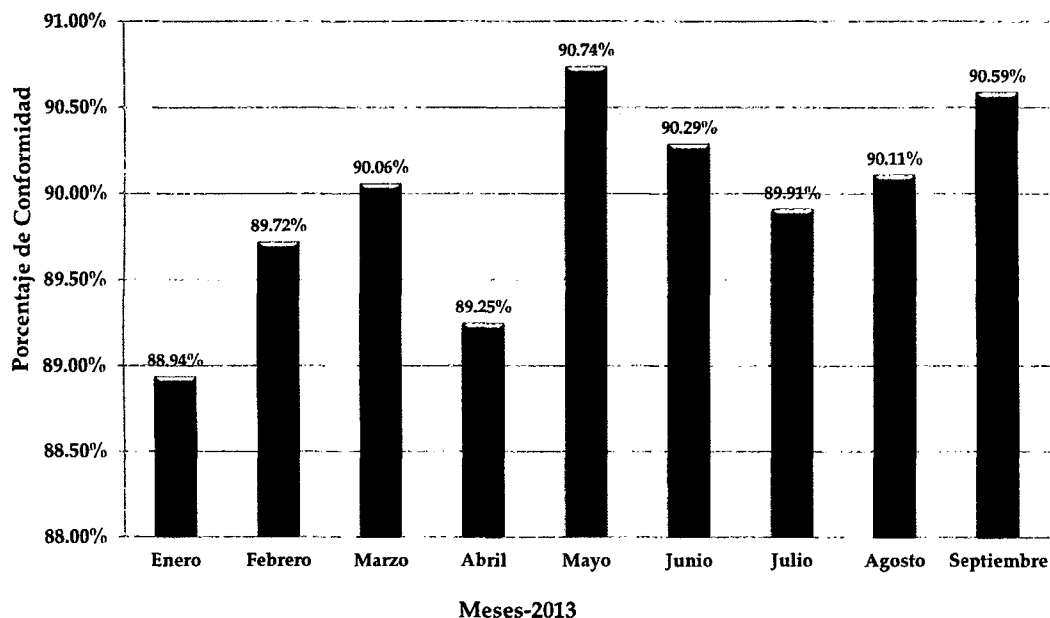


Figura 5.13: Porcentaje de conformidad en aplicación Seguridad y salud en el trabajo-Tramo2.  
Fuente:Elaboración propia.

¿Porque la filosofía de Seguridad basada en la conducta?

Porque las conductas están presentes en todos los trabajos y actividades, determinando en muchas veces la accidentabilidad de los trabajadores. Esta filosofía se pueden aplicarse a cualquier proyecto que requiera intervenir gestionando conductas seguras y promover actitudes positivas hacia la seguridad.

“Ningún avance físico de obra o cumplimiento de meta de producción es mayor o más importante que la integridad física de un colaborador o trabajador”.

“La obra va a terminar pero tu vida sigue, por eso cuídate”.

Tal como se muestra en los gráficos anteriores sobre la seguridad y salud en el trabajo en la construcción de viaductos para trenes, bajo la filosofía de la Seguridad Basada en la Conducta, se concluye que las conductas seguras tienen una tendencia hacia el 100%; mientras las conductas inseguras tienden hacia el

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

0.00%. De la misma forma el porcentaje de conformidad se logró el 90.74%, teniendo la más baja el 89.25%. Por lo tanto la seguridad de todos los trabajadores se encuentra dentro de los estándares de seguridad y con mejoría en el tiempo.

**5.1.9.2. Gestión del Medio Ambiente**

La Educación Ambiental aplicada como recurso estratégico para provocar el cambio de hábitos y comportamientos, tomando como marco las Directrices de Sostenibilidad Ambiental e impulsando la implementación de los Objetivos del Milenio de la ONU; teniendo en cuenta las normas y reglamentos vigentes, hojas de seguridad del producto, el compromiso de los colaboradores y bajo la metodología Aprender- Haciendo y promoviendo la cultura de respeto al Medio Ambiente, se ha obtenido los siguientes resultados:

Cuadro 5.13: Comparación de manejo de residuos entre el Tramo 1 y Tramo 2.

| <b>TRAMO 1</b>  | <b>TRAMO 2</b>   |
|---|--|
| Los conocimientos ambientales del personal eran básicos                                 | Personal capacitado en manejo de residuos                                      |
| El manejo de residuos no era selectivo  | Manejo selectivo de residuos en contenedores rotulados                         |
| Cumplimiento parcial de los estándares ambientales                                      | Cumplimiento de los estándares ambientales                                     |
| No se ha involucrado en el manejo de residuos a las instituciones afectadas             | Se involucró a las instituciones cercanas a la Obra en el manejo de residuos   |
| Personal no involucrado en el enfoque ambiental (considerado como trabajo improductivo) | Personal involucrado con el enfoque ambiental como parte del avance de la obra |

*Fuente:* Área de Gestión de medio ambiente -Consortio Tren Eléctrico.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

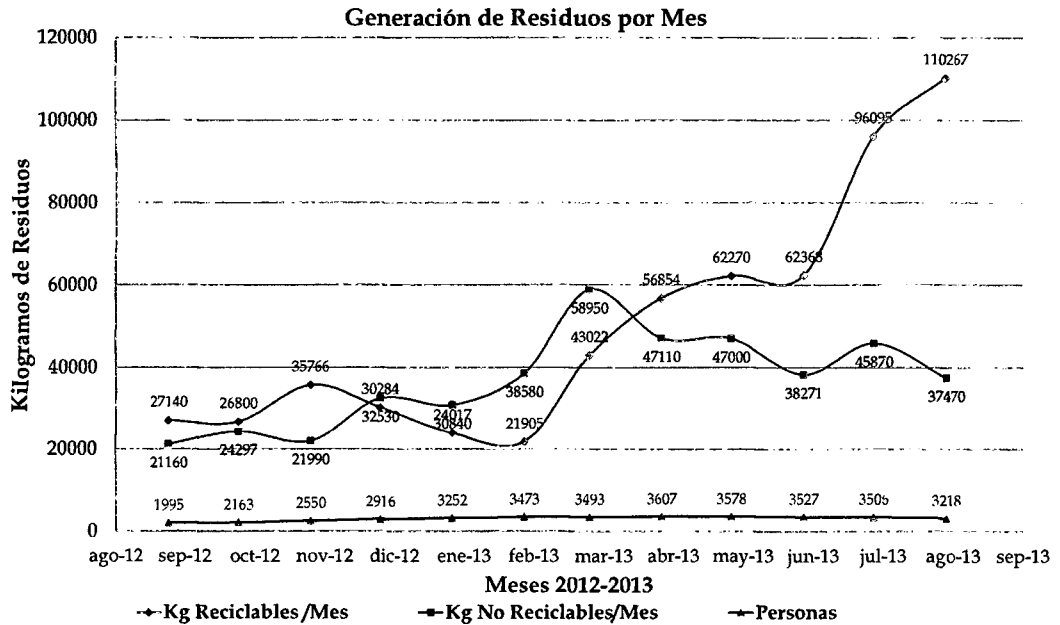


Figura 5.14: Generación de residuos y la cantidad de personal por mes -Tramo 2. Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico sobre generación de residuos por mes, se observa que la cantidad de residuos reciclados supera el peso presentado en los No reciclables, lo que representa que los trabajadores han realizado las prácticas de clasificación de residuos. También se puede apreciar la mejora continua en los meses del año 2013 con respecto a los meses del año 2012.

5.1. Resultados de aplicación del lego de concreto y del modelo de proceso constructivo

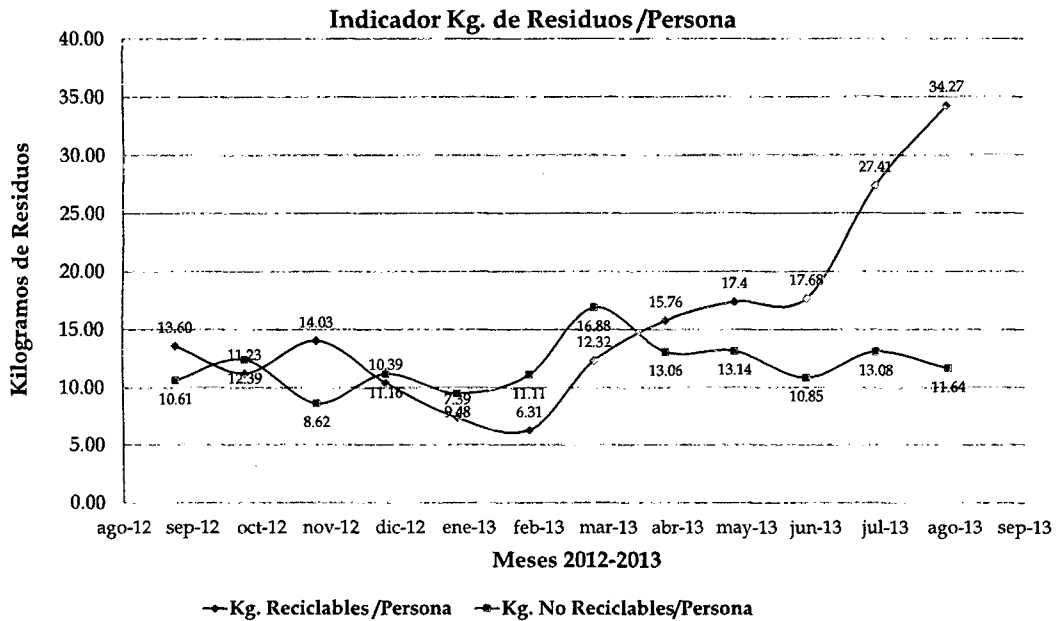


Figura 5.15: Kilogramos de residuos reciclados por persona-Tramo 2. Fuente:Elaboración propia.

En el presente indicador se observa que el personal ha realizado mejores prácticas de manejo de residuos, es por ello que el indicadores Kg. Residuos Reciclados/Persona supera 3 veces el otro indicador.

De esta forma la clasificación adecuada de residuos favorece la formación de consumidores responsables y el ingreso de residuos a las plantas de reciclaje para procesamiento respectivo y aprovechamiento para elaboración de nuevos productos.

5.1.10. Soluciones generales

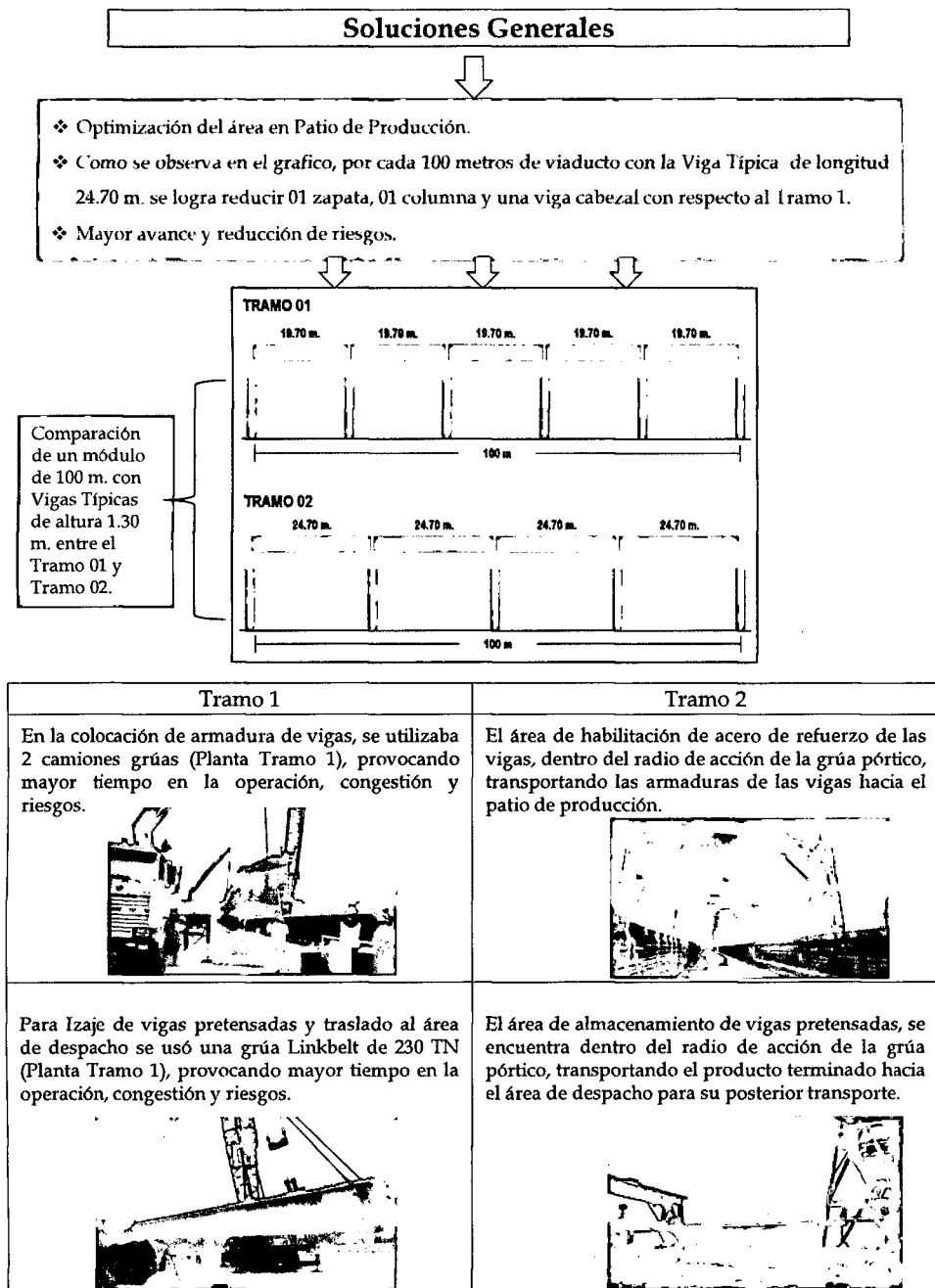


Figura 5.16: Soluciones generales-Construcción de viaductos de trenes. Fuente:Elaboración propia.

## 5.2. Discusión de la Investigación

Los resultados obtenidos en esta investigación gracias al uso de elementos prefabricados de concreto, servirán como base para evaluar y tomar decisiones sobre el tiempo y costos de construcción de futuros viaductos de trenes. Por otro lado, los resultados de esta línea de investigación servirán como base para a las futuras investigaciones sobre el diseño y proceso constructivo de viaductos con dovelas sucesivas. A continuación la discusión de resultados obtenidos por cada variable del problema:

### 5.2.1. Costos

- a) Optimización de los patios de producción en la Planta de Prefabricados Tramo2, en un área menor en 18% con respecto a la Planta de Prefabricados Tramo 1.
- b) Optimización de costos empleando Vigas Cabezales Prefabricados Tramo 2, logrando una reducción del 16% en el costo de producción con respecto a las de vigas cabezales in-situ Tramo1.
- c) Incremento en la longitud de vigas pretensadas típicas ( $h=1.30$  m) de 19.70 m a 24.70 m, logrando en un módulo de 100 metros de viaducto, reducir la construcción de 01 zapata, 01 columna y 01 vigas cabezal, sin sacrificar la seguridad estructural del viaducto.
- d) Optimización en el costo de construcción del viaducto elevado Tramo 2, empleando vigas pretensadas típicas ( $h=1.30$  m) con longitud de 24.70 m y elementos prefabricados de concreto, logrando una reducción del 35% con respecto al viaducto del Tramo 1 con vigas pretensadas típicas ( $h=1.30$  m) de longitud 19.70 m.
- e) Optimización del presupuesto asignado para la construcción del viaducto elevado Tramo 2, empleando elementos prefabricados de concreto; logrando una reducción de 45% en el costos real de construcción del viaducto elevado típico con respecto al presupuesto contractual asignado para el mismo.

- f) Aporte a la industrialización de la construcción, creando una nueva cultura de construcción en el Perú: “La Cultura del Prefabricados”.

#### 5.2.2. **Tiempo**

- a) Optimización del tiempo con la aplicación de prefabricados en la construcción de vigas cabezales Tramo 2, logrando una reducción de 81% del tiempo empleado para construcción de vigas cabezales in-situ.
- b) Optimización del tiempo con la aplicación de prefabricados en la construcción del viaducto elevado Tramo 2, logrando una reducción a 60% del tiempo empleado en la construcción del viaducto elevado existente y los vanos inconclusos del Tramo 1.
- c) Reducción de plazos con la aplicación de elementos prefabricados en la construcción del viaducto elevado Tramo 2, en un 30% del tiempo empleado en la construcción del viaducto elevado del Tramo 1.

#### 5.2.3. **Calidad**

- a) Cumplimiento de altos estándares de calidad, empleando sistema de construcción del viaducto con prefabricados, ya que la calidad de acabaos y el control de calidad con protocolos fueron mejores y los elementos prefabricados con alta precisión que encajaron perfectamente al momento de realizar el montaje en el viaducto.

#### 5.2.4. **Seguridad y medio ambiente**

- a) Con el uso de elementos prefabricados en la construcción del viaducto Tramo 2, bajo los estándares de la gestión de salud y seguridad en el trabajo y la gestión del medio ambiente, se redujo drásticamente los incidentes, peligros y se eliminó los accidentes (cero accidentes) con respecto a la construcción del viaducto Tramo 1 que ocurrió un accidente fatal (pérdida de vida de un trabajador debido a la caída al piso desde el viaducto).

- b) Con el empleo de elementos prefabricados se llegó a ahorrar apuntalamientos, andamios y encofrados en la obra. Asimismo se redujo los residuos sólidos y la contaminación ambiental en la zona de obra.
- c) Con la aplicación de la filosofía de la Seguridad Basada en la Conducta se logró obtener conductas seguras en los trabajadores, con una tendencia hacia 100
- d) Con adecuada elaboración y aplicación del plan de desvío vehicular se llegó a reducir el impacto ambiental generado por la obra en los distritos afectados.
- e) Se llegó a mitigar el impacto ambiental generado por residuos y desperdicios producidos durante los trabajos, con la clasificación y manejo adecuado, colocando en los recipientes rotulados para cada tipo de residuo.
- f) Con la metodología Aprender- Haciendo se promovió la cultura de respeto al Medio Ambiente, realizando mejores prácticas de manejo de residuos, donde el peso de residuos reciclados por los trabajadores supera 3 veces al peso de los residuos no reciclables.
- g) La fabricación de los elementos estructurales en un lugar distinto del viaducto, permitió realizar en simultáneo la construcción de otros elementos del viaducto como cimentaciones columnas con la consiguiente reducción de plazos de construcción.

#### 5.2.5. **Discusión sobre el modelo de prefabricados de concreto**

- a) El modelo de prefabricados de concreto tomado en el presente caso de estudio (Tramo 2) es muy eficiente para la construcción de Viaductos de Trenes, ya que permite optimizar en el costo en 69% con respecto al modelo empleado en el tramo 1 y en 84% con respecto a al modelo de las vigas cabezales construidos in-situ-Tramo 1, reduce plazos de construcción hasta en 81% con respecto al modelo de construcción de vigas cabezales in-situ-Tramo 1 y en 30% con respecto al modelo de prefabricados en el Tramo-1.

- b) Permitió obtener altos estándares de calidad y precisión en los elementos prefabricados.
- c) Reduce notablemente los peligros y riesgos tanto en la fabricación como en la colocación en el viaducto.
- d) Reduce la generación de residuos durante su fabricación, permitiendo clasificar adecuadamente para luego enviar a una planta para el respectivo procesamiento.
- e) Las dimensiones de este modelo de prefabricados son adecuados, ya que permitió y permite trasladar y realizar izajes correspondientes en zonas bastante transitadas y congestionadas, mediante una adecuada gestión. Es más la longitud del modelo de prefabricado de vigas pretensadas ( $h=1.30$  m y  $L=24.7$  m) permitió reducir la construcción de una zapata, columna y viga cabezal a cada 100 metros del viaducto elevado.
- f) El modelo de prefabricados de vigas cabezales permite reducir plazos de construcción de 16 días in -situ a 3 días con prefabricados.
- g) Este tipo de prefabricados permitió y permite construcción de tramos de viaductos colocando como un lego sin interrumpir el tráfico ni molestar los vecino.
- h) El modelo de prefabricados tomados en la presente investigación permite no solo la optimización del costo y tiempo, sino también el área de planta de prefabricados hasta en un 82% con respecto al área utilizado de la planta de prefabricados-Tramo1.

#### 5.2.6. *Discusión sobre el modelo de proceso constructivo*

El modelo de proceso constructivo de Viaductos para Trenes presentado y sustentado en esta investigación, es muy eficiente en costo, tiempo, calidad, seguridad y medio ambiente y es mejor que construir in-situ, trasladando a los trabajadores a una zona donde no existe conflictos ni interferencias (Planta de prefabricados); ya que permite realizar en simultáneo la fabricación de elementos

con la construcción de otros elementos del viaducto (zapatas, columnas y vigas cabezales), con la consiguiente reducción de plazos de construcción, mejor calidad de acabados, con menor costo, logrando el compromiso de los trabajadores en la seguridad basado en la conducta de cada uno de ellos y logrando la reducción de la contaminación del medio ambiente.

El proceso constructivo es rápido y seguro, donde los elementos estructurales se colocan como un lego, permitiendo avanzar la construcción sin interrumpir el tráfico ni molestar los vecinos. De este modo el proceso constructivo se convierte en industrial, bajo la cultura de prefabricados.

### 5.3. Verificación de las hipótesis

#### 5.3.1. Verificación de la hipótesis global

El uso de los prefabricados mejora la calidad del proyecto en plazos más cortos, es un alternativa para la construcción de viaductos de menor costo y mayor productividad, es una mejor alternativa para construir con mayor rapidez y reducir los plazos, se minimiza el impacto y riesgos. El tiempo de construcción del viaducto elevado de trenes -Tramo 2, con elementos prefabricados de concreto se reduce a 70% del tiempo empleado en la construcción del Tramo 1 y el tiempo para la construcción de vigas cabezales con prefabricados a 19% del tiempo empleado en la construcción de vigas cabezales in-situ, con un costo de construcción que representa el 65% del costo empleado en el Tramo 1 y 55% del presupuesto contractual-Tramo 2, con altos estándares de calidad de acabados, con una tendencia hacia el 100% de conductas seguras y con el peso residuos reciclables que superan en 3 veces al peso de los residuos no reciclables, clasificados adecuadamente por cada trabajador.

#### 5.3.2. Verificación de las subhipótesis

- a) La calidad de acabado del viaducto construido con elementos prefabricados mejoró notablemente, cumpliendo los estándares de calidad, reducción del

- tiempo de construcción de vigas cabezales a 19% del tiempo empleado en Tramo 1 para la misma estructura, con una tendencia de conductas seguras hacia el 100% y superó en peso los residuos reciclables en tres veces a los residuos no reciclables.
- b) El costo de construcción del viaducto del Tramo 2 representa el 65% del monto empleado en el Tramo 1 y 55% del presupuesto contractual y aumentó la productividad, gracias al empleo de los elementos prefabricados con altos estándares de calidad.
  - c) El tiempo empleado para la construcción de las vigas cabezales con prefabricados (Tramo 2) representa el 19% del tiempo empleado in-situ (Tramo 1) y el tiempo empleado para el viaducto del Tramo 2 con elementos prefabricados, representa el 70% del tiempo empleado en el Tramo 1. Todo ello gracias al empleo de los elementos prefabricados con un procedimiento adecuado durante la fabricación, transporte y montaje en el viaducto.
  - d) La fabricación de los elementos estructurales del viaducto en la planta de prefabricados, permite trasladar a los trabajadores a una zona donde no existe conflictos ni interferencias; permitiendo realizar la construcción simultaneo de otros elementos como zapatas, columnas y vigas cabezales, obteniendo reducción del plazo de construcción hasta en un 30% del tiempo empleado en Tramo 1, con un proceso constructivo rápido y seguro, donde los elementos prefabricados fueron colocados como un lego sin interrumpir el tráfico ni molestar los vecinos.
  - e) La cultura de prefabricados en la construcción del viaducto de trenes del tramo 2, considerado como un modelo; permitió no solo la optimización del tiempo y costos, sino también el compromiso de los trabajadores en la seguridad basada en la conducta de cada uno de ellos, con una tendencia de conductas seguras hacia el 100% y la clasificación adecuada de residuos permitió reciclar y reducir la contaminación ambiental.
  - f) El monto empleado en la construcción del viaducto del tramo 2, representa

el 55% del presupuesto contractual; debido al uso de elementos prefabricados, permitiendo ahorrar apuntalamientos, andamios y encofrados en la obra y reduciendo drásticamente la exposición de los trabajadores en trabajos en altura. Asimismo se redujo la acumulación de los residuos sólidos y la contaminación ambiental en la zona de obra.

## Capítulo 6

# Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

La investigación desarrollada en esta tesis ha llegado a las siguientes conclusiones:

- a) Con la aplicación de elementos prefabricados en la construcción de viaductos para trenes en el caso de estudio, se mejoró notablemente la calidad de acabados del viaducto, cumpliendo los estándares de calidad, se redujo el tiempo de construcción de vigas cabezales a 19% del tiempo empleado en Tramo 1 para la misma estructura, con un porcentaje de conformidad en conductas seguras de los trabajadores que supera el 90.74% y superó en peso los residuos reciclables en tres veces a los residuos no reciclables; gracias a la metodología Aprender-Haciendo que promovió la cultura de respeto al medio ambiente.
- b) La fabricación de los elementos estructurales del viaducto en la planta de prefabricados, permitió trasladar a los trabajadores a una zona donde no existe conflictos ni interferencias, construcción simultaneo de otros elementos como zapatas, columnas y vigas cabezales, logrando reducir el plazo de construcción a 70% del tiempo empleado en Tramo 1, con un proceso constructivo rápido y seguro, donde los elementos prefabricados fueron colocados como un lego sin interrumpir el tráfico ni molestar los vecinos.
- c) La cultura de prefabricados aplicado en la construcción del viaducto de trenes

del tramo 2, permitió no solo la optimización del tiempo a 70% y costos a 65%, sino también el compromiso de los trabajadores en la seguridad basada en la conducta de cada uno de ellos, logrando una tendencia de conductas seguras hacia el 100%, con un porcentaje de conformidad que supera el 90.74% y el manejo selectivo de residuos que permitió reciclar y reducir la contaminación ambiental.

- d) La aplicación de los elementos estructurales prefabricados, permitió ahorrar apuntalamientos, andamios y encofrados en la obra y redujo drásticamente la exposición de los trabajadores en trabajos en altura, logrando a reducir el costo de construcción a 55% del presupuesto contractual y a 65% del costo de construcción del Tramo 1. Asimismo se redujo la acumulación de los residuos sólidos y la contaminación ambiental en la zona de obra.
- e) La innovación en la tecnología (equipos), condiciones de trabajo (Trabajo seguro), calidad y la creación de la cultura de prefabricados permitió reducir el costo de construcción del viaducto del Tramo 2 a 65% del empleado en el Tramo 1 y 55% del presupuesto contractual, logrando un ahorro de 35% y 45% respectivamente y aumentó la productividad, gracias al empleo de los elementos prefabricados con altos estándares de calidad.
- f) Se logró a reducir el tiempo requerido para la construcción de las vigas cabezales con prefabricados (Tramo 2) a 19% del tiempo empleado "in-situ" (Tramo 1) y el tiempo empleado para el viaducto del Tramo 2 con elementos prefabricados a 70% del tiempo empleado en el Tramo 1; aplicando un procedimiento adecuado durante la fabricación, transporte y montaje de los elementos prefabricados en el viaducto.
- g) Sin lugar a dudas los elementos prefabricados de concreto, es una de las nuevas tecnologías constructivas más aplicables en la construcción y a pesar de ello en el Perú no se cuenta con muchos precedentes. En la presente investigación se demostró que el uso de elementos prefabricados como metodología constructiva mejora la calidad del proyecto en plazos más cortos, menores índices de riesgos y con impactos ambientales menores.

- h) Los Prefabricados son aplicables a proyectos donde haya la necesidad de construir: cruces vehiculares a nivel, viaductos vehiculares, viaductos de trenes, puentes, muros de contención y obras de arte.

## 6.2. Recomendaciones

- a) En la actualidad, los proyectos de ingeniería demandan más exigencias en la calidad, menores tiempos, costos y riesgos durante su ejecución. Frente a estas exigencias debemos adoptar, como profesionales responsables, nuevas tecnologías de construcción asegurando la plena satisfacción del cliente.
- b) Se debe tener en cuenta, ningún avance físico de obra o cumplimiento de meta de producción es mayor o más importante que la integridad física de un colaborador o trabajador, ser conscientes del medio en que vivimos para así reducir la contaminación del medio ambiente con la industria de la construcción. Así mismo practicar un estándar de calidad para construir estructuras con mejores acabados de manera eficiente en costo y tiempo.
- c) Tener presente que la construcción de estructuras como el caso de estudio amerita analizar y elaborar un procedentito del proceso constructivo, con la consiguiente eliminación de reprocesos, reducción de riesgos, reducción del tráfico y malestar de los vecinos.
- d) Se recomienda aplicar la filosofía de Seguridad basada en proyectos que requieran intervenir gestionando conductas seguras y promoviendo actitudes positivas hacia la seguridad, porque las conductas están presentes en todos los trabajos y actividades, determinando en muchas veces la accidentabilidad de los trabajadores. Así mismo promover la cultura de respeto al medio ambiente.
- e) Considerar importante el tiempo y el costo de construcción de las infraestructuras que faltan construir para completar la Red Básica del Metro de Lima, proyectados por la Autoridad Autónoma de Transporte Eléctrico, como solución al problema del transporte en Lima y Callao.

- f) Seguir practicando la cultura de prefabricados en la construcción de estructuras iguales o similares al caso de estudio; ya que permite la optimización del tiempo y costo sin dejar de lado la calidad de la estructura.

# Bibliografía

- [1] Comitè ACI 318. *Reglamento para Concreto Estructural – Código A.C.I. 318 – 2011*. Instituto Americano de Concreto, 2011.
- [2] Acevedo Laínez Carlos A. *Aplicación de la Tecnología de los Prefabricados Estructurales Para La Construcción de Viviendas Multifamiliares de Hasta Cuarto Niveles en el Área Metropolitana de San Salvador*). Universidad de El Salvador – Escuela de Ingeniería Civil, 2010.
- [3] Comitè Ejecutivo A.A.S.H.T.O. *Especificaciones AASTHO para el diseño de puentes por el método LRFD*. Asociación americana de Carretera Estatal y Funcionarios de Transporte, 2012.
- [4] Cabañas Pérez Antonio. *Concreto Preesforzado*. Instituto Politécnico Nacional – México, 2008.
- [5] Ares Cárdenas Juan C. *Viviendas prefabricadas de concreto, experiencias y avances tecnológicos*). Instituto Mexicano de Cemento y Concreto, 2010.
- [6] Dirección General de Electricidad. *Código Nacional de Electricidad – Utilización*. Ministerio de Energía y Minas, 2006.
- [7] Bento de Hanai João. *Fundamentos do Concreto Pretendido* ). Universidad Técnica Particular de Loja, 2005.
- [8] Comitè de la Norma A.S.T.M. *La Norma de Sociedad Americana para Pruebas y Materiales*. Comitè de la Norma A.S.T.M., .
- [9] Comité Especializado de la NTE E.030. *Norma Técnica de Edificación. E.030 Diseño Sismoresistente*). SENCICO, 2003.

- [10] Comité Especializado de la NTE E.060. *Norma Técnica de Edificación. E.060 Concreto Armado*). SENCICO, 2009.
- [11] Comité Especializado de la NTE G.050. *Norma Técnica de Edificación. G.050 Seguridad durante la construcción*). SENCICO, 2010.
- [12] Asociación Española de Normalización y certificación. *Norma Internacional OHSAS-18001. Requisitos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo*. AENORediciones, 2007.
- [13] Grupo de Trabajo “Spanish Translation Task Force”. *Norma Internacional ISO-14001. Requisitos del Sistema de Gestión Ambiental*. Secretaría Central de ISO – Ginebra, 2004.
- [14] Grupo de Trabajo Spanish Translation Task Group. *Norma Internacional ISO-9001. Requisitos del Sistema de Gestión de la Calidad*. Secretaría Central de ISO – Ginebra, 2008.
- [15] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de diseño de puentes*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003.
- [16] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Reglamento Nacional de Ferrocarriles*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006.
- [17] Guerra Hernández Elizabeth. *Prefabricados de Concreto en La Industria de la Construcción*). Instituto Tecnológico de la Construcción – México, 2004.
- [18] Rodríguez Díaz David F. Curso básico para el diseño de elementos prefabricados. *Tercer Congreso Internacional de Estructuras Prefabricadas*. México, 2011.
- [19] Fernando Hue. *Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes*. Comité Técnico Estructural de Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón, 2010.
- [20] Reiser Gasser Juan. *La Racionalización y Prefabricación de la Construcción, una Experiencia Personal*. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005.


- [21] Moreno Martínez Francisco M. *Plan de Desarrollo de una Planta de Prefabricados de Concreto*. Universidad de Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – México, 2008.
- [22] Ramírez Sandino Marco. *Modelo de Diseño Preliminar y Estimación de Costos para Edificios Prefabricados de Concreto*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2004.
- [23] Construcción y Saneamiento Ministerio de Vivienda. *Reglamento Para la Gestión de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013.
- [24] PCI Committee on tolerances. *Tolerance Manual for Precast and Prestressed Concrete Construction*. Prestressed Concrete Institute. Estados Unidos, 2000.
- [25] Prethor. *Prefabricados tecnológicos de hormigón*. Prethor, 2010.
- [26] Manuel Bartolomé y Carlos Arévalo. *Buenas prácticas preventivas en el uso de prefabricados de hormigón*. Fundación Agustín de Betancourt de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 2012.
- [27] Santiago Pérez y Fadón Martínez. *Construcción de Viaductos Para Líneas de F.F.C.C. Tableros Empujados*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Espana, 2004.
- [28] Millanes Mato Francisco y Javier Pascual. *Primer viaducto mixto de las Líneas de Alta Velocidad Españolas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 2007.
- [29] Percivati Franco y Mariano Andrés. *Métodos y Sistemas Constructivos de Puentes de Hormigón de Reciente Utilización en la República Argentina*. Asociación de Ingenieros Estructurales de Argentina, 2010.

- [30] Reinoso Angulo Eduardo y Rodríguez Mario E. *Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas*. Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., 2000.

## Apéndice A




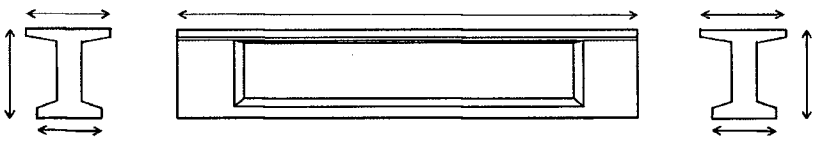
# Formatos de Protocolos de Control de Calidad

Cuadro A.1: Formato de protocolo para Topografía

|  | <b>REGISTRO</b>                         |  | <b>UNSCH-PRO-TOP-02</b> |                             |                               |                    |   |   |  |
|---|---|--|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|---|---|--|
|   | CONTROL DE CALIDAD                      |  | Revisión:               | 01                          |                               |                    |   |   |  |
|   | REPORTE TOPOGRAFICO                     |  | Fecha:                  | 09/05/15                    |                               |                    |   |   |  |
|   |   |  | Página:                 | 1 de 1                      |                               |                    |   |   |  |
| NOMBRE DEL PROYECTO:  |   |  | N° CORRELATIVO:         |                             |                               |                    |   |   |  |
| CLIENTE / SUPERVISION:  |   |  | FECHA:                  |                             |                               |                    |   |   |  |
| PLANO REF.:   | REV.                                    | TRAMO:                                   | MÓDULO:                 |                             |                               |                    |   |   |  |
| UBICACIÓN / PROGRESIVA:   |   | ELEMENTO:                                |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| DESCRIPCION DEL TRABAJO:  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| ITEM  | DESCRIPCION DE ACTIVIDADES              | SI                                       | NO                      | N.A.                        | OBSERVACIONES                 |                    |   |   |  |
| 1   | Ubicación del B.M. del Proyecto         |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 2   | Ubicación de Puntos Auxiliares          |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 3   | Replanteo de Linderos del Terreno       |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 4   | Levantamiento Topográfico (*)           |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 5   | Trazo y replanteo de ejes               |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 6   | Distancia y proporcionalidad entre ejes |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 7   | Colocación de niveles                   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 8   | Verticalidad y alineamiento             |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| 9   | Otros:                                  |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| <b>DATOS DE CAMPO:</b>  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| EQUIPO 1: _____   |   | EQUIPO 2: _____                          |                         | PUNTO REF.                  | NOMBRE                        | COORDENADA         |   |   |  |
| MARCA: _____  |   | MARCA: _____                             |                         |                             |                               | X                  | Y | Z |  |
| MODELO: _____   |   | MODELO: _____                            |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| SERIE: _____  |   | SERIE: _____                             |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| CALIBRACION: SI <input type="checkbox"/>  |   | CALIBRACION: SI <input type="checkbox"/> |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| NO <input type="checkbox"/>   |   | NO <input type="checkbox"/>              |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| N° CERTIFICADO: _____   |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| ARCHIVO: _____  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| (*) Adjuntar archivo en caso de Lev. Topográfico                                  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| - SE ADJUNTA PLANO / SKETCH   |   | SI <input type="checkbox"/>              |                         | NO <input type="checkbox"/> |                               |                    |   |   |  |
| - PUNTO DE REFERENCIA   |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| BM: BENCH MARK  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| PA: PUNTOS AUXILIARES   |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| PC: PUNTO DE CONTROL  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>   |   |  |                         |                             |                               |                    |   |   |  |
| <b>TOPOGRAFIA CTEL</b>  |   |  |                         |                             | <b>TOPOGRAFIA SUPERVISION</b> |                    |   |   |  |
| Firma: _____  |   |  |                         |                             | Firma: _____                  |                    |   |   |  |
| Nombre: _____   |   |  |                         |                             | Nombre: _____                 |                    |   |   |  |
| Fecha: _____  |   |  |                         |                             | Fecha: _____                  |                    |   |   |  |
| <b>ELABORADO POR:</b>   |   |  | <b>REVISADO POR:</b>    |                             |                               | <b>SUPERVISION</b> |   |   |  |
| Firma: _____  |   |  | Firma: _____            |                             |                               | Firma: _____       |   |   |  |
| Nombre: _____   |   |  | Nombre: _____           |                             |                               | Nombre: _____      |   |   |  |
| Fecha: _____  |   |  | Fecha: _____            |                             |                               | Fecha: _____       |   |   |  |




Cuadro A.3: Formato de protocolo para Post-Vaciado.

|     | <b>REGISTRO</b>  | <b>UNSCH-PRO-PV-02</b>   |          |                        |               |
|--|--|--------------------------|----------|------------------------|---------------|
|  | <b>CONTROL DE CALIDAD</b>  | Revisión                 | 01       |                        |               |
|  | <b>VERIFICACION POST VACIADO</b>   | Fecha:                   | 09/05/15 |                        |               |
|  |  | Página:                  | 1 de 1   |                        |               |
| <b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>  |  |                          |          | <b>N° CORRELATIVO:</b> |               |
| <b>CLIENTE / SUPERVISION:</b>  |  |                          |          | <b>FECHA:</b>          |               |
| <b>PLANO REF.:</b>   |  | <b>TRAMO/ ESTACIÓN :</b> |          | <b>MÓDULO:</b>         |               |
| <b>ELEMENTO / ESTRUCTURA:</b>  |  |                          |          |                        |               |
| - HORA Y FECHA DE TERMINO DE VACIADO:  |  |                          |          |                        |               |
| - HORA Y FECHA DE DESENCOFRADO:  |  |                          |          |                        |               |
| - HORA DE INICIO DE CURADO (caras libres):   |  |                          |          |                        |               |
| - HORA DE INICIO DE CURADO (caras encofradas):                                       |  |                          |          |                        |               |
| ITEM   | VERIFICACION POST VACIADO  | SI                       | NO       | N.A.                   | OBSERVACIONES |
| 1  | Desencofrado de estructura al 100%   |                          |          |                        |               |
| 2  | Verticalidad y horizontalidad de la estructura (verificar niveles y plomada)   |                          |          |                        |               |
| 3  | Inspección y tratamiento de acabado superficial (presencia de burbujas de aire, segregación).  |                          |          |                        |               |
| 4  | Pernos, insertos y embebido en su correcta ubicación   |                          |          |                        |               |
| 5  | Sellado de juntas transversales y longitudinales.  |                          |          |                        |               |
| 6  | Curado de concreto (*):<br>- Via Húmeda <br>- Químico  |                          |          |                        |               |
| 7  | Verificación de la colocación de placas de aterramiento eléctrico y soldadura en estribos superiores a 0.85m del borde de viga en ambos extremos   |                          |          |                        |               |
| 8  | Medidas finales post vaciado   |                          |          |                        |               |
| <b>ESQUEMA:</b>  |  |                          |          |                        |               |
|  |  |                          |          |                        |               |
| 9  | Contraflechas obtenidas luego del corte de los torones.  | _____ cm.                |          |                        |               |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |  |                          |          |                        |               |
| <hr/> <hr/> <hr/>  |  |                          |          |                        |               |
| <b>ELABORADO POR:</b>  |  | <b>REVISADO POR:</b>     |          | <b>SUPERVISION</b>     |               |
| Firma:   |  | Firma:                   |          | Firma:                 |               |
| Nombre:  |  | Nombre:                  |          | Nombre:                |               |
| Fecha:   |  | Fecha:                   |          | Fecha:                 |               |



Cuadro A.5: Formato de protocolo para Inyección de Lechada

|  |  |                        |                         |
|--|--|------------------------|-------------------------|
|   | <b>REGISTRO</b>                        |                        | <b>UNSCH-PRO-RIL-02</b> |
|  | CONTROL DE CALIDAD                     |                        | Revisión: 01            |
|  | <b>REPORTE DE INYECCION DE LECHADA</b> |                        | Fecha: 09/05/15         |
|  |  |                        | Página: 1 de 1          |
| <b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>  |  | <b>N° CORRELATIVO:</b> |                         |
| <b>CLIENTE / SUPERVISION:</b>  |  | <b>FECHA:</b>          |                         |
| <b>PLANO DE REF.:</b>  | <b>FRENTE:</b>                         | <b>AREA / SECTOR:</b>  |                         |
| <b>DESCRIPCION:</b>  |  |                        |                         |
| <p>Equipo o estructura instalado      V°B° <input type="checkbox"/>      Reporte N° _____</p> <p>Tipo de Inyeccion: Cementicio <input type="checkbox"/>      Epóxico <input type="checkbox"/></p> <p>Se conoce el procedimiento de preparación y colocación <span style="float: right;">V°B° <input type="checkbox"/></span></p> <p>Verificacion de mezcla (dosificacion) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span></p> <p>La superficie de contacto está limpia <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span></p> <p>Verificacion de la presion de bombeo <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span></p> <p>La temperatura de la mezcla de lechada de cemento es la adecuada, máximo 32 °C <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span></p> |  |                        |                         |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |  |                        |                         |
| <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>  |  |                        |                         |
|  |  |                        |                         |
| <b>AREA DE CONSTRUCCION</b>  | <b>AREA DE CALIDAD</b>                 | <b>SUPERVISION</b>     |                         |
| Firma:   | Firma:                                 | Firma:                 |                         |
| Nombre:  | Nombre:                                | Nombre:                |                         |
| Fecha:   | Fecha:                                 | Fecha:                 |                         |

## **Apéndice B**

# **Sustento de precios unitarios y presupuesto-Firmados por AATE**

**Presupuesto**

Presupuesto 0203002 VIADUCTO VENTA  
 Subpresupuesto 001 VIADUCTO  
 Cliente AUTORIDAD AUTONOMA DEL TREN ELECTRICO  
 Lugar LIMA - LIMA - VILLA EL SALVADOR  
 Costo al 22/06/2010

| Item      | Descripción   | Und. | Metrado    | Precio \$ LOC | Parcial \$ LOC | Precio \$ EXT | Parcial \$ EXT |
|-----------|---|------|------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| 02.03.05  | DEMOLICION DE SARDUEL                                   | m    | 972.12     | 1.59          | 1,537.31       |               |                |
| 02.03.06  | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS | wd   | 1.00       | 29,503.60     | 29,503.60      |               |                |
| 02.03.07  | DEMOLICION DE ZAPATA EXISTENTE                          | m3   | 8.17       | 57.73         | 471.65         |               |                |
| 0         | ZAPATAS   |      |            |               | 2,533,479.52   |               |                |
| 02.03.20  | EXCAVACION Y PERFILADO                                  | m3   | 15,443.60  | 2.74          | 42,315.46      |               |                |
| 02.03.21  | SOLADO (E= 5 CM)  | m2   | 3,717.81   | 6.86          | 25,504.18      |               |                |
| 02.03.22  | ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA ZAPATAS                       | kg   | 819,874.96 | 1.89          | 1,549,563.67   |               |                |
| 02.03.23  | ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA ZAPATAS                   | m2   | 1,898.80   | 19.08         | 32,375.32      |               |                |
| 02.03.24  | CONCRETO FC=210 KG/CM2 PARA ZAPATAS                     | m3   | 7,580.25   | 93.50         | 709,688.38     |               |                |
| 02.03.25  | RELLENO ESTRUCTURAL CON MATERIAL PROPIO                 | m3   | 6,163.72   | 12.72         | 78,402.52      |               |                |
| 02.03.26  | ELIMINACION DE DESMORTE                                 | m3   | 9,863.80   | 6.84          | 67,803.82      |               |                |
| 02.03.27  | SOSTENIMIENTO DE TALUDES CON MORTERO                    | m2   | 1,920.24   | 13.83         | 26,556.92      |               |                |
| 02.03.28  | FALSA ZAPATA f=100 kg/cm2 + 30% P.G.                    | m3   | 15.15      | 96.98         | 1,469.25       |               |                |
| 0         | COLUMNAS  |      |            |               | 1,143,439.84   |               |                |
| 02.03.40  | ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA COLUMNAS                      | kg   | 398,242.79 | 2.40          | 955,782.70     |               |                |
| 02.03.41  | ENCOFRADO PARA COLUMNAS                                 | m2   | 2,350.45   | 27.99         | 66,536.98      |               |                |
| 02.03.42  | CONCRETO FC=280 KG/CM2 PARA COLUMNAS                    | m3   | 1,063.20   | 107.97        | 114,793.70     |               |                |
| 02.03.43  | EMPALMES MECANICOS BUTTON HEAD                          | wd   | 118.00     | 51.07         | 6,026.26       |               |                |
| 0         | CABEZALES   |      |            |               | 1,122,858.44   |               |                |
| 02.03.80  | ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA CABEZALES                     | kg   | 252,152.92 | 2.58          | 645,511.43     |               |                |
| 02.03.81  | ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA CABEZALES                 | m2   | 2,488.98   | 32.68         | 81,339.67      |               |                |
| 02.03.82  | CONCRETO FC=280 KG/CM2 PARA CABEZALES                   | m3   | 1,261.15   | 105.15        | 132,609.92     |               |                |
| 02.03.83  | ACCESORIO RESTRICCIÓN CORTE                             | wd   | 52.00      | 2,158.09      | 112,277.68     |               |                |
| 02.03.84  | ACCESORIO DE NEOPRENO                                   | wd   | 444.00     | 286.79        | 127,334.76     |               |                |
| 02.03.85  | GROUT NIVELANTE   | m3   | 2.74       | 1,310.15      | 3,589.81       |               |                |
| 02.03.87  | EMPALME MECANICO BARGRIP 1"                             | wd   | 294.00     | 69.68         | 20,191.92      |               |                |
| 0         | VIGAS PREFABRICADAS                                     |      |            |               | 1,958,705.91   |               |                |
| 02.03.100 | FABRICACION DE VIGAS                                    | m3   | 2,097.56   | 822.08        | 1,724,362.12   |               |                |
| 02.03.101 | TRANSPORTE DE VIGAS                                     | m3   | 2,097.56   | 80.91         | 127,752.38     |               |                |
| 02.03.102 | MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS                          | m3   | 2,097.58   | 37.21         | 78,050.21      |               |                |
| 02.03.105 | EMPALME MECANICO SCRELOCK                               | wd   | 192.00     | 148.60        | 28,531.20      |               |                |
| 0         | LOSAS PREFABRICADAS                                     |      |            |               | 300,328.95     |               |                |

*[Handwritten Signature]*  
 ING. ALICIA CHAVEZ  
 ESPECIALISTA EN OBRAS DE FERROVIA

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. José J. Ribgy  
 Jefe de Supervisión - Obras Civiles  
 Proyección y Mantenimiento Eléctrico  
 CONSORCIO

*[Handwritten Signature]*  
**HENRIQUE MELMAN**  
 CIP N° 940 - T  
 JEFE DE PROYECTO  
 CONSORCIO TREN ELÉCTRICO

Cuadro B.1: Precios Unitarios-Ítemo 1



## Apéndice C

# Formatos de permisos de seguridad en el trabajo

En este apéndice se encuentra los formatos y permisos de trabajos que se deben elaborar antes de iniciar cualquier actividad. Así mismo son los formatos que fueron usados para levantar los datos de campo en el area de Seguridad.

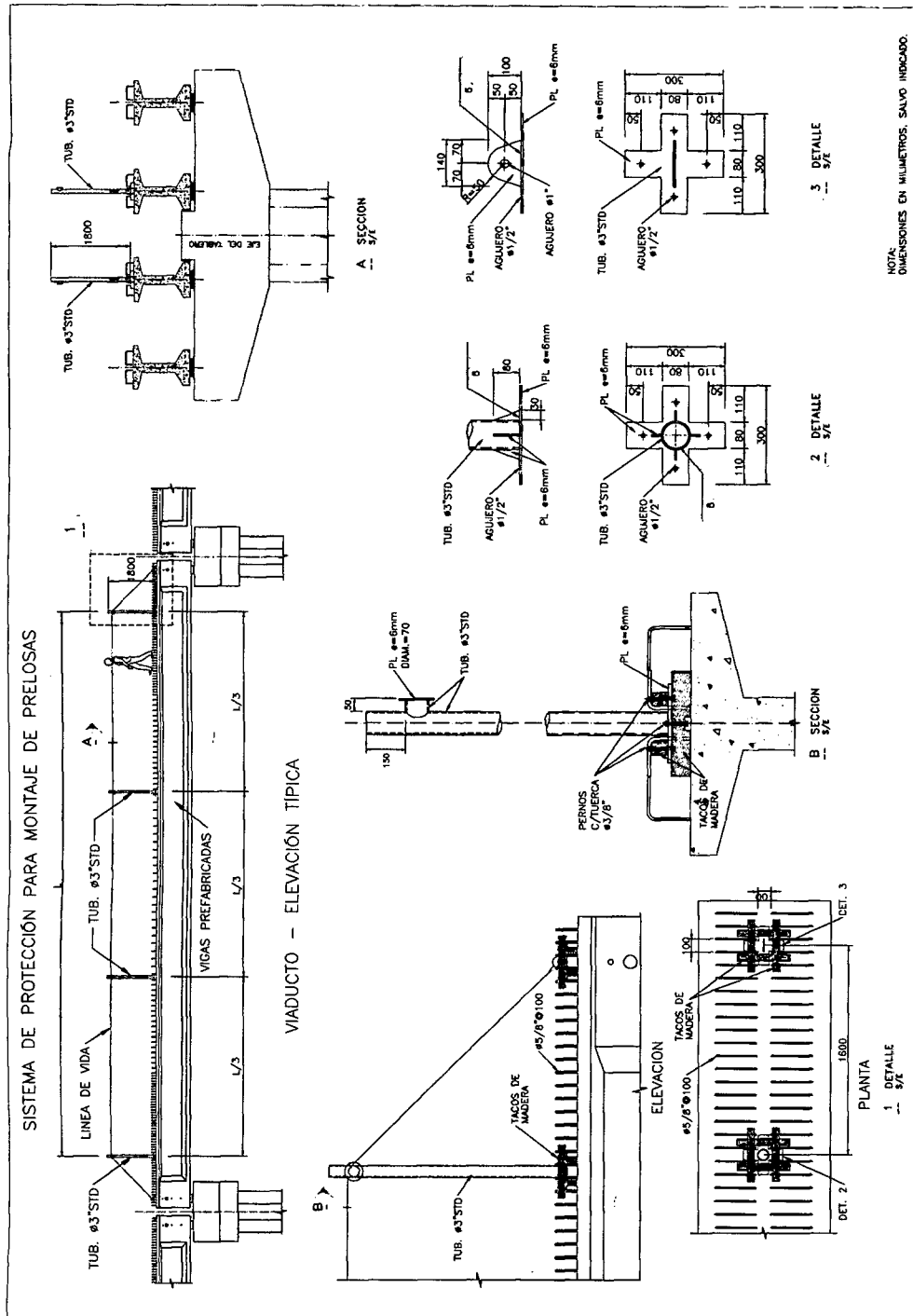


Figura C.1: Sistema de protección para trabajo en altura.





Cuadro C.3: Permiso de Izaje.

|   |                         |  |
|---|-------------------------|--|
|  | <b>PERMISO DE IZAJE</b> |  |
|---|-------------------------|--|

ESTE PERMISO DEBE SER LLENADO POR EL RESPONSABLE DE LA MANIOBRA, QUIEN DEBE POSEER LA EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTOS SOBRE OPERACIÓN, MANIOBRA Y USO DE LA TABLA DE CAPACIDADES DEL EQUIPO.  
EL PRESENTE PERMISO ES VÁLIDO SOLO PARA UN TURNO DE TRABAJO.

| A. DATOS GENERALES |                      |                           |             |                 |
|--------------------|----------------------|---------------------------|-------------|-----------------|
| Fecha:             | Material a ser izado | Lugar (ubicación y Tramo) | Hora inicio | Hora de término |
| Izaje 01           |                      |                           |             |                 |
| Izaje 02           |                      |                           |             |                 |
| Izaje 03           |                      |                           |             |                 |
| Izaje 04           |                      |                           |             |                 |
| Izaje 05           |                      |                           |             |                 |

| B. DATOS DE LA GRUA/CAMION GRÚA  |   |
|--|---|
| Empresa:<br>(responsable grúa)   | Código de la Grúa:                                      |
| Fecha Inspección pre-uso:<br>(debe ser del mismo día)                      | Ultimo Mlto. Preventivo:<br>(No debe exceder de un año) |
| Verificar que el equipo cuente con el manual de operaciones en castellano: |   |

| C. DATOS DEL OPERADOR Y RIGGER               |          |                           |
|--|----------|---------------------------|
| Nombre de operador certificado y autorizado: | Empresa: | Vigencia de certificación |
| Nombre del Rigger certificado y autorizado:  | Empresa: | Vigencia de certificación |


| D. ELEMENTOS AUXILIARES DE IZAJE - INSPECCIÓN<br>(Enero a marzo: rojo; abril a junio: verde; julio a septiembre: amarillo; octubre a diciembre: azul) | Marcar , X o N o Aplica (NA), según corresponda |          |          |          |          |
|---|---|----------|----------|----------|----------|
|   | IZAJE 01  | IZAJE 02 | IZAJE 03 | IZAJE 04 | IZAJE 05 |
| Estrobos, eslingas y cadenas inspeccionadas y en buen estado.   |   |          |          |          |          |
| Grilletes, ganchos etc. inspeccionados y en buen estado.  |   |          |          |          |          |
| Otros elementos auxiliares inspeccionados y en buen estado.   |   |          |          |          |          |

| E. CALCULO BASICO DE MANIOBRA<br>(Trabaja en Toneladas y metros) | 1.Peso de la carga (Ton) | 2.Peso de aparejos (Ton) | 3.Carga de trabajo (1+2) (Ton) | 4.Radio de trabajo (m) | 5.Longitud de Pluma (m) | 6.Carga segura (de la tabla de cargas) (Ton) |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|--|
| IZAJE 01   |                          |                          |                                |                        |                         |  |
| IZAJE 02   |                          |                          |                                |                        |                         |  |
| IZAJE 03   |                          |                          |                                |                        |                         |  |
| IZAJE 04   |                          |                          |                                |                        |                         |  |
| IZAJE 05   |                          |                          |                                |                        |                         |  |

Carga de Trabajo (punto 3) debe ser igual o menor que (punto 6) Capacidad segura de tabla de cargas  
IZAJE 1, IZAJE 2...etc., representa los distintos materiales que se izarán en una jornada de trabajo. Ejm: Izaje 1: encofrado, Izaje 2: acero, etc.

NOTA: Se reemplazará el presente Permiso por el Plan de Izaje cuando se cumplan las siguientes condiciones:  
**IZAJE MEDIANO:** 20 ton < Carga Útil < 50 ton o 80% Capacidad de Carga < Izaje < 90% Capacidad de Carga. Se requiere Hoja de Datos firmada por RP MONTAJE E IZAJE.,  
**IZAJE PESADO:** Carga Útil > 50 t. El plan deberá ser firmado por el RP MONTAJE E IZAJE, IZAJE CRITICO: Izaje > 90% Capacidad de Carga;  
 Varias Grúas izando donde cualquiera de ellas > 80% Capacidad de Carga o cuando cambio de ubicación de la grúa es requerido. El plan de izaje deberá ser firmado por el RP MONTAJE E IZAJE, IZAJE CON VARIAS GRUAS: Varias Grúas se usan para el izaje. El plan será firmado por el RP MONTAJE E IZAJE, IZAJE CERCA A LINEAS ELECTRICAS: El plan será firmado por el RP MONTAJE E IZAJE.

Cuadro C.4: Permiso de Izaaje.

|   |                         |
|---|-------------------------|
|  | <b>PERMISO DE IZAJE</b> |
|---|-------------------------|

| F. MEDIDAS DE SEGURIDAD PREVIA                             | IZAJE 01 |    | IZAJE 02 |    | IZAJE 03 |    | IZAJE 04 |    | IZAJE 05 |    |
|--|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
|  | SI       | NO | SI       | NO | SI       | NO | SI       | NO | SI       | NO |
| 1. Verificación de asentamiento y terreno                  |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 2. Las gatas se extendieron 100 %*                         |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 3. Nivelación comprobada                                   |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 4. Operador y Rigger certificados y aptos para el tra bajo |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 5. Se armó el aparejo para el izaje en el piso**           |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 6. Área de trabajo definida y señalizada.                  |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 7. Personal adicional del área informado de la maniobra.   |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 8. Existen líneas eléctricas cerca***                      |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 9. Comunicación con supervisor de izaje del área           |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |

\*SI FUERA NO verificar que exista tabla de cargas, con menor extensión  
 \*\*SI FUERA NO. Establecer controles para ascensos y descenso de aparejos.  
 \*\*\*SI FUERA SI, continuar con la parte G del formato  
 Otras medidas de seguridad a aplicar:

| G. MEDIDAS PARA TRABAJOS CERCA D E LINEAS ELECTRICAS AEREAS (si el caso no aplica, no requiere la firma del Supv. de electricidad). | IZAJE 1 | IZAJE 2 | IZAJE 3 | IZAJE 4 | IZAJE 5 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1.- Altura de la Línea (m).   |         |         |         |         |         |
| 2.- Tensión en la Línea:  |         |         |         |         |         |
| 3.- Altura máxima del equipo (m).   |         |         |         |         |         |
| 4.- Distancia mínima de seguridad alrededor de la l línea (m).  |         |         |         |         |         |
| 5.- Si es posible el contacto continúe con las preguntas 6, 7, 8, 9 , 10, 11 y 12   |         |         |         |         |         |
| 6.- Bloqueo y señalización de la línea: (si es si, con tinué con punto 12)  |         |         |         |         |         |
| 7.- Comprobación de ausencia de tensión   |         |         |         |         |         |
| 8.- Puesta a tierra   |         |         |         |         |         |
| 9.- Señalización del área de riesgo   |         |         |         |         |         |
| 10.- Barrera Física o Nombre de vigia permanente  |         |         |         |         |         |
| 11.- ¿Otros Controles?  |         |         |         |         |         |

H. OBSERVACIONES ADICIONALES:

**SE VERIFICARON TOD AS LAS CONDICIONES PARA HACER EL TRABAJO SEGURO**

| Revisado por   | IZAJE 1            | IZAJE 2            | IZAJE 3            | IZAJE 4            | IZAJE 5            |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Operador   | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos |
|  | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              |
| Rigger   | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos |
|  | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              |
| Supervisor de Izajes                                   | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos |
|  | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              |
| Supervisor Electricidad (Si existen líneas eléctricas) | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos | Nombre y Apellidos |
|  | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              | Firma              |

NOTA: ESTE FORMATO DEBE ESTAR DISPONIBLE E N LA GRUA DURANTE LA OPERACIÓN DE IZAJE.

## **Apéndice D**

# **Plan de Izaje de Elementos Prefabricados**

**Este apéndice trata sobre el plan de izaje de elementos prefabricados en el viaducto y esquemas de izaje en zonas restringidas.**

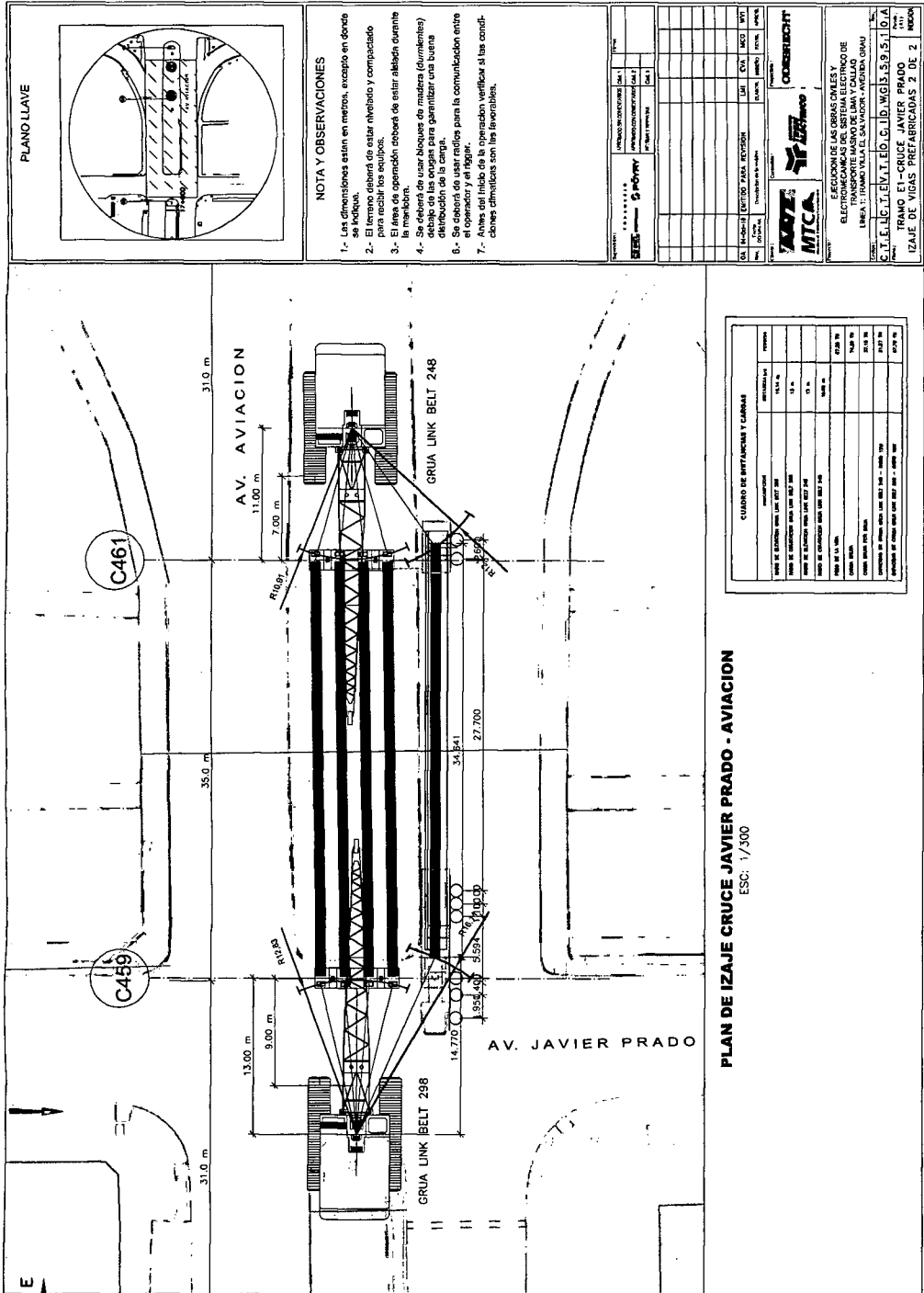
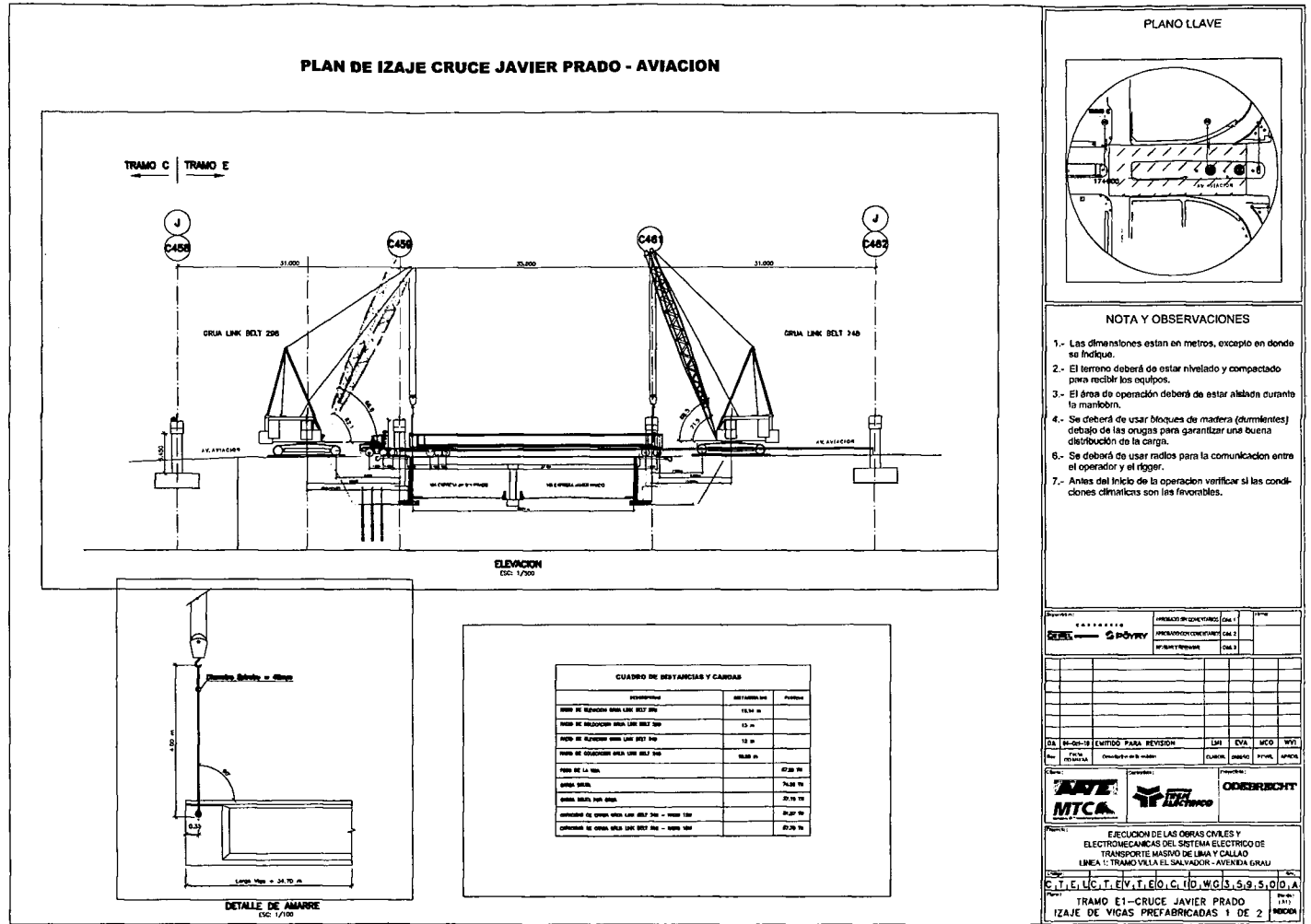



Figura D.1: Esquema de Plan de Izaje de Elementos Prefabricados.

Figura D.2: Esquema de Plan de Izaje de Elementos Prefabricados.



Cuadro D.1: Plan de Izaje de Elementos Prefabricados

|  <b>Plan de Izaje</b> |   |
|--|---|
| PAGINA 1/2   |   |
| PLAN DE IZAJE N°:  | _____ JSEA N°: _____                    |
| DESCRIPCION:   | <u>VIGAS PRE FABRICADAS</u>             |
| CATEGORIA DE IZAJE   | <u>CRITICO</u>                          |
| CONDICIONES DEL SUELO:   | <u>COMPACTADO</u>                       |
| UTILIDADES SUBTERRANEAS  | <u>SIN</u>                              |
| LINEAS DE TENSION EN ALTU  | <u>SIN</u>                              |
| OBSTRUCCIONES:   | <u>NO</u>                               |
| PREPARADO POR:   | _____ VELOCIDAD MAXIMA DE VIENTO: _____ |
| FECHA DE ENTREGA:  | _____ ILUMINACION REQUERIDA: <u>SIN</u> |
| FECHA PROGRAMADA DE CARGA:   | _____                                   |
| COMENTARIOS:   | _____                                   |
| FIRMAR PARA MOSTRAR CONFORMIDAD CON PLAN DE IZAJE  |   |
| <b>RP MONTAJE E IZAJE</b>  |   |
| NOMBRE:  | _____                                   |
| FIRMA:   | _____ FECHA: _____                      |
| COMENTARIO:  | _____                                   |
| <b>RP CALIDAD</b>  |   |
| NOMBRE:  | _____                                   |
| FIRMA:   | _____ FECHA: _____                      |
| COMENTARIO:  | _____                                   |
| <b>RP SSTMA</b>  |   |
| NOMBRE:  | _____                                   |
| FIRMA:   | _____ FECHA: _____                      |
| COMENTARIO:  | _____                                   |

**Notas:**

1. Peso de Carga Util: El peso del ítem a ser cargado. Incluye el peso del ítem, mas todos los adjuntos, soportes, etc. No incluye peso del aparejo.

2. Plan de izaje: Incluye dibujos de soporte, hojas de datos, metodo de trabajo, instrucciones especiales, ruta de transporte y documentos de izaje.

a. IZAJE LIGERO: 20 t o menor peso de carga <= 80% Capacidad según Tabla de Carga - no se necesita plan de izaje formal.


b. IZAJE MEDIANO: 20 ton < Carga Util < 50 ton o 80% Capacidad de Carga < Izaje < 90% Capacidad de Carga. Se requiere Hoja de Datos firmada por RP MONTAJE E IZAJE.

c. IZAJE PESADO: Carga Util > 50 t. El plan debera ser firmado por el RP MONTAJE E IZAJE.

d. IZAJE CRITICO: Izaje > 90% Capacidad de Carga; Varias Gruas izando donde cualquiera de ellas > 80% Capacidad de Carga o cuando cambio de ubicación de la grua es requerido. El plan de izaje debera sser firmado por el RP MONTAJE E IZAJE.

e. IZAJE CON VARIAS GRUAS: Varias Gruas se usan para el izaje. El plan sera firmado por el RP MONTAJE E IZAJE.

Cuadro D.2: Plan de Izaje de Elementos Prefabricados

|  <b>PLAN DE IZAJE</b>   |  | PAGE 2/2                           |
|--|--|------------------------------------|
| <b>HOJA DE DATOS PARA IZAJE</b>  |  |                                    |
| DESCRIPCION DE CARGA <u>VIGA PRE FABRICADA</u>   |  |                                    |
| GRUA   | <u>LINK-BELT 298 HSL</u>   | FECHA _____<br>REV. _____          |
| CONDICION DE LA CARGA  | NUEVA ( X ) USADA ( )<br>BUENA ( ) MALA ( )  | Fecha Carga _____<br>JSEA N° _____ |
| <b>GRUA</b><br>1. Fabricante de Grua <u>LINK-BELT</u><br>2. Modelo <u>298 HSL</u><br>3. Serie _____<br>4. Opciones de Contrapesos y Pluma <u>106,614</u><br><br><b>COLOCACION DE LA GRUA</b><br>1. Cimiento de la Grúa <u>COMPACTADO</u><br>2. Peligros Eléctricos en el Area <u>SIN</u><br>3. Tension de la Red Eléctrica. <u>10KV</u><br>4. Distancia Minima Para Trabajos. <u>3.MT</u><br>5. Obstrucción para la Elevación u Oscilación <u>NO</u><br>6. Dirección / Grado Oscilación de la Pluma <u>SIN</u><br><br><b>CARGA</b><br>1. Peso de la pieza a ser cargada <u>33,625 Kg</u><br>2. Permiso para material no considerado <u>1,866 Kg</u><br>3. Estribo <u>NO Kg</u><br>4. Bloque <u>1,500 Kg</u><br>5. Vigas de Elevación <u>200 Kg</u><br>6. Eslinga y Grilletes <u>500 Kg</u><br>7. Jib: Pequeño JIB <u>400 Kg</u><br>8. Bola de Cabeza de JIB <u>500 Kg</u><br>9. Cable (bloque principal) <u>600 Kg</u><br>10. Cable (línea de conexión) _____ Kg<br><br><b>CARGA TOTAL CON DEDUCCIONES</b> <u>39,191 Kg</u><br><br><b>ARRGLOS PARA EL IZAJE</b><br>1. Distancia Maxima del Centro de Carga al Centro de Rotacion de la Grúa <u>16 m</u><br><br>2a. Partes Principales <u>6</u><br>2b. Línea Arnes Manguera Principal <u>12,000 und</u><br>2c. Partes Auxiliares del Cable <u>1</u><br>2d. Línea Arnes Manguera Auxiliar <u>12,000 Kg</u><br><br>3. Diametro del Cable <u>25.4 mm</u><br>4. Longitud de Pluma <u>30.48 m</u><br>5. Angulo de la Pluma en Elevación <u>62.9 Deg</u><br>6. Angulo de la Pluma en Reposo <u>62.9 Deg</u><br><br>7. Jib<br>a. Va ser usado el JIB <u>NO</u><br>b. Longitud <u>NO</u><br>c. Offset Angulo <u>NO</u><br><br>8. Chart Cap at Severest Lift Condition <u>57.570 Kg</u><br>a. Sobre Posterior _____<br>b. Sobre Lado _____<br>c. Sobre Anterior _____<br>d. Presión de Rodamiento (max) _____<br>e. Capacidad Elevación Grúa <u>57,700 Kg</u><br>f. Total peso de carga útil que va a ser recogido incluyendo deducciones <u>39,191 Kg</u><br>g. Porcentaje de Capacidad de Carga usado <u>68%</u> | <b>MEDIDAS DE ESLINGAS Y GRILLETES</b><br>1. Selección de estrobos de acero <u>2</u><br>a. Largo de Eslingas (enganche del accesorio) <u>4m</u><br>b. (01)Estrobo Acero.(02)Eslinga poliester. <u>1</u><br>c. Angulo de Eslinga (grados) <u>90°</u><br>d. Ancho de Eslinga.(dimametro) <u>45mm</u><br>e. Tensión Axial de carga sobre (eje. considering 2 legs take load) <u>NO</u><br>f. Rango de Capacidad de la Eslinga <u>28 TON</u><br><br>2. Selección de Grillete<br>a. Ancho de Grillete (H mm) _____<br>b. Diametro del pasador _____<br>c. Capacidad de la Grillete _____<br>d. Capacidad de Enganche (pines de acero 5") <u>80 TON</u><br><br><b>CHECK LIST DE PRE-IZAJE</b><br>1. Check List de la Grúa <input type="checkbox"/><br><br>2. Grúa Operativamente correcta <input type="checkbox"/><br><br>3. La Izaje Esta de Acuerdo Com Lift Plan <input type="checkbox"/><br><br>4. Posicion de la Grúa conforme al plan de izaje <input type="checkbox"/><br><br>5. Check List de Cimiento de la Grúa <input type="checkbox"/><br><br>6. Radio revisado <input type="checkbox"/><br><br>7. Pluma libre de obstaculos <input type="checkbox"/><br><br>8. Condiciones de Clima y Viento Aceptables <input type="checkbox"/><br><br>9. Comunicaciones Especificadas en lugar <input type="checkbox"/><br><br>10. Presencia de Operador Calificado y Equipo de Elevación <input type="checkbox"/><br>11. Engranajes de encaje y lineas en posición <input type="checkbox"/><br><br>12. Unidades de Operación notificadas y Ok <input type="checkbox"/><br><br>13. Línea Guía en Posición <input type="checkbox"/><br><br>14. Charla pre-izaje dictada <input type="checkbox"/><br><br>15. Patrullas de área de elevación en posición <input type="checkbox"/><br><br>16. Gancho de Oscilación Con o Sin Bloqueo <input type="checkbox"/><br><br>17. Trabajo NDE realizado en tornillos soldados <input type="checkbox"/><br><br>18. Grilletes, eslingas, inspeccionadas <input type="checkbox"/><br><br><b>POST CARGA CHECKLIST</b><br>1. Remover todas las líneas guías, montaje <input type="checkbox"/><br>2. Sacar Barreras Temporales <input type="checkbox"/><br>3. Limpiar el area <input type="checkbox"/> |                                    |