



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN EL HABILITADO DE ACERO
ASTM A615-GRADO 60, PARA EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA LA VIRGEN

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Rojas Espinoza, Hilario Gabriel

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo
(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

García Urrutia Olavarría, Roque Jesús Leonardo

Arevalo Vidal, Samir

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

Lima - Perú

2023





FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN EL HABILITADO DE ACERO
ASTM A615-GRADO 60, PARA EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA LA VIRGEN

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano - rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y geotecnia

TESIS para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Rojas Espinoza, Hilario Gabriel

ASESOR:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

García Urrutia Olavarría, Roque Jesús Leonardo

Arevalo Vidal, Samir

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

Lima – Perú

2023

HOJA DE RESPETO

DEDICATORIA

A mi querida madre, Virginia Espinoza Torres por su dedicación, esfuerzo y apoyo que siempre me brinda en la consecución de mis metas profesionales.

A mi padre y hermanas; por sus consejos los cuales me motivan a superarme cada día más.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría empezar agradeciendo a mi asesor de tesis el ingeniero Gustavo Adolfo Aybar Arriola, por su dedicación, consejos y apoyo incondicional para el desarrollo de la tesis presente.

A mi familia y amigos, para ellos un agradecimiento sincero por el apoyo y buenos deseos hacia mi persona.

A mi hijo Mauricio Gabriel Rojas Jorge y mi hija Gisell Antonella Rojas Jorge, quienes, con su sola presencia en mi vida, me motiva a crecer personal y profesionalmente.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 3 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 4 |
| <i>1.3.1 Objetivo General</i> | <i>4</i> |
| <i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i> | <i>4</i> |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 1.5 HIPÓTESIS..... | 6 |
| II. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1 LA CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN | 7 |
| <i>2.1.1 Control y Aseguramiento de la Calidad en la Construcción.....</i> | <i>9</i> |
| 2.1.1.1 Características de la construcción y la calidad | 9 |
| 2.1.1.2 Política de Calidad | 9 |
| 2.1.1.3 Control de Procesos Operativos | 10 |
| 2.1.1.4 Plan de Puntos de Inspección y Ensayo (PPI)..... | 10 |
| 2.1.1.5 Plan de Inspección de Materiales (PIM)..... | 11 |
| 2.1.1.6 Procedimientos Operativos de control..... | 11 |
| 2.1.1.7 Protocolos y Registros de Calidad..... | 11 |
| 2.2 HABILITADO DEL ACERO ASTM A-615 G-60..... | 12 |
| <i>2.2.1 El Acero ASTM A-615 - Grado 60</i> | <i>12</i> |
| <i>2.2.2 El Habilitado de Acero ASTM A615 – Grado 60.....</i> | <i>13</i> |
| 2.2.2.1 Introducción | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2.2 Manejo y Almacenamiento Primario de Materiales..... | 17 |
| 2.2.2.3 Despiece primario del Acero ASTM A615 – Grado 60 | 19 |
| 2.2.2.4 Puesta en Marcha y Habilitado con Maquina Dobladora | 21 |
| 2.2.2.5 Habilitado Manual en Piso Nivelad..... | 23 |
| 2.2.2.6 Transporte y Colocación en Punto de Acopio | 24 |
| 2.2.2.7 Secuencia del Habilitado de Acero ASTM A-615 – Grado 60 | 26 |
| III. MÉTODO | 27 |
| 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN | 27 |
| 3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL..... | 27 |
| 3.2.1 <i>Ficha Técnica</i> | 28 |
| 3.2.2 <i>Información General</i> | 29 |
| 3.2.2.1 Ubicación | 29 |
| 3.2.2.2 Planos De Obra | 29 |
| 3.2.3 <i>Etapas del Proyecto</i> | 29 |
| 3.2.3.1 Etapa 1 – Excavación y Sostenimiento de Túnel de Conducción .. | 29 |
| 3.2.3.2 Etapa 2 – Estructura de Concreto Armado del Túnel de | |
| Conducción..... | 31 |
| 3.2.4 <i>Cronograma de Obra</i> | 32 |
| 3.2.5 <i>Presupuesto del Proyecto</i> | 35 |
| 3.2.5.1 Presupuesto De Acero ASTM A615 – Grado 60 | 37 |
| 3.3 VARIABLES | 41 |
| 3.3.1 <i>Variable independiente</i> | 41 |
| 3.3.2 <i>Variable dependiente</i> | 41 |
| 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA | 41 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.4.1 | <i>Población</i> | 41 |
| 3.4.2 | <i>Muestra</i> | 41 |
| 3.5 | INSTRUMENTOS | 41 |
| 3.6 | PROCEDIMIENTOS | 42 |
| 3.7 | ANÁLISIS DE DATOS | 42 |
| 3.7.1 | <i>Plan de Puntos de Inspección y Ensayo</i> | 44 |
| 3.7.2 | <i>Plan de Inspección de Materiales</i> | 48 |
| 3.7.3 | <i>Elaboración, Aprobación y Difusión del Procedimiento de Trabajo</i> | 50 |
| 3.7.4 | <i>Protocolos de Calidad</i> | 52 |
| a) | Protocolo habilitado y colocación de acero | 52 |
| 3.7.5 | <i>Problemas presentados en el Habilitado del Acero de Refuerzo del Canal de Conducción Subterráneo</i> | 55 |
| 3.7.6 | <i>No Conformidades y Acciones Correctivas para el Túnel de Conducción</i> | 58 |
| 3.7.6.1 | No Conformidad 1: Arcos asimétricos de acero ASTM A-615 Grado 60 | 59 |
| 3.7.6.1.1 | <i>Acciones Correctiva: Reajuste mixto y sistematizado de arcos de acero corrugado</i> | 60 |
| 3.7.6.2 | No Conformidad 2: Exposición del acero de refuerzo transversal en concreto endurecido – Túnel de Conducción | 64 |
| 3.7.6.2.1 | <i>Acciones correctivas de solución a la exposición del refuerzo posterior al vaciado y fraguado de la pantalla de concreto armado</i> | 65 |
| IV. | RESULTADOS | 67 |
| 4.1 | IMPACTO EN EL COSTO DE OBRA | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1.1 | <i>Costo de No Conformidad 1</i> | 67 |
| 4.1.2 | <i>Costo de No Conformidad 2</i> | 68 |
| 4.1.3 | <i>Resumen de costo de reparaciones</i> | 70 |
| 4.2 | TIEMPO DE REPARACIÓN DE LAS NO CONFORMIDADES | 72 |
| V. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 74 |
| 5.1 | IMPLEMENTACIÓN DEL SGC EN EL PROYECTO | 74 |
| 5.1.1 | <i>Costo de Implementación del SGC</i> | 75 |
| 5.2 | RESULTADOS FINALES | 78 |
| VI. | CONCLUSIONES | 81 |
| VII. | RECOMENDACIONES | 82 |
| VIII. | REFERENCIAS | 83 |
| IX. | ANEXOS | 85 |
| 9.1 | ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA. | 86 |
| 9.2 | ANEXO B: PLANOS DE OBRA. | 87 |
| 9.3. | ANEXO C: PROGRAMACIÓN DE OBRA. | 96 |
| 9.4. | ANEXO D: PANEL FOTOGRÁFICO. | 98 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: TIPOS DE ACERO DE REFUERZO..... | 14 |
| FIGURA 2: DISPOSICIÓN DE ARCOS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 EN UNA SECCIÓN TÍPICA DE LA ZONA 2 DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN | 16 |
| FIGURA 3: PUESTA EN CAMPO DE LAS VARILLAS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 SOBRE SOLERAS DE MADERA. | 18 |
| FIGURA 4: CUBRIMIENTO DE LAS VARILLAS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60..... | 18 |
| FIGURA 5: CORTE DE LAS VARILLAS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 EN CAMPO CON EL USO DE UNA CIZALLA MECÁNICA | 19 |
| FIGURA 6: DESPIECE DE BARRAS DE ACERO A HABILITAR PARA LOS REFUERZOS DISEÑADOS EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN PARA LAS DISTINTAS ZONAS DE TRABAJO..... | 20 |
| FIGURA 7: SE MUESTRA EN LA FIGURA LAS MARCAS CON TIZA BLANCA EN LAS VARILLAS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 CADA 20 CM PARA SU POSTERIOR ROLADO EN LA MÁQUINA DOBLADORA..... | 21 |
| FIGURA 8: ALABEO DE LAS VARILLAS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 | 22 |
| FIGURA 9: EN LA FIGURA SE PUEDE OBSERVAR A UN OPERARIO Y TRES AYUDANTES REALIZANDO LA LABOR DE AJUSTE PARA LA FINALIZACIÓN DEL HABILITADO DE LOS ARCOS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 | 23 |
| FIGURA 10: ARCOS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 CORRECTAMENTE HABILITADOS PARA SU COLOCACIÓN EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN | 24 |
| FIGURA 11: PREPARACIÓN DE LOS ARCOS PARA EL TRANSPORTE AL TÚNEL DE CONDUCCIÓN... | 25 |
| FIGURA 12: POSICIONAMIENTO DE LOS ARCOS HABILITADOS EN LOS VEHÍCULOS DE TRANSPORTE | 25 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 13: ESQUEMA GENERAL DE LA SECUENCIA DEL HABILITADO DEL REFUERZO TRANSVERSAL DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE LA C.H. LA VIRGEN | 26 |
| FIGURA 14: FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA VIRGEN | 28 |
| FIGURA 15: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO HIDROENERGÉTICO | 29 |
| FIGURA 16: VISTA EN PLANTA DE LAS PROGRESIVA DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN PROYECTADO | 31 |
| FIGURA 17: DETALLE DEL HORMIGÓN ARMADO CON LA METODOLOGÍA DE TRABAJO SHOTCRETE Y LOS RELLENOS DE ESPACIOS CRÍTICOS | 32 |
| FIGURA 18: CRONOGRAMA DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN (1/2)..... | 33 |
| FIGURA 19: CRONOGRAMA DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN (2/2)..... | 34 |
| FIGURA 20: PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO (1/2)..... | 35 |
| FIGURA 21: PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO (2/2)..... | 36 |
| FIGURA 22: ESQUEMA GENERAL DE LAS ZONAS DE TRABAJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN A AGUA | 39 |
| FIGURA 23: METRADO EN KG DEL ACERO DE REFUERZO PARA DISTINTAS ZONAS DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN | 40 |
| FIGURA 24: METRADO EN KG DEL ACERO DE REFUERZO PARA DISTINTAS ZONAS DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN | 59 |
| FIGURA 25: DOBLADO DE ACERO CON MÁQUINA DOBLADORA ALBA..... | 60 |
| FIGURA 26: ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE ESTACAS EN PISO NIVELADO PARA REAJUSTE DE ARCOS DE ACERO CORRUGADO | 62 |
| FIGURA 27: REAJUSTE MANUAL EN PISO NIVELADO DE LOS ARCOS DE ACERO CORRUGADO..... | 62 |
| FIGURA 28: VERIFICACIÓN DE LONGITUD DE TRASLAPE TRAS HABILITADO | 63 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 29: VERIFICACIÓN DE LONGITUD DE ARCO TRAS REAJUSTE DE HABILITADO DE LOS ARCOS DE ACERO CORRUGADO | 63 |
| FIGURA 30: COLOCADO DE ARCOS CORRECTAMENTE HABILITADOS DE ACERO INFERIORES Y SUPERIORES CON EL SOSTENIMIENTO DE CABALLETES DEL MISMO MATERIAL EN LA BASE | 64 |
| FIGURA 31: ABLA DE INCIDENCIA DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SGC PROPUESTO RESPECTO AL COSTO DIRECTO TOTAL DE LA PARTIDA DE ACERO CORRUGADO | 78 |
| FIGURA 32: TABLA DE INCIDENCIA DEL COSTO DE REPARACIÓN DE LAS NO CONFORMIDADES RESPECTO AL COSTO DIRECTO TOTAL DE LA PARTIDA DE ACERO CORRUGADO | 79 |
| FIGURA 33: GRÁFICO DE LOS COSTOS COMPARATIVOS DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN ESTUDIADAS..... | 80 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1. PROCESOS CRÍTICOS, HABILITADO DE ARCOS DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60..... | 44 |
| TABLA 2. TIPOS DE INSPECCIÓN – PPI..... | 45 |
| TABLA 3. PLAN DE PUNTOS DE INSPECCIÓN Y ENSAYO DEL HABILITADO DE ARCOS DE REFUERZO TRANSVERSAL DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 PARA EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE AGUA | 47 |
| TABLA 4. TIPOS DE INSPECCIÓN- PIM..... | 48 |
| TABLA 5. PLAN DE INSPECCIÓN DE MATERIALES DEL HABILITADO DE ARCOS DE REFUERZO TRANSVERSAL DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 PARA EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE AGUA | 49 |
| TABLA 6. FORMATO DE APROBACIÓN Y EMISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DEL PROYECTO..... | 51 |
| TABLA 7. PROTOCOLO DE COLOCACIÓN DE ACERO ASTM A-615 GRADO 60 EN TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE AGUA | 54 |
| TABLA 8. FORMATO DE REGISTRO DE NO CONFORMIDADES Y ACCIONES CORRECTIVAS..... | 57 |
| TABLA 9. RELACIÓN DE NO CONFORMIDADES EN EL HABILITADO DEL ACERO DE REFUERZO DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN. | 67 |
| TABLA 10. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA REPARACIÓN DE LAS PANTALLAS DE CONCRETO ARMADO DEL CON EL ACERO DE REFUERZO TRANSVERSAL EXPUESTO. | 68 |
| TABLA 11. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REAJUSTE DE ARCOS DE ACERO CORRUGADO POR KG..... | 69 |

| | |
|---|----|
| TABLA 12. COSTO TOTAL DE LAS REPARACIONES DE LAS NO CONFORMIDADES. TÚNEL DE CONDUCCIÓN..... | 71 |
| TABLA 13. TIEMPO ESTIMADO PARA LEVANTAMIENTO DE NO CONFORMIDADES..... | 73 |
| TABLA 14. COSTOS DE LAS EVALUACIONES DENTRO DEL SGC PROPUESTO | 75 |
| TABLA 15. COSTOS DE PREVENCIÓN ENFOCADA A LA CAPACITACIÓN DEL PERSONAL. ... | 76 |

RESUMEN

En la presente tesis se realizará el control de calidad en el habilitado de acero ASTM A 615 - grado 60, en el túnel de conducción de la central hidroeléctrica “La Virgen”, procedimiento constructivo que tiene ventajas estructurales y arquitectónicas frente a un habilitado convencional. En lo que respecta al sistema de habilitado de acero ASTM A615 – grado 60, se indican criterios y controles básicos que debe implementar la constructora en el proyecto. En lo que respecta al acero ASTM A 615, desarrollaremos el proceso del habilitado, su control de calidad, los problemas más frecuentes que se presentan en este tipo de sistema y como caso particular analizaremos el habilitado del acero ASTM A615 – grado 60 para el túnel de conducción del proyecto investigado. También analizaremos los costos de No conformidades y retrasos del proyecto investigado, para visualizar la importancia de un correcto control de calidad en el habilitado del acero ASTM A615 – grado 60, ya que, en un proyecto de construcción, no solo se realiza el control de tiempo y costo, sino también el adecuado control de calidad, para así poder garantizar el cumplimiento de los plazos, costos y satisfacción del cliente. Finalmente analizaremos los indicadores de costo y tiempo obtenidos en el desarrollo de la investigación del proyecto ejemplo, planteamos una propuesta de mejora y recomendaciones para llevar un correcto control de calidad en el habilitado de acero ASTM A615 – grado 60.

Palabras Clave: control de calidad del acero, habilitado del acero ASTM A615 – grado 60, protocolos de calidad, No Conformidades.

ABSTRACT

In this thesis, the quality control will be carried out in the ASTM A 615 – grade 60 steel fitting, in the conduction tunnel of the “La Virgen” hydroelectric power plant, a construction procedure that has structural and architectural advantages compared to a conventional fitting. With regard to the ASTM A615 – grade 60 steel qualification system, basic criteria and controls are indicated that the construction company must implement in the project. Regarding the ASTM A615 steel, we will develop the qualification process, its quality control, the most frequent problems that arise in this type of system and as a particular case we will analyze the qualification of ASTM A615 for the tunnel. Management of the investigated project. We will also analyze the costs of Non-conformities and delays of the investigated project, to visualize the importance of a correct quality control in the qualification of the ASTM A615 – grade 60 steel, since, in a construction project, not only the control of time and cost, but also adequate quality control, in order to guarantee compliance with deadlines, costs and customer satisfaction. Finally, we will analyze the cost and time indicators obtained in the development of the investigation of the example project, we propose an improvement proposal and recommendations to carry out a correct quality control in the ASTM A615 – grade 60 steel enabled.

Keywords: steel quality control ASTM A615- grade steel enabled, quality protocols, Non-Conformities.

I. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos para poder ejecutar un proyecto de construcción debemos tener en cuenta cuatro conceptos esenciales para su desarrollo; El Tiempo, Costo, Calidad y Seguridad y solo así podremos obtener proyectos exitosos, ejecutándolos en los plazos establecidos, con los menores costos, muy buena calidad y la mayor seguridad.

El modo convencional de controlar los proyectos durante su ejecución se basa en el control de tiempo y control de costo, pero son muy pocas las empresas constructoras que realizan un control de calidad en sus procesos, los cuales son conscientes que al realizar estos controles en proceso constructivo minimizan los trabajos rehechos y las reparaciones, en consecuencia minimizan sus tiempos de trabajo y costos de mano de obra y materiales, además de obtener la satisfacción del cliente, quien podrá recomendar en los proyectos futuros.

Pero poder llevar el control de calidad de los procesos es una tarea difícil, el personal de staff y obreros deben estar concientizados con el concepto de calidad. Se deben implementar procesos adecuados y la manera de controlar esos procesos, además todas estas deben estar respaldadas por una política de calidad de la empresa constructora.

El presente trabajo se basa en la experiencia práctica en una empresa encargada de realizar grandes proyectos de construcción. En esta oportunidad el proyecto en estudio realiza controles en todos sus procesos y en uno muy particular; realiza el control de calidad del habilitado de acero ASTM A615 - grado 60, con la incorporación de una maquina dobladora y el personal obrero especializado, que en los últimos años se están usando con mayor frecuencia y sin un debido control de calidad.

El objetivo de la presente tesis para optar el título de Ingeniero Civil es indicar los criterios generales que se deben seguir para realizar un adecuado control de calidad del habilitado de acero ASTM A615 – grado 60, además de demostrar la importancia del control de calidad en un proyecto de construcción.

En conclusión, un adecuado control de calidad en cada proceso constructivo, nos garantiza productos de calidad, mantener los trenes de trabajo, reducir los costos de las diversas partidas, mejorar el gerenciamiento del proyecto y satisfacción de nuestros clientes.

1.1 Descripción y formulación del problema

En los sistemas de trabajo a nivel nacional sobre el habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60 para la elaboración de arcos simétricos, se utiliza un sistema convencional donde existen dos partes bien marcadas la utilización de trampa y mano de obra calificada, aquí el nuevo sistema a utilizar consiste en la incorporación de una maquina dobladora eléctrica y mano de obra especializada en la ejecución de este trabajo. Todo esto nos lleva a realizar un debido control del proceso de habilitado del acero ASTM A 615 – grado 60, evitando atrasos y pérdidas económicas debido a la aparición de deflexiones y fisuras en el túnel de conducción, esto debido a un mal proceso en el habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60.

Todo esto nos lleva a la necesidad de contar con controles de calidad básicos en el habilitado del acero ASTM A615 – grado 60, los cuales permitan garantizar un adecuado proceso constructivo y por ende alcanzar los plazos, costos y calidad requeridos por el cliente.

¿Por qué la mayoría de acero ASTM A 615 – grado 60 habilitado no cumple con las especificaciones alcanzadas por los planos estructurales, provocando pérdidas económicas y atraso en el avance del proyecto y cuáles son los procedimientos adecuados para su reparación?

Muchos de los proyectos que se desarrollan en el transcurso del tiempo, se van ejecutando con procesos constructivos más eficientes y por ende innovadores, como es el caso de la habilitación del acero ASTM – A615 grado 60, pero no es solo ejecutarlo sino también controlarlo.

El habilitado del acero ASTM – A615 grado 60 es un proceso constructivo innovador en nuestro país, cada vez se están siendo más utilizado en los proyectos, pero no están siendo

controlados de manera adecuada, ya que el control no solo pasa por el tiempo y costo sino por la calidad.

1.2 Antecedentes

En el contexto nacional, el principal indicador de crecimiento económico está relacionado con el sector de la construcción, esto comprende el consumo de barras de acero, cemento, agregados y otros materiales de construcción.

La tecnología más difundida y utilizada en la construcción es la del concreto armado, en especial la manipulación de los aceros de construcción, donde tiene que ver el diseño que se pide en su modelado, esto nos lleva a tener horarios extendidos de trabajos en la habilitación de este acero ASTM A615, ya que existe la carencia de un procedimiento eficiente en el habilitado.

Por la necesidad de las horas extendidas de trabajo, la falta en la entrega del material para cumplir el cronograma de obra, los gastos adicionales a los que conlleva, se requiere sistematizar el proceso mediante el uso de máquinas industriales. Esto nos permitirá evitar problemas que se presenten en el habilitado de acero ASTM A615 – grado 60, a la vez se presentan procedimientos para las reparaciones patológicas frecuentes

El Perú, por ser un país ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico tiene la necesidad de contar con sistemas constructivos más eficientes y económicos de lo que comúnmente se utilizan, lo que requiere de nuevos conceptos en el diseño y la construcción de otros tipos de losas estructurales en edificaciones.

En los proyectos de ingeniería siempre se han habilitado el acero ASTM A615 – grado 60, manualmente, con la ayuda de unas trampas de acero fundido y unos tubos según el diámetro requerido.

Hace unos años, Aceros Arequipa incorporó el predimensionamiento del acero ASTM A615 – grado 60, en un taller que reúne las características de ingeniería para su desarrollo y un

control de los procesos, pero se vio la necesidad de llevar estos procesos a los diversos campos de la construcción, como es el caso del presente proyecto Central hidroeléctrica La virgen.

El boom de la construcción en nuestro país, ha sido uno de los factores que ha incentivado a las empresas relacionadas con la ingeniería y construcción a desarrollar nuevos procesos constructivos, que mejoren cada vez más la eficiencia de diversos proyectos, optimizando de esta manera una serie de recursos como materiales, mano de obra, tiempo, etc.

Hoy en día el uso del predimensionamiento del acero ASTM A615 – grado 60 repercute en la reducción del tiempo de planeamiento de los proyectos de ingeniería al reducir los procedimientos iterativos de diseño estructural y optimizar el tren o secuencia de actividades de este tipo de procesos.

La relación de los siguientes ítems, como: los problemas, los objetivos y las hipótesis se puede observar en la matriz de consistencia se puede (ver Anexo A).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la implementación y el control de calidad de acero ASTM A 615 – grado 60 de la central hidroeléctrica “La Virgen” en Junín, en el año 2017.

1.3.2 Objetivos Específicos

Determinar en qué medida se relaciona el control de la calidad y los procesos críticos en el habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica “La Virgen” en Junín, en el año 2017.

Determinar en qué medida se relaciona el control de la calidad y el procedimiento de trabajo en el habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica “La Virgen” en Junín, en el año 2017.

Determinar en qué medida se relaciona el control de la calidad y la casuística en el habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica “La Virgen” en Junín, en el año 2017.

1.4 Justificación

Se entiende que para poder realizar un control de calidad debemos contar con una gestión de calidad conceptos básicos que deben estar respaldadas por una política de calidad, el cual es el compromiso de la empresa con este sistema de gestión, partiendo de esto cuando vamos a ejecutar un control de calidad de un proceso constructivo ya debemos tener implementado todo un conjunto de controles y registros aprobados para su desarrollo.

En los proyectos de centrales hidroeléctricas, especialmente en el túnel de conducción, donde la partida de acero tiene un rol muy importante en concreto armado, ya que son arcos simétricos de 7.30m y 7.58 m de longitud, los cuales van colocados en la parte transversal del túnel, mientras que el acero longitudinal son barras rectas completas, estos dos elementos van estrechamente vinculados y amarrados por el alambre negro recocado N.º 16 en cada intersección de estos.

Esta nueva metodología de trabajo a emplear consiste en dos pasos muy vinculados, el primero es incorporar un maquina dobladora eléctrica con el personal calificado para el habilitado preliminar en banco, la segunda parte consiste en el ajuste manual en el piso, donde se realiza el molde de un arco con la ayuda de unas estacas incrustadas en el piso de concreto nivelado. Concretando así cada arco habilitado. Obteniendo como resultado un arco perfecto.

El proyecto Central hidroeléctrica “La Virgen” ubicado en el distrito de San Ramón, departamento de Junín. Es ideal para realizar un eficiente control de calidad en su proceso. Debido a que es una central hidroeléctrica de gran envergadura en la selva central del país, el

túnel de conducción tiene una longitud total de 5,423 m y una sección de conducción de 12.75 m² (3.75x3.80)

La importancia del control de calidad en el habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60 radica en que nos permitirá garantizar que las especificaciones pedidas por los planos estructurales estarán dentro de los parámetros de diseño, en lo cual evitaremos incurrir en sobre costos, utilización innecesaria de recursos no planificados y atrasos significativos en el proyecto; debido a que el trabajo en el interior del túnel representa la ruta crítica del proyecto. Así como contar con procedimientos estandarizados en la reparación de estos elementos ya habilitados para garantizar la calidad y plazo del proyecto establecido con el cliente.

1.5 Hipótesis

Existe una relación significativa entre la implementación y el control de calidad del acero ASTM A 615 – grado 60 de la central hidroeléctrica “La Virgen” en Junín, en el año 2017.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 La Calidad En La Construcción

Si bien es cierto que hoy en día se disponen de marcos normativos y estándares globales orientados a asegurar la calidad en los procesos de los distintos tipos y modelos de industrias, estos son relativamente jóvenes; puesto que, a lo largo de la historia, especialmente la industrial, el concepto de la calidad ha ido cambiando. En un inicio la calidad se tenía comprendido exclusivamente en el contacto directo del usuario y el fabricante. Posterior a la aparición de las teóricas de producción en masa y el incremento de la producción, la teoría de la calidad se asoció exclusivamente a la producción y finalmente a un enfoque semi aislado entre planificación y ejecución.

Ante esta situación se aplicó inicialmente medidas para asegurar la calidad con la inclusión de inspecciones en los procesos críticos que posea la industria. La inspección es definida como aquel proceso orientado a determinar, en cada fase del proceso de fabricación, si el cuerpo analizado ésta o se está llevando a cabo correctamente, comprobando que se cumplan todas las condiciones exigidas en las bases técnicas del producto terminado, y así asegurar los estándares de calidad previstas en un proyecto” (Sánchez, 1969). Sin embargo, este criterio no se enfoca en la satisfacción del cliente, puesto que solo se analizan los procesos en una forma aislada excluyendo medidas orientados a mejorar la calidad o identificar la causa de las fallas y evitar que se vuelvan a suscitarse.

En este sentido, atraídos por el “boom” tecnológico de los últimos años y la apertura de nuevos mercados, las industrias han cambiado radicalmente el concepto que tenían sobre la calidad. Se tiene la idea de que las inspecciones son insuficientes para asegurar la calidad de los procesos y los productos. Es necesario que esta se vea integrada en la política de la empresa y se deriven las responsabilidades tanto a la administración como a la ejecución directa de los procesos.

Las industrias y así también las normativas globales basan sus sistemas de gestión de la calidad en los principios estudiados por Deming y desarrollados por Cruz (1990):

- Política de calidad: todo el conjunto de intenciones y directrices de una organización para conseguir la calidad como se expresa al nivel superior de ella.
- Administración de calidad: los aspectos de toda la función administrativa que determina e implementa la política de calidad.
- Sistema de calidad: la estructura organizacional, responsabilidades, procesos y recursos para implementar la administración de calidad.
- Aseguramiento de calidad: todas las acciones sistemáticas y planeadas, necesarias para entregar la confianza requerida de que la estructura, sistema y componente se desenvolverán en forma satisfactoria cuando esté en servicio, satisfaciendo los requerimientos establecidos.
- Control de calidad: son todas las acciones de aseguramiento de la calidad, las cuales entregan medios para controlar y medir las características de un material, estructura, o sistema con requerimientos establecidos.

A diferencia de las industrias manufactureras y/o mecanizadas, donde las líneas de producción son repetitivas y ubicadas en ambientes únicos e inamovibles (centro de producción), en el caso de la construcción, el panorama cambia rotundamente. En la construcción, las líneas de producción varían acorde al proyecto. Tal como lo indica el PMBOK® 6 cada proyecto es único y por tal, hace imposible la aplicación de exactamente las mismas técnicas de producción en proyectos que a primera vista parezcan iguales. La ubicación del terreno, así como la complejidad del trabajo serán determinantes en la elección de la metodología constructiva a implementar, teniendo como criterio básico la optimización de los costos y el tiempo que tome completar el alcance proyectado. Es esta alta variabilidad la que ha hecho que se adopten constantemente nuevos estudios enfocados a la mejora de la calidad de los procesos constructivos,

consiguiendo resultados que han logrado mejorar la productividad y calidad de distintos proyectos.

Dentro del marco de la construcción, se puede definir a la calidad como el grado de cumplimiento con los requerimientos. Esta definición, aunque no en forma explícita, incluye el concepto de que, finalmente, es el cliente el que evalúa la calidad o la falta de ella. El objetivo de satisfacer al cliente es la meta que se debe fijar el constructor o diseñador (Gajardo y Serpell, 1990).

2.1.1 Control y Aseguramiento de la Calidad en la Construcción

2.1.1.1 Características de la construcción y la calidad. Para afrontar las deficiencias en la calidad de las construcciones modernas, se intentó en un inicio llevar el control de la calidad de los procesos con herramientas estadísticas, reduciendo así el número de errores en la producción. Esta metodología, aunque mantenía beneficios superiores a la no aplicación de herramientas de control, era insuficiente y en ciertas ocasiones ineficaz. Es así, que hoy en día de hoy se tiene la idea de que la calidad en la construcción debe amplificarse, aplicando teorías estadísticas para identificar las incidencias y dar soluciones integrales enfocadas en mejorar el sistema de producción y mitigar problemas futuros. Este concepto más generalizado permite que se logre el aseguramiento de la calidad (Q.A. por sus siglas en inglés) y el control de la calidad (Q.C por sus siglas en inglés) y una política implementada en este sentido por la administración.

2.1.1.2 Política de Calidad. Toda empresa que busca adoptar un modelo de gestión de calidad debe implementar una política de calidad, donde plantee los propósitos y principios de su sistema enmarcados en los objetivos que tenga la empresa, es decir, en función de su visión y misión empresarial.

Para que la empresa, en especial la abocada a obras de construcción tiene que asegurar que su política de calidad:

- Cumpla con los requisitos y mejore la eficacia del sistema de gestión.
- Establezca en ella los objetivos de calidad.
- Sea informada a todo el staff administrativo y operativo de la empresa.
- Se mantenga en una constante revisión para su aplicación continua.

2.1.1.3 Control de Procesos Operativos. En el control de la calidad, tenemos que hacer uso de herramientas de planificación para poder establecer una inspección detallada de los puntos críticos para cada proceso seleccionado, así como los materiales dispuestos en obra. Para esto se tiene que elaborar el Plan de Puntos de Inspección y Ensayo (PPI) en los procesos críticos y el Plan de Inspección de Materiales (PIM), documentando el procedimiento constructivo y verificando el proceso con Protocolos y Checklist.

2.1.1.4 Plan de Puntos de Inspección y Ensayo (PPI). La identificación de los procesos críticos a evaluar debe realizarse en conjunto con el Jefe de Producción y el Jefe de Aseguramiento y/o Control de Calidad para su posterior desglose en los procedimientos clave de dicho proceso.

En general, cada plan de puntos de inspección debe estar relacionado a este esquema:

- **Actividad:** la cual se está controlando.
- **Documento Asociado:** al cual se tendrá que consultar para evaluar la actividad (Normas Técnicas, Especificaciones Técnicas, Plano, etc.).
- **Método de Inspección:** que se adoptará para la inspección de determinada actividad (Ensayos, Inspección visual, etc.).

- **Responsable:** de la inspección de cada actividad, los cuales se definen en las reuniones semanales y dependiendo del tipo de actividad, pueden ser el Jefe de Producción, Oficina Técnica, Aseguramiento y/o Control de Calidad, Topógrafo, Supervisor, etc.).
- **Criterios de Aceptación:** recopilados de los documentos asociado a su revisión.
- **Registro:** o documentación de la inspección.

2.1.1.5 Plan de Inspección de Materiales (PIM). Se refiere al control de los materiales principales para la ejecución de los procesos críticos. Se identifican de acuerdo al costo, tiempo de duración en la obra, cantidad e incidencia de uso. Tras identificarlos se los analiza con la metodología pertinente para el tipo de material seleccionado.

2.1.1.6 Procedimientos Operativos de control. A diferencia de la industria manufacturera, donde los procesos en serie homogenizan los procesos y hacen su registro fácil de describir, en la construcción se disponen de procesos y procedimientos variables para la ejecución de tareas específicas y por tal difícilmente describibles si queremos registrar el procedimiento en base a un trabajo ya ejecutado. Es por eso que se elaboran los procedimientos operativos de control, para tener descrito como se realizó la tarea a inspeccionar y así evaluarla a detalle en cada estación de trabajo.

Es habitual emplear herramientas de descripción visual, como el Diagrama de Flujo, para detallar el procedimiento operativo o constructivo de determinado trabajo. Sin embargo, también es permitido elaborarlo de forma secuencial o enlistada en un documento básico.

2.1.1.7 Protocolos y Registros de Calidad. Es un documento en constante actualización, donde se depositan los resultados obtenidos o que proporcionan evidencia de las actividades desempeñadas.

En la elaboración de un protocolo de calidad se debe indicar los siguientes criterios básicos:

- Verificar la codificación adecuada del documento.
- Detallar la ubicación del elemento o proceso a controlar.
- Verificar los procesos y criterios de aceptación.
- Adjuntar plano o detalle de la zona o elemento verificado.
- Firma de los responsables, tanto del constructor como la supervisión.

2.2 Habilitado del Acero ASTM A-615 G-60

2.2.1 El Acero ASTM A-615 - Grado 60

El acero es uno de los materiales más importantes en la construcción de viviendas, edificios, puentes, caminos, obras industriales, centrales hidroeléctricas, etc. El acero ASTM A-615 Grado 60 vienen de diferentes diámetros y los más usados son: 6mm, 1/4", 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 3/8". Se suministra en paquetes de 2 toneladas y en varillas. Se producen en barras de 9m y 12m, barras rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

El acero es básicamente una composición de hierro que contiene carbono (entre el 0.04% hasta 2.25%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo), Ni (Níquel), Mn (Manganeso), Si (Silicio), o Vn (Vanadio) se agregan con propósitos determinados.

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1.65% de manganeso, al 0.60%.

Según se indica en el Reglamento Nacional de Edificaciones E060, durante su almacenamiento, el acero no debe estar en contacto con el suelo. Se recomienda colocarlo sobre listones de madera y protegerlo de la lluvia y humedad con mantas, para evitar que se oxide. Cuando se corte y doble las barras de acero, se deben de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para evitar que el acero se fisure y garantizar que mantenga su resistencia: el

acero se debe cortar y doblar en frío, una vez vaciada la estructura de concreto armado no se debe doblar el acero para eliminarlo, el acero ya doblado no se debe enderezar pues se dañara el refuerzo. Así mismo, a excepción del acero prees forzado, el refuerzo con óxido, escamas o una combinación de ambos, debe considerarse aceptable si las dimensiones mínimas (incluyendo la altura de los resaltes del corrugado) y el peso de una muestra limpiada manualmente utilizando un cepillo de alambre de acero.

Las referencias normativas en base a las cuales se deben tomar las acciones pertinentes en el transporte, habilitado y colocado del acero corrugado o registrado como ASTM A-615 G-60 son las siguientes:

- ASTM A-615 G-60.
- Norma técnica peruana 341.031 Grado 60.
- Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú E.060, directamente en los capítulos 3.5 y 7.0.

2.2.2 El Habilitado de Acero ASTM A615 – Grado 60

2.2.2.1 Introducción. Desde la propia invención del cemento portland en 1824, por Leeds Joseph Aspdin, se destacaron las altas propiedades de resistencia a la compresión del concreto; sin embargo, la baja resistencia a la tracción del mismo la hacia un material poco versátil en las aplicaciones ingenieriles más ambiciosas. Es así, que tras muchos estudios en el campo de ingeniería civil conllevaron a la aplicación de armaduras de acero en el encofrado de elementos estructurales para aprovechar la alta resistencia a la tracción del acero y la compresión del concreto. De esta forma, y al cabo de los años se logró mejorar la técnica en funciones optimizadas de diseño evitando las fallas frágiles en la estructura y llevando el diseño un control planificado en el campo de las fallas dúctiles para casos extremos aplicación de esfuerzos horizontales, como es el caso de los sismos o vientos de alta intensidad.

Figura 1
Tipos de Acero de Refuerzo



A partir de esto se puede inferir sobre la estructura interna del concreto armado que el acero tiene que disponerse dentro del concreto de forma tal que permita el máximo rendimiento en función a su aporte en la resistencia a la tensión producto de los distintos esfuerzos cortantes, flectores o de torsión que directa o indirectamente se presenten en el elemento en estudio.

Según lo han determinado numerosos estudios al respecto y, que además recopila la RNE. E.060, los recubrimientos mínimo o separación entre el acero de refuerzo y la superficie del concreto en contacto con el exterior varían entre los 15 a 70 mm, dependiendo de las condiciones del material en contacto con el concreto (agua, aire o suelo) y la función estructural del elemento. Entonces, resulta evidente que el habilitado o preparación final de los materiales de refuerzo estén correctamente dimensionados para evitar posibles variaciones en el recubrimiento mínimo de concreto. Así mismo, resulta importante el correcto habilitado del refuerzo en la respuesta estructural de elemento ante los distintos esfuerzos y momentos aplicados sobre este. Más allá de realizar un correcto habilitado de los elementos de refuerzo, es el colocado el otro punto importante dentro de este proceso. Para detalles complejos de refuerzo dentro de un elemento estructural, el habilitado puede ser una de las complicaciones

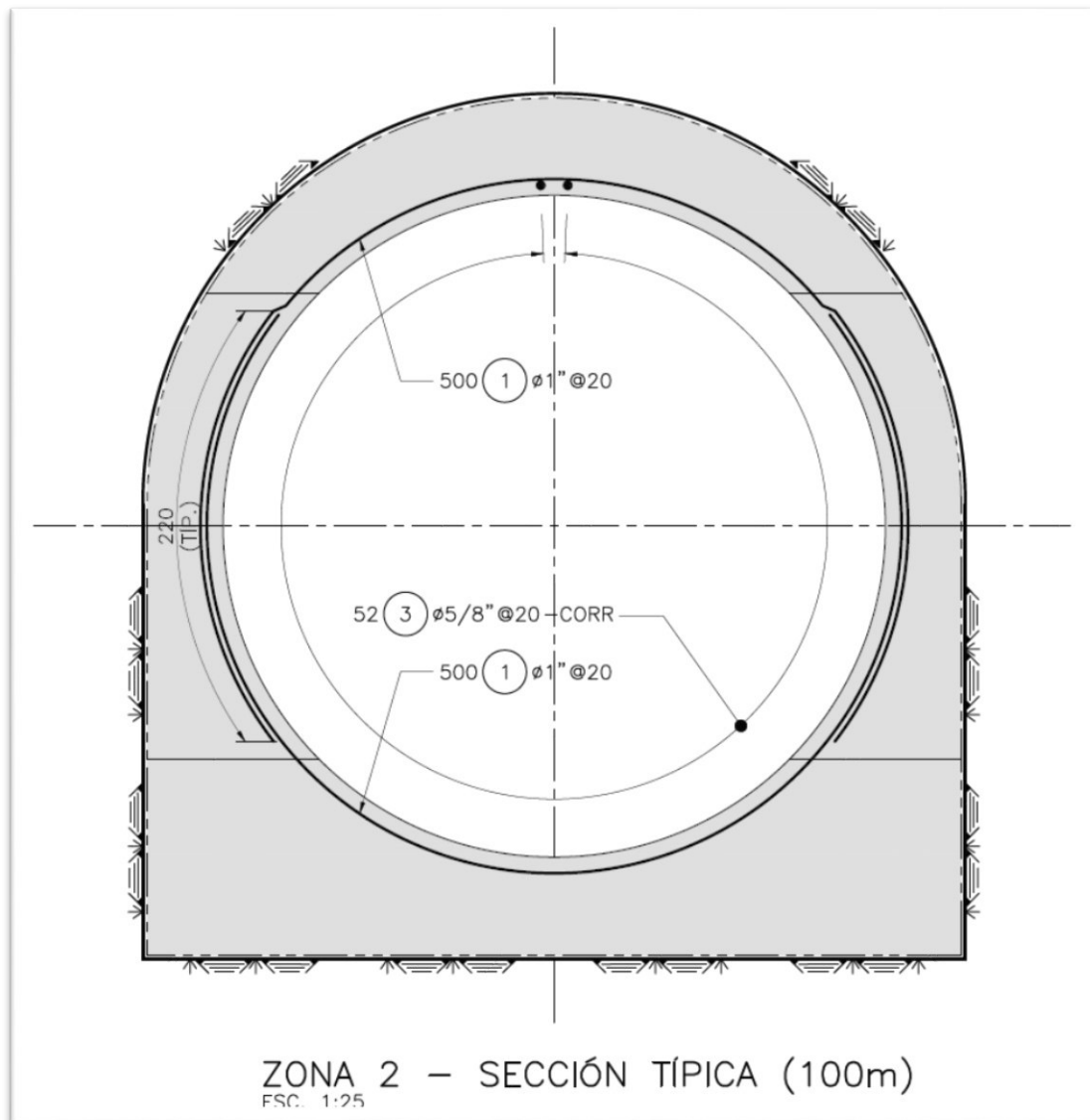
que se encuentre en la operación; sin embargo, aun teniendo el material correctamente habilitado, si este es dispuesto y colocado de forma errónea, incumpliendo las especificaciones técnicas y/o planos, repercutirá en la desaprobación del elemento vaciado y se aplazará su liberación por retrabajo.

Las consecuencias económicas que puede repercutir el no llevar un adecuado control de la calidad del habilitado del refuerzo en elementos estructurales complejos pueden ser altos y más aún, significar la paralización de la obra de resultar graves las incidencias.

Como ya tenemos entendido en la introducción de esta investigación, el objetivo está orientado a detallar un procedimiento adecuado de control de calidad para el proceso de habilitado de acero ASTM A 615 – grado 60 de arcos para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica “La Virgen”. Por tal, se enfocará estudio al control de la calidad del proceso de habilitado de los refuerzos transversales del túnel de conducción. Los cuales vienen representados por arcos de radio constante, que una vez traslapados y colocados en el orden dispuesto por los planos, conforman la estructura de acero del túnel circular.

Figura 2

Disposición de arcos de acero ASTM A-615 Grado 60 en una Sección Típica de la Zona 2 del Túnel de Conducción



Nota: Fuente: Proyecto C.H. La Virgen.

Es importante señalar que, durante la ejecución del proyecto, la partida de habilitado fue la más crítica, pues esta dispone la utilización de una máquina dobladora para la formación inicial de los arcos y su ajuste final con el uso de estacas empotradas en un piso apropiadamente nivelado. Posteriormente se apila y dispone en el túnel para su colocación final.

2.2.2.2 Manejo y Almacenamiento Primario de Materiales. El almacenaje de los materiales en campo es crucial para la correcta trabajabilidad de los elementos y un manejo ordenado de las operaciones. Esto generalmente se ve evidenciado en un flujo de trabajo continuo y un rendimiento constante de la producción diaria. Por tal motivo, es importante manejar este punto de forma eficiente.

En el caso de las operaciones de habilitado de los refuerzos de acero del túnel de conducción del proyecto hidro energético, el acero resalta como el material de mayor empleabilidad y por tal, la de mayor importancia en el proceso de su almacenaje y transporte.

Cuando se dispone de una zona de trabajo en la selva alta del Perú, el clima húmedo y lo accidentado del terreno siempre serán los agentes de mayor impacto negativo en el almacenaje del acero. Como lo dispone la RNE. E060, el acero se debe almacenar, inmediatamente después de su puesta en obra, sobre elementos no metálicos y secos que eviten el contacto de las varillas con el suelo y cubrir los materiales de la intemperie con el uso de mangas plásticas impermeables. Esto ayudará a reducir el tiempo de corrosión de los elementos y permitirá su habilitado prolongado ante imprevistos. Además, el ente regulador sugiere que las varillas se encuentren libre de polvo y otros compuestos químicos que afecten su propio rendimiento o del concreto posterior al vaciado.

Figura 3

Puesta en Campo de las Varillas de Acero ASTM A-615 Grado 60 sobre Soleras de Madera



Nota: Elaboración propia.

Figura 4

Cubrimiento de las Varillas de Acero ASTM A-615 Grado 60



Nota: Elaboración propia.

2.2.2.3 Despiece primario del Acero ASTM A615 – Grado 60. Las varillas de acero ASTM A615 Grado 60 se presentan en longitudes comerciales de 9 o 12 m sin presentar deformaciones críticas o fatiga del acero en su movilización mecánica o manual. Aunque esta longitud sea conveniente para ciertos tipos de construcciones donde se dispondrán de elementos estructurales de elevada longitud horizontal y/o vertical, para los distintos casos de armado de reducida longitud, como el caso de estudio, es necesario del uso de máquinas especiales para el corte limpio de las varillas.

Figura 5



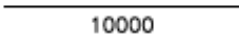
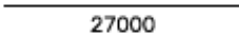
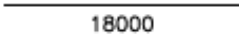
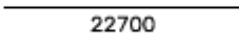
Corte de las Varillas de Acero ASTM A-615 Grado 60 en Campo con el Uso de una Cizalla Eléctrica



Nota: Elaboración propia.

Figura 6

Despiece de Barras de acero a Habilitar para los Refuerzos Diseñados en el Túnel de Conducción para las distintas Zonas de Trabajo

| Lista de Barras | | | | | |
|-----------------|-------|-----------------|-----------------|----------------------|---|
| N | Cant. | ∅ (mm) | C.Unit. (mm) | C.Total (m) | Diagrama (mm) |
| 1 | 11356 | 1" | 723 | 82103,88 |  |
| 2 | 4776 | 1" | 732 | 34960,32 |  |
| 3 | 156 | 5/8" | COR | 17846,40 |  |
| 4 | 52 | 5/8" | COR | 16161,60 |  |
| 5 | 52 | 5/8" | COR | 10732,80 |  |
| 6 | 104 | 5/8" | COR | 27102,40 |  |
| Resumén | | | | | |
| ∅ (mm) | | Longitud (m) | kg/m | Masa Parcial (kg) | |
| 1" | | 117064,20 | 3,9730 | 465096 | |
| 5/8" | | 71843,20 | 1,5520 | 111501 | |
| Masa Total | | | | 576597 | kg |

Nota: Fuente: Proyecto C.H. La Virgen

Para el habilitado de los arcos se hicieron cortes en el acero corrugado de las longitudes de arco que detalla la figura anterior, con las medidas de 7.23 m y 7.32 m para el refuerzo transversal al eje del túnel de conducción.

2.2.2.4 Puesta en Marcha y Habilitado con Máquina Dobladora. Resulta evidente entender que el habilitado y armado de estos arcos representan un reto importante para los operarios y ayudantes responsables de este proceso. Se requiere de un nivel de precisión milimétrico para montar los arcos en el túnel y culminar el colocado con una circunferencia perfecta. Además, el nivel de precisión tiene que ir de la mano con un rendimiento de producción adecuado para el ritmo de trabajo del proceso. Es entonces que el control de la calidad del habilitado se torna importante para reducir costos operativos en el proyecto.

Previo a su pase por la máquina dobladora, las varillas de acero despiezadas se marcan a lo largo de su longitud cada 20 cm. Esto con el fin de referenciar al operario doblador los puntos a albear con el radio definido y así obtener un arco correctamente rolado.

Figura 7

Se Muestra en la Figura las Marcas con Tiza Blanca en las Varillas de Acero ASTM A-615 Grado 60 cada 20 cm para su Posterior Rolado en la Máquina Dobladora.



Nota: Elaboración propia.

El habilitado de los arcos se inicia con la puesta en marcha de la máquina dobladora mecánica. La cual debe estar apropiadamente ubicada en una zona que permita la fácil maniobrabilidad de las varillas, mientras se realiza el alabeo en el equipo. Para el proceso se recomienda la disposición de un operario calificado para el doblado de las varillas y de dos a tres ayudantes que sostengan la varilla a medida que se rola.

Figura 8
Alabeo de las varillas de acero ASTM A-615 Grado 60



Nota: Elaboración propia.

Este habilitado se considera como el inicial de una serie de dos procedimientos, puesto que es imposible rolar las varillas y obtener un arco perfecto al finalizar sin realizar el proceso con mayor meticulosidad traducida en mayor tiempo de preparación y de doblado. Entonces, resulta necesario agregar un procedimiento práctico adicional a este doblado mecánico para obtener los arcos perfectos. Es así como se incluye a esto el proceso de habilitado manual en piso con estacas.

2.2.2.5 Habilitado Manual en Piso Nivelad. El habilitado manual en piso se realiza, como se mencionó más arriba, para ajustar el doblado mecánico anteriormente realizado. Para esto es necesario empotrar una serie de estacas en un piso nivelado (preferiblemente de concreto) que adopten la figura del arco terminado. Estas estacas permiten que el operario y sus ayudantes doblen el acero corrugado hasta poseer la dimensión del arco base de estacas. Por ser este procedimiento solo un recurso de ajuste, el esfuerzo necesario para culminarlo es reducido y esto permite que se complete en poco tiempo.

Figura 9

En la figura se puede observar a un Operario y Tres Ayudantes realizando la labor de Ajuste para la Finalización del Habilitado de los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60



Nota: Elaboración propia.

Figura 10

Arcos de Acero ASTM A-615 Grado 60 Correctamente Habilitados para su colocación en el Túnel de conducción



Nota: Elaboración propia.

2.2.2.6 Transporte y Colocación en Punto de Acopio. Una vez se tiene completamente habilitado los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60, se tiene que disponer dichos elementos en la zona de colocado, que es el túnel de conducción. Para esto, se debe tener especial cuidado con los arcos habilitados para evitar su doblado accidental y posibles rupturas del acero por fatiga.

Figura 11

Preparación de los Arcos para el Transporte al Túnel de Conducción



Nota: Elaboración propia.

Figura 12

Posicionamiento de los Arcos Habilitados en los Vehículos de Transporte

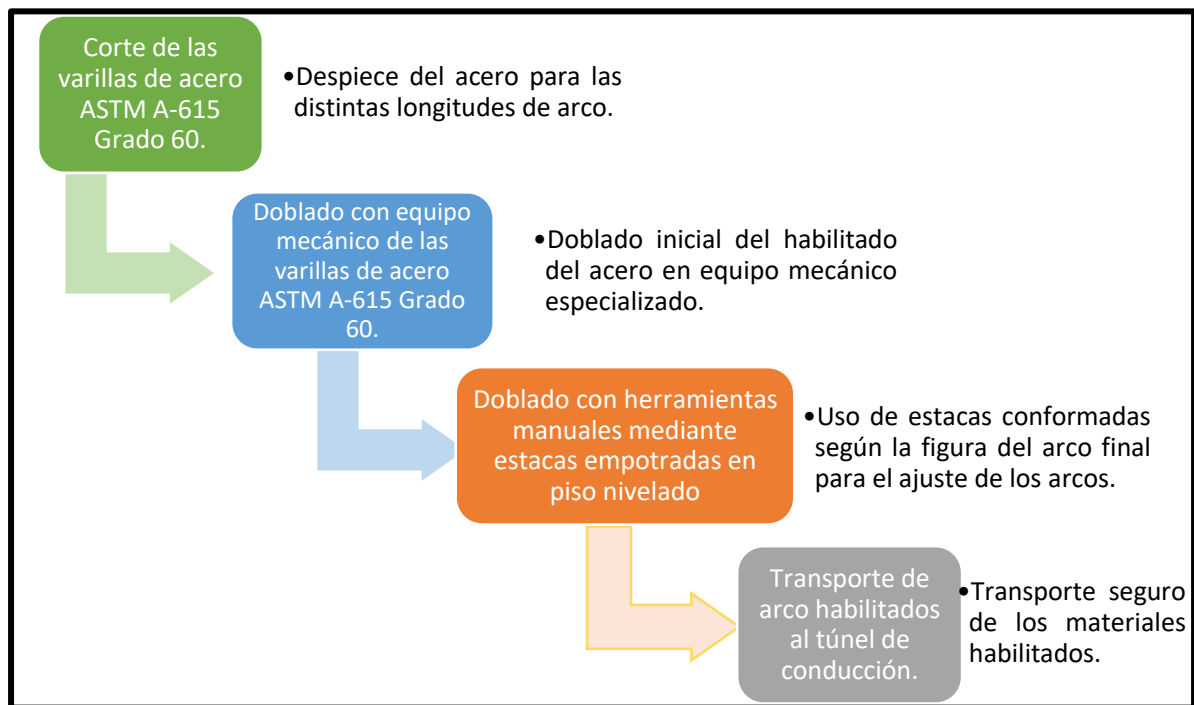


Nota: Elaboración propia.

2.2.2.7 Secuencia del Habilitado de Acero ASTM A-615 – Grado 60. La secuencia del habilitado de los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60 para el túnel de conducción se puede resumir de la siguiente forma:

Figura 13

Esquema General de la Secuencia del Habilitado del Refuerzo Transversal del Túnel de Conducción de la C.H. La Virgen



Nota: Elaboración propia.

III.MÉTODO

3.1 Tipo de Investigación

Según la intervención del investigador es de tipo experimental, siempre son prospectivos (ya que los datos necesarios para el estudio son recogidos por el investigador, ósea son datos primarios), se tendrá que realizar comparaciones (antes y después) son entre muestras relacionadas por lo cual son longitudinales, y estas dos mediciones tendremos que compararlas por eso son de análisis estadístico con dos variables en la investigación.

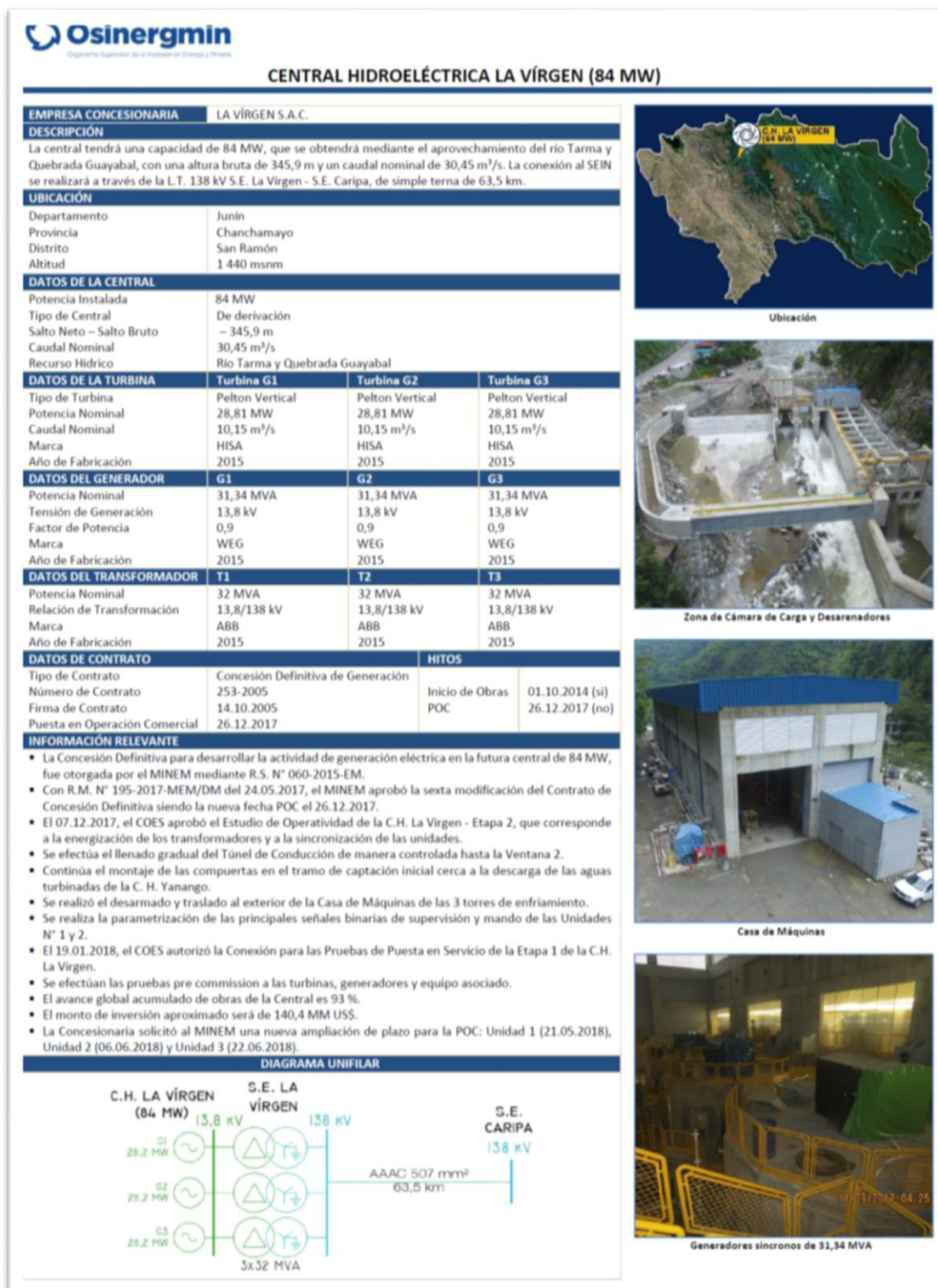
La presente investigación tiene como tipología la Comparativa, ya que se contrasta el rendimiento de un proyecto cuando se aplica y no el Sistema de Gestión de Calidad propuesto.

3.2 Ámbito temporal y espacial

Tal como se indicó en el capítulo anterior, el estudio está basado en un proyecto real, el cual se ejecutó en el año 2017, llamado “Proyecto Central Hidroeléctrica La Virgen” y que actualmente se encuentra finalizada. Los datos del proyecto en general y respecto a la partida de acero se exponen a continuación.

3.2.1 Ficha Técnica

Figura 14
Ficha Técnica del Proyecto Central Hidroeléctrica La Virgen



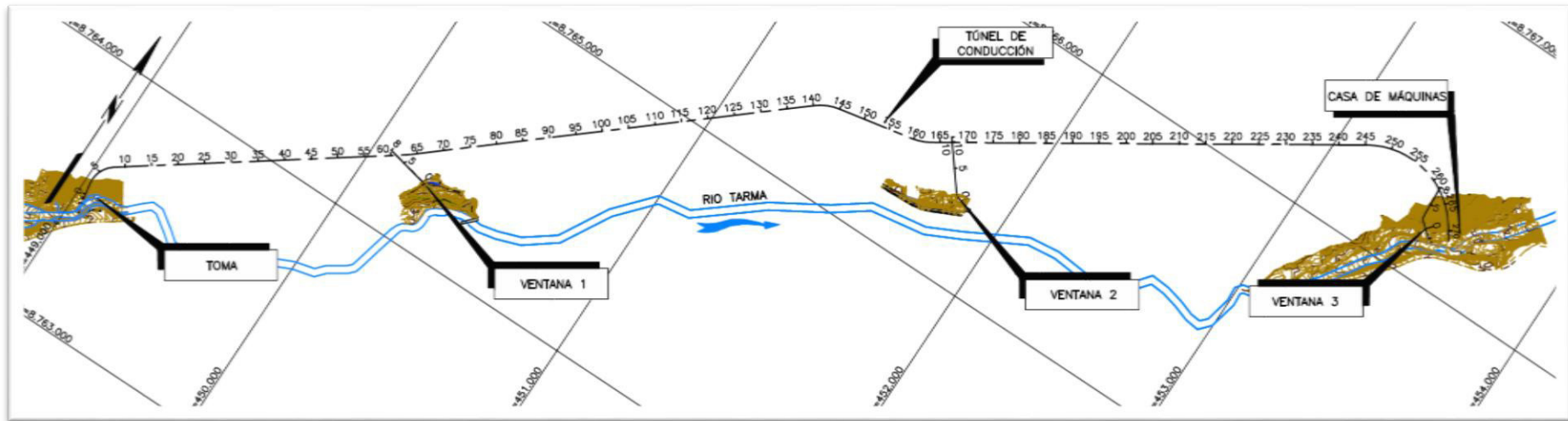
Nota: Elaboración propia.

Sin embargo, en la mayor parte del túnel se empleó el uso del Shotcrete para evitar posibles colapsos durante el armado y encofrado de la sección efectiva del canal de conducción de agua de concreto armado.

El shotcrete consiste en la aplicación a presión de una mezcla de concreto de slump mayor a 8 cm para un comportamiento fluido en su propagación a presión y una viscosidad suficiente para su adherencia en la pared de suelo y refuerzo (enmallado) aplicado en el túnel.

Figura 16

Vista en Planta de las Progresiva del Túnel de Conducción Projectado

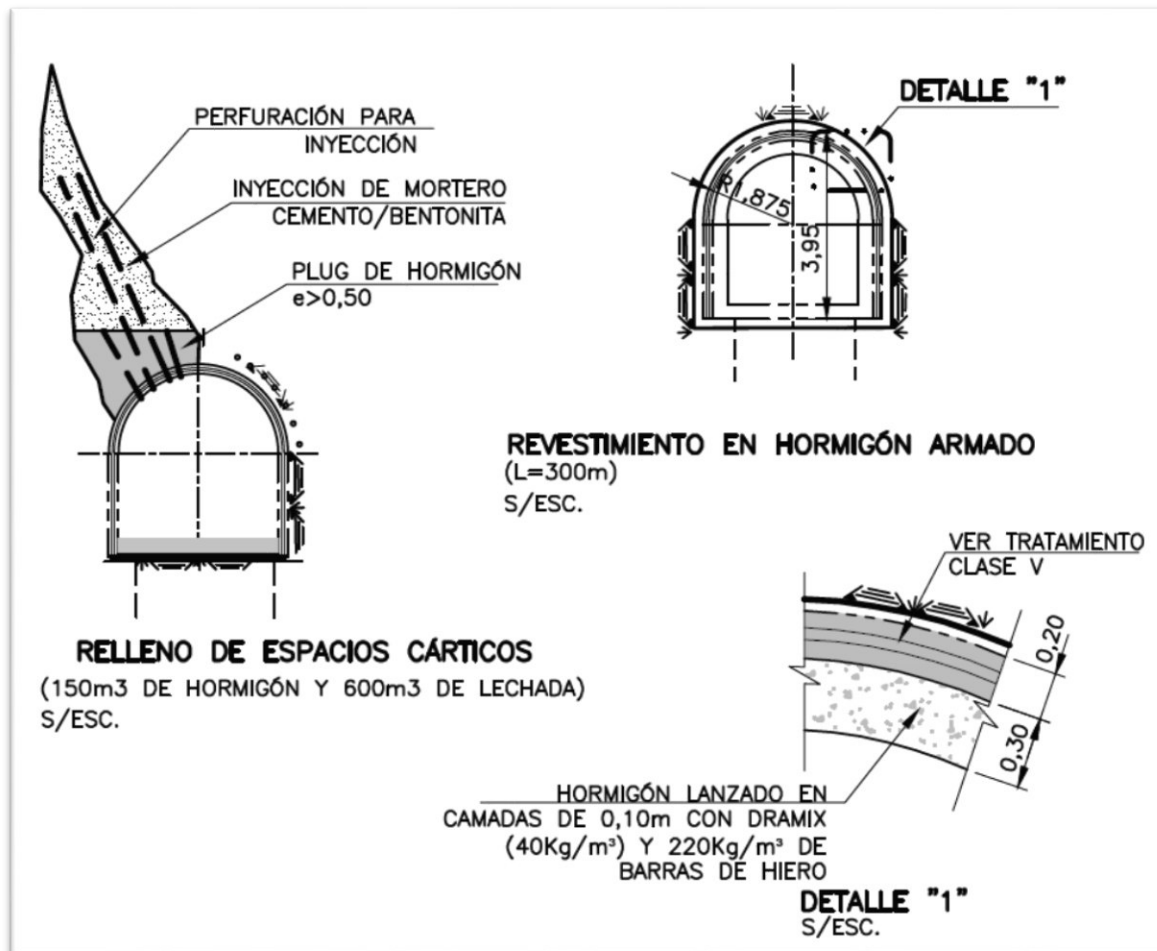


Nota: Fuente: Proyecto C.H. La Virgen.

3.2.3.2 Etapa 2 – Estructura de Concreto Armado del Túnel de Conducción. En esta etapa de la construcción del túnel de conducción se realizaron los trabajos de habilitado, colocado, encofrado y vaciado de la estructura efectiva y en contacto con el agua que derivará el canal desde la bocatoma a la cámara de carga de la Central Hidroeléctrica. Es importante mencionar que esta etapa es en la cual se enfoca el estudio actual, debido al número de procesos involucrados y la necesidad de ejecutarlas en el menos tiempo posible. Esto último muy importante para mantener u optimizar las utilidades de la empresa respecto al proyecto.

Figura 17

Detalle del Hormigón Armado con la Metodología de Trabajo Shotcrete y los Rellenos de Espacios Críticos



Nota: Fuente: Proyecto C.H. La Virgen.

3.2.4 Cronograma de Obra

El cronograma de obra está enfocada a exclusivamente los trabajos propios del túnel de conducción.

Figura 19

Cronograma de la Etapa de Construcción del Túnel de Conducción (2/2). Fuente: Proyecto C.H. La Virgen

| CONSORCIO CHANCHAMAYO prisma ICOPRO | | GESTION DE PROYECTOS CONTROL DE PRODUCCION PROGRAMACION GENERAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CCH.SGP.PG.01-R01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------------|------------|------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Revisión : | Rev.1 | Rev.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Fecha : | 25/03/2017 | 25/03/2017 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Página : | 1 de 1 | 1 de 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOMBRE DE PROYECTO | | SEMANA 20 | | | | | | | SEMANA 21 | | | | | | | SEMANA 22 | | | | | | | SEMANA 23 | | | | | | | SEMANA 23 | | | | | | | SEMANA 24 | | | | | | | | | | | | | | |
| CENTRAL HIDROELECTRICA LA VIRGEN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCION DE ACTIVIDADES | INICIO | DIAS | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO | LU | MA | MI | JU | VI | SA | DO |
| | | | 15-May | 16-May | 17-May | 18-May | 19-May | 20-May | 21-May | 22-May | 23-May | 24-May | 25-May | 26-May | 27-May | 28-May | 29-May | 30-May | 31-May | 1-Jun | 2-Jun | 3-Jun | 4-Jun | 5-Jun | 6-Jun | 7-Jun | 8-Jun | 9-Jun | 10-Jun | 11-Jun | 12-Jun | 13-Jun | 14-Jun | 15-Jun | 16-Jun | 17-Jun | 18-Jun | 19-Jun | 20-Jun | 21-Jun | 22-Jun | 23-Jun | 24-Jun | 25-Jun | | | | | | | |
| TUNEL DE CONDUCCION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FRENTE 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN LOSA Y BOVEDA | | 36 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN LOSA | | 25 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO DE BOVEDA | | 52 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN BOVEDA | | 51 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | Z-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FRENTE 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN LOSA Y BOVEDA | | 48 | | | | | | | | | | | Z-10 | Z-10 | Z-10 | | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | | | |
| CONCRETO EN LOSA | | 54 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | | | | | | Z-10 | Z-10 | Z-10 | | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | | | |
| ENCOFRADO DE BOVEDA | | 59 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | | | | | Z-10 | Z-10 | Z-10 | Z-10 | Z-10 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | | | | |
| CONCRETO EN BOVEDA | | 55 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | Z-6 | | | | | Z-10 | Z-10 | Z-10 | Z-10 | Z-10 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-11 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | Z-5 | | | | |
| OTROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CIERRE DE VENTANAS | | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CASA DE MAQUINAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZONA DE TURBINAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO DE TURBINA | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN TURBINA | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN PATIO DE VALVULAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO DE PATIO DE VALVULAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN PATIO DE VALVULAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN CANALETAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO DE CANALETAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INSERTO DE TUBERIAS METALICAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN CANALETAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERFILES METALICOS EN CANALETAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOLAQUEO DE ESTRUCTURAS | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CODO DE TRIFURCACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADOS | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN CODO | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN CODO | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUBESTACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUBESTACION ELEVADORA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO LOSA | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO LOSA DE PISO | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN PAREDES CORTAFUEGO | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO PAREDES | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO PAREDES | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAJA SEPARADORA AGUA-ACEITE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXCAVACION Y PERFLADO | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOLADOS | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADOS | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENCOFRADO TECHO | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACERO EN TECHO | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETO EN TECHO | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: Fuente: Proyecto C.H. La Virgen.

3.2.5 Presupuesto del Proyecto

El presupuesto de la segunda etapa del proyecto es el siguiente:

Figura 20
Presupuesto Total del Proyecto (1/2)

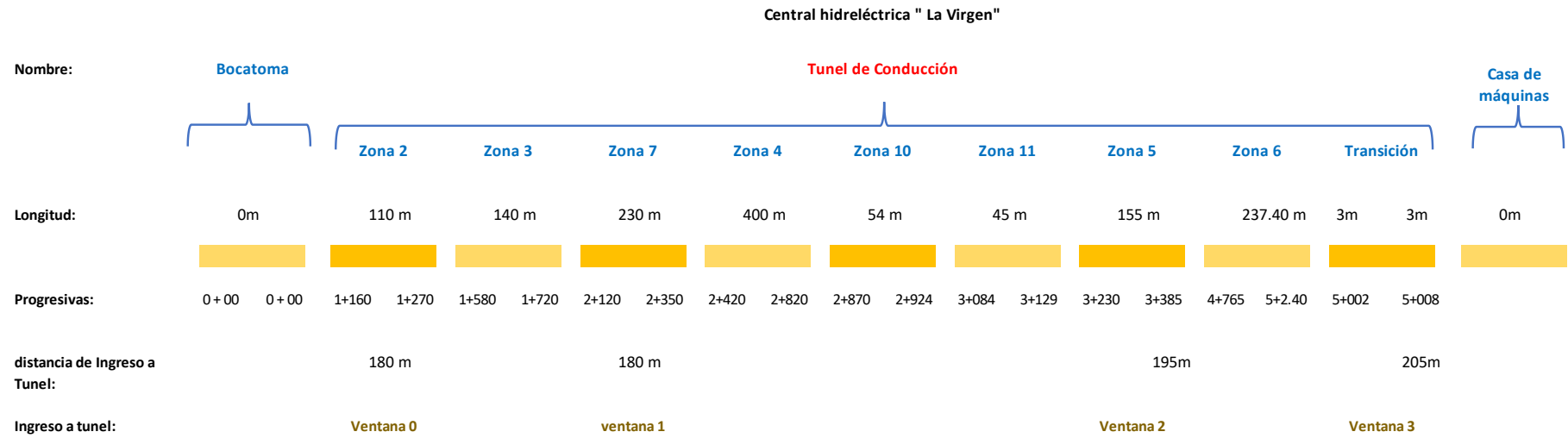
| | | | | | P. PARCIAL (S/) |
|------------|---|------|-----------|------------|-----------------|
| 1 | OBRAS PRELIMINARES | UND. | CANT. | P.U. (S/) | 550,000.00 |
| 1.1 | Movilizacion | gbl | 1.00 | 100,000.00 | 100,000.00 |
| 1.2 | Desmovilizacion | gbl | 1.00 | 100,000.00 | 100,000.00 |
| 1.3 | Suministro de Energia Eléctrica | gbl | 1.00 | 100,000.00 | 100,000.00 |
| 1.4 | Obras Preliminares (Acampamento e instalacion) | gbl | 1.00 | 200,000.00 | 200,000.00 |
| 1.5 | Remediacion ambiental | gbl | 1.00 | 50,000.00 | 50,000.00 |
| 2 | CASA DE MAQUINAS | | | | 2,996,464.00 |
| 2.1 | CONCRETO CONVENCIONAL | | | | |
| 2.1.1 | Concreto CCV 25 MPa | m³ | 1,198.00 | 250.00 | 299,500.00 |
| 2.1.2 | Cemento Losa 320 Kg/m3(Incluye manipuleo y almacenamiento) | ton | 383.36 | 500.00 | 191,680.00 |
| 2.1.3 | Encofrado y Desencofrado Recto | m² | 1,008.00 | 60.00 | 60,480.00 |
| 2.1.4 | Armadura CA 120 (Sin suministro de acero) | ton | 143.76 | 1,500.00 | 215,640.00 |
| 2.1.5 | Acero losa 100kg/m3 | ton | 143.76 | 3,000.00 | 431,280.00 |
| 2.1.6 | Misceláneos Metálicos (escalera, baranda y valla) | kg | 15,000.00 | 8.00 | 120,000.00 |
| 2.1.7 | Instalaciones Hidráulicas y Acabados | gbl | 1.00 | | - |
| 2.1.8 | Cerco perimétrico | m | 400.00 | 600.00 | 240,000.00 |
| 2.1.9 | Portón Metálico de 4m x4m | un | 1.00 | 5,000.00 | 5,000.00 |
| 2.2 | CODO | | | | - |
| 2.2.1 | Concreto ccv(Sin cemento) 12mpa | m³ | 2,462.00 | 250.00 | 615,500.00 |
| 2.2.2 | Cemento Losa 220 Kg/m3(Incluye manipuleo y almacenamiento) | ton | 541.64 | 500.00 | 270,820.00 |
| 2.2.3 | Armadura CA 30 (Sin suministro de acero) | ton | 98.48 | 1,500.00 | 147,720.00 |
| 2.2.4 | Acero losa 30kg/m3 | ton | 98.48 | 3,000.00 | 295,440.00 |
| 2.2.5 | Encofrado y Desencofrado Recto | m² | 1,723.40 | 60.00 | 103,404.00 |
| 3 | DESVÍO DEL RÍO | | | | 191,620.06 |
| 3.1 | ATAGÜA (Principale) | | | | |
| 3.1.1 | Remoción de la Atagüa | m³ | 276.20 | 100.00 | 27,620.06 |
| 3.2 | ATAGÜA (Transversal ao leito) | | | | |
| 3.2.1 | Hora de Escavadora | hm | 200.00 | 280.00 | 56,000.00 |
| 3.2.2 | Hora de Volqueta | hm | 200.00 | 130.00 | 26,000.00 |
| 3.3 | ATAGÜA DE PROTECCIÓN | | | | |
| 3.3.1 | Hora de Escavadora | hm | 200.00 | 280.00 | 56,000.00 |
| 3.3.2 | Hora de Volqueta | hm | 200.00 | 130.00 | 26,000.00 |
| 4 | DESARENADOR | | | | 342,420.00 |
| 4.1 | CONCRETO CONVENCIONAL | | | | |
| 4.1.1 | Concreto Convencional (sin cemento) | m³ | 380.00 | 250.00 | 95,000.00 |
| 4.1.2 | Cemento - tasa 320 kg/m³ (incluye manipuleo y Almacenamiento) | ton | 121.60 | 500.00 | 60,800.00 |
| 4.1.3 | Armadura CA 50 (sin Suministro de Acero) | ton | 26.60 | 1,500.00 | 39,900.00 |
| 4.1.4 | Acero - tasa 70 kg/m³ | ton | 26.60 | 3,000.00 | 79,800.00 |
| 4.1.5 | Encofrado y Desencofrado Recto | m² | 632.00 | 60.00 | 37,920.00 |
| 4.2 | Misceláneos Metálicos (escaleras, baranda y valla) | kg | 3,000.00 | 8.00 | 24,000.00 |
| 4.3 | Malla a Tierra | m | 23.50 | | |
| 4.4 | Tubulaciones Acometidas/Entubados | kg | 500.00 | 10.00 | 5,000.00 |
| 5 | CONEXIÓN CH YANANGO | | | | 258,058.00 |
| 5.1 | ENROCADO HORMIGONADO | | | | |
| 5.1.1 | Enrocado Hormigonado (sin cemento) | m³ | 150.00 | 200.00 | 30,000.00 |
| 5.1.2 | Cemento - tasa 50 kg/m³ (incluye manipuleo y Almacenamiento) | ton | 7.50 | 500.00 | 3,750.00 |
| 5.2 | CONCRETO CONVENCIONAL | | | | |
| 5.2.1 | Concreto Convencional (sin cemento) | m³ | 167.00 | 250.00 | 41,750.00 |
| 5.2.2 | Cemento - tasa 320 kg/m³ (incluye manipuleo y Almacenamiento) | ton | 53.44 | 500.00 | 26,720.00 |
| 5.2.3 | Armadura CA 50 (sin Suministro de Acero) | ton | 20.04 | 1,500.00 | 30,060.00 |
| 5.2.4 | Acero - tasa 70 kg/m³ | ton | 20.04 | 3,000.00 | 60,120.00 |
| 5.3 | Misceláneos Metálicos (escaleras, baranda y valla) | kg | 200.00 | 8.00 | 1,600.00 |
| 5.4 | Malla a Tierra | m | 150.00 | | |
| 5.5 | Partes fijas en el concreto | kg | 50.00 | 10.00 | 500.00 |
| 5.6 | Tubulaciones Acometidas/Entubados | kg | 543.00 | 10.00 | 5,430.00 |
| 5.7 | Junta de Vedación | m | | | |
| 5.8 | PUENTE CRUCE DEL RIO TARMA | | | | |
| 5.8.1 | CONCRETO CONVENCIONAL | | | | |
| 5.8.1.1 | Concreto Convencional (sin cemento) | m³ | 80.00 | 250.00 | 20,000.00 |
| 5.8.1.2 | Cemento - tasa 320 kg/m³ (incluye manipuleo y Almacenamiento) | ton | 25.60 | 500.00 | 12,800.00 |
| 5.8.1.3 | Armadura CA 50 (sin Suministro de Acero) | ton | 5.60 | 1,500.00 | 8,400.00 |
| 5.8.1.4 | Acero - tasa 70 kg/m³ | ton | 5.60 | 3,000.00 | 16,800.00 |
| 5.8.1.5 | Misceláneos Metálicos (Armadura metálica) | ton | 16.00 | 8.00 | 128.00 |

Nota: Fuente: Proyecto C.H. La Virgen.

3.2.5.1 Presupuesto De Acero ASTM A615 – Grado 60. El Costo Directo de la partida de acero de la construcción del Túnel de Conducción, al igual que su ejecución, se dividen en zonas de trabajo, las cuales se pueden identificar en la imagen siguiente:

Figura 22

Esquema General de las Zonas de Trabajo para la Construcción del Túnel de Conducción a Agua




Nota: Elaboración propia.

El resumen del metrado de la partida de acero de refuerzo del túnel de conducción se muestra a continuación:

Figura 23

Metrado en Kg. del Acero de Refuerzo para Distintas Zonas del Túnel de Conducción

| Resumen de Métrados | | | |
|----------------------------|---|---|---------------------|
| Obra: | Ch: La Virgen |  | |
| Contratista: | Consortio chanchamayo | | |
| Sub contratista: | Alagón Perú Sac | | |
| Ubicación: | San Ramon - chanchamayo | | |
| Fecha: | ago-17 | | |
| Item | Descripción | Unidad | Cantidad |
| 01.00 | Metrado Tunel | kg | 970.710,29 |
| 01.01 | Zona 02 | kg | 42.226,75 |
| 01.02 | Zona 03 | kg | 53.736,11 |
| 01.03 | Zona 07 | kg | 128.288,22 |
| 01.04 | Zona 04 | kg | 256.263,75 |
| 01.05 | Zona 10 | kg | 42.027,87 |
| 01.06 | Zona 11 | kg | 35.064,43 |
| 01.07 | Zona 05 | kg | 133.695,83 |
| 01.08 | Zona 06 | kg | 270.834,37 |
| 01.09 | Transición | kg | 4.500,04 |
| 01.10 | Blindaje | kg | 4.072,92 |
| 03.00 | Metrado Refuerzos | kg | 16.876,26 |
| 03.01 | Piso Z7 / Z4 - 70 ml (2+350 --> 2+420) | kg | 2.392,39 |
| 03.02 | Piso Z4 / Z10 - 50 ml (2+820 --> 2+870) | kg | 1.732,92 |
| 03.03 | Piso Z10 / Z11 - 160 ml (2+924 --> 3+084) | kg | 9.337,97 |
| 03.04 | Piso Z11 / Z5 - 101 ml (3+129 --> 3+230) | kg | 3.412,98 |
| 04.00 | Metrado Exterior | kg | 59.137,57 |
| 04.01 | Ventana 01 | kg | 173,88 |
| 04.02 | Ventana 02 | kg | 1.245,85 |
| 04.03 | Ventana 03 | kg | 20.899,19 |
| 04.04 | Bocatoma | kg | 13.133,89 |
| 04.05 | Túnel | kg | 23.684,76 |
| TOTAL: | | | 1.046.724,12 |

Nota: Elaboración propia.

Durante la ejecución del proyecto, el precio fijado para el colocado del acero fue de S/ 7.10 por kg. Para hallar el costo directo de colocado se multiplica el precio unitario por el metrado total de acero de 970,710.29 kg. El resultado de dicho cálculo nos muestra el costo directo destinado a la partida de acero para todas las zonas de trabajo, ascendiendo a **S/ 6,892,043.06.**

3.3 Variables

3.3.1 *Variable independiente*

La implementación de la calidad.

3.3.2 *Variable dependiente*

El control de calidad.

3.4 Población y muestra

3.4.1 *Población*

La población que se tomó en cuenta para la presente investigación la conforma la Central Hidroeléctrica La Virgen de Chanchamayo, que, por su propias múltiples características, áreas técnicas y envergadura, otorga amplio material de estudio para el desarrollo de este estudio.

3.4.2 *Muestra*

La muestra a partir de la cual se extrajeron los datos estadísticos, mostrados en el capítulo IV y V, es la partida de acero de la construcción del Túnel de Conducción de Agua de la Central hidroeléctrica La Virgen de Chanchamayo.

3.5 Instrumentos

Documentos legales y fuentes de investigación: para la conformación del marco teórico sobre la cual se desarrollará la investigación.

Datos estadísticos: recolectados del proyecto escogido para la investigación en base a los registros de No Conformidades y Sobrecostos presentados en el proyecto, específicamente en la partida de acero.

Análisis de Costos: de la reparación de las no conformidades presentadas y asumidas como errores propios de la ejecución del proyecto y de la implementación del Sistema de gestión de Calidad propuesto.

Análisis Comparativo: de los costos elaborados para los dos casos indicados, para la determinación de la metodología eficiente en tiempo, costo y calidad.

3.6 Procedimientos

Identificación del problema principal en el habilitado de acero transversal para un túnel de conducción de agua de la central hidroeléctrica La Virgen.

Propuesta de solución efectiva o eficiente (Sistema de Gestión de Calidad).

Determinación de los costos de no aplicar y aplicar el Sistema de Gestión de Calidad propuesto.

Comparación del Costo / Beneficio del sistema tradicional sin control de calidad y de la implementación del Sistema de Gestión de Calidad propuesto.

Indicar y demostrar la magnitud de la eficacia o eficiencia del Sistema de Gestión de Calidad propuesto.

3.7 Análisis de datos

Para realizar un adecuado control de calidad de determinada partida de trabajo, es necesario identificar los procesos operativos críticos de la labor en función de los siguientes criterios básicos:

- **Impacto en el Costo:** debido a su elevado valor en materiales, equipos o M.O.
- **Impacto en el plazo:** si esta actividad mantiene una alta cantidad de restricciones que propicien retrasos en su ejecución.

- **Gran volumen:** referido al espacio físico que abarca el proceso.
- **Materiales de Adquisición Restringida:** referido a la dificultad de la adquisición de los materiales idóneos para la correcta ejecución de las actividades.
- **Complejidad de Ejecución:** debido a la dificultad en la realización de la actividad debido a probables complicaciones generadas durante la ejecución (accesibilidad limitada al sitio de trabajo, insuficiencias en la gestión de capacitaciones, variabilidades no comprendidas en el planeamiento, etc.).

Para cada proceso crítico identificado se planifica su control de calidad (Plan de Puntos de Inspección y Ensayos o PMI), se documenta la metodología de ejecución (Procedimiento de Trabajo) y se documenta los resultados obtenidos del proceso de control (Protocolo de Calidad).

Tabla 1

Procesos Críticos, Habilitado de Arcos de Acero ASTM A-615 Grado 60.

| Proceso | Actividades a Controlar | Criterios de Control | Responsable |
|--|--|-----------------------------|---------------------------------------|
| Habilitado de los Arcos de Acero ASTM A-615 Grado 60. | - Inspección del estado inicial de las varillas en campo. | | |
| | - Verificación del equipo mecánico de corte. | | |
| | - Control del corte mecánico de las varillas. | | |
| | - Verificación del trazo @20 cm en las varillas previo a su rolado. | - Impacto en Costo. | Jefe de Gestión y Control de Calidad. |
| | - Verificación de equipo mecánico de doblado. | - Impacto en plazos. | |
| | - Control del doblado mecánico inicial. | - Complejidad de Ejecución. | |
| | - Verificación de la nivelación del piso. | | |
| | - Control del trazo de los arcos en piso. | | |
| | - Verificación de la ubicación de empotramiento de las estacas guía. | | |
| | - Verificación del doblado manual en piso. | | |

Nota: Elaboración propia.

3.7.1 Plan de Puntos de Inspección y Ensayo

Habiendo identificado los procesos críticos del habilitado de los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60, ejecutamos el Plan de Puntos de Inspección (PPI), el cual nos permite ordenar los puntos a inspeccionar en el control de la calidad del proceso.

El PPI es un esquema que describe esencialmente las diferentes actividades ejecutadas en determinado proceso del trabajo, los controles pertinentes para su evaluación y los formatos a completar para finalizar la documentación.

Cada PPI está conformado por lo siguiente:

Actividad: que actividad del proceso operativo se controlará

Inspección o prueba: Refiere la inspección o ensayo a inspeccionar de un proceso constructivo. El ensayo es definido por Norma o en base a las Especificaciones Técnicas del proyecto.

Requerimiento y criterio de aceptación: Normas y/o Especificaciones Técnicas aplicables a la inspección o ensayo para realizar el Control de Calidad del mismo

Responsable: Persona o entidad responsable de dar fe de la veracidad y confiabilidad de los resultados de la inspección.

Método de Inspección: Tipo de inspección que se va a realizar como se demuestra en la siguiente tabla.

Tabla 2

Tipos de Inspección – PPI.

| Tipos de Inspección |
|--|
| F: Verificación registrada en protocolo. |
| V: Verificación visual. |
| E: Ensayo o prueba. |

Nota: Elaboración propia.

Registro: registro físico que se realice para tener constancia de la inspección, en este caso se utilizarán protocolos de control.

Frecuencia de Control: Refiere a la frecuencia de los ensayos y/o inspecciones las cuales serán definidas de acuerdo a Norma, Especificaciones Técnicas y/o Estándar Mínimo de la constructora.

Documento asociado: corresponde al documento en el cual se debe basar los parámetros de inspección correspondiente.

Tabla 3

Plan de Puntos de Inspección y Ensayo del Habilitado de Arcos de Refuerzo Transversal de Acero ASTM A-615 Grado 60 para el Túnel de Conducción de Agua.

| Plan de Puntos de Inspección y Ensayo (PPI) | | | | | | | CHLV-PPI-001 | |
|---|--|--|---|--|--------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| | | | | | | | Revisión: | 1 |
| | | | | | | | Fecha: | 01/02/2017 |
| | | | | | | | Página: | 1 de 1 |
| | | | | | | | Fecha: | 01/02/2017 |
| Proyecto: Central Hidroeléctrica "La Virgen" | | | | | | | | |
| Item | Actividad | Verificación / Inspección | Documentos Asociados | Requerimiento y Criterios de Aprobación | Reponsable | Frecuencia | Tipo de Inspección | Formato de Inspección |
| 1 | Habilitado de Arcos de Acero de Refuerzo Transversal de Acero ASTM A615 - Grado 60 para tunel de Conducción de Agua. | Verificación del equipo mecánico de corte. | Certificado de Calibración | Según certificado de calibración | Ing. De Calidad | Según programa de calibración | F, E | CHLV-PPI-001-P1 |
| | | Control del corte mecánico de las varillas. | Especificaciones Técnicas y RNE E060 | Cumplimiento de longitudes según los planos | Ing. de Producción | Cada vez que se ejecuta | F, V | CHLV-PPI-001-P2 |
| | | Verificación del trazo a cada 20 cm en las varillas previo a su rolado | Especificaciones Técnicas | Cumplimiento del trazo a cada 20 cm | Ing. De Calidad | Cada vez que se ejecuta | V | CHLV-PPI-001-P3 |
| | | Verificación de equipo mecánico de doblado. | Certificado de Calibración | Según certificado de calibración | Ing. De Calidad | Según programa de calibración | F, E | CHLV-PPI-001-P4 |
| | | Control del doblado mecánico inicial. | Especificaciones Técnicas; RNE E060 | Cumplimiento de las consideraciones reglamentarias | Ing. de Producción | Cada vez que se ejecuta | F, V | CHLV-PPI-001-P5 |
| | | Verificación de la nivelación del piso. | Especificaciones Técnicas | Cumplimiento de exigencias mínimas de desnivel | Ing. de Producción | Al inicio del trazado | F | CHLV-PPI-001-P6 |
| | | Verificación del trazo y ubicación de empotramiento de las estacas | Especificaciones Técnicas | Formación de un arco con estacas de radios equitativos | Ing. De Calidad | Antes de doblar en piso manualmente | V | CHLV-PPI-001-P8 |
| | | Verificación del doblado manual en piso. | Especificaciones Técnicas, Planos, RNE E060 | Formación de un arco perfecto de acero | Ing. De Calidad | Cada vez que se ejecuta | F, V | CHLV-PPI-001-P9 |
| Actividad: | Actividad de una disciplina (Civil, Estructural, Eléctrica, Mecánica, Piping, etc.) | | | | | | | |
| Verificación / Inspección: | Sustento para la inspección o verificación (especificaciones, planos, etc.) | | | | | | | |
| Requerimiento y Criterios de Aceptación: | Según Especificaciones, Código o Norma | | | | | | | |
| Responsable: | Por la ejecución de la actividad | | | | | | | |
| Frecuencia: | Según Especificaciones, Código o Norma | | | | | | | |
| Equipo: | Instrumento que se usa para realizar pruebas y/o ensayos cuya calibración debe estra vigente | | | | | | | |
| Tipo de inspección: | F: Verificación registrada en protocolo; V: Verificación visual. E: Ensayo o prueba (documento emitido con los resultados) | | | | | | | |
| Tipos de Inspección | | | | | | | | |
| F: | | | | | | | | |

Nota: Elaboración propia.

3.7.2 Plan de Inspección de Materiales

Para llevar un control eficaz sobre los materiales que se dispone en obra y facilitar la detección de posibles incidencias perjudiciales se debe realizar una inspección adecuadamente planificada y orientada a salvaguardar la salud del equipo obrero y la continuidad del proyecto. Este Plan de Inspección de Materiales (PIM) se enfoca en la evaluación de los materiales críticos mediante el uso de criterios de control pertinentes para cada tipo de material. Cada PIM debe contener las siguientes indicaciones:

Material a verificar: materiales que resultan críticos para el proyecto a efectuar.

› **Características a controlar:** según los criterios de aceptación que se estimen para cada material que resultan críticos para el proyecto a efectuar.

› **Tipo de Inspección:** es el método de inspección que se va a realizar, como se demuestra en la siguiente tabla 04.

Tabla 4

Tipos de Inspección- PIM.

| Tipos de Inspección |
|------------------------|
| D: Dimensional. |
| V: Verificación. |
| E: Ensayo o documento. |

Nota: Elaboración propia.

› **Documento asociado:** corresponde al documento en el cual se debe basar los parámetros de inspección correspondiente

Tabla 5

Plan de Inspección de Materiales del habilitado de arcos de refuerzo transversal de acero ASTM A-615 Grado 60 para el túnel de conducción de agua.

| Plan de Inspección de Materiales (PIM) | | | | | | CHLV-PIM-001 | |
|---|--|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| Proyecto: Central hidroeléctrica "La Virgen" | | | | | | Revisión: | 1 |
| | | | | | | Fecha: | 01/02/2017 |
| | | | | | | Página: | 1 de 1 |
| | | | | | | Fecha: | 01/02/2017 |
| Item | Actividad | Material a Verificar | Características a Controlar | Documento Asociado | Tipo de Inspección | Formato de Inspección | |
| 1 | Habilitado de Arcos de Acero de Refuerzo Transversal de Acero ASTM A615 - Grado 60 para Tunel de Conducción de Agua. | Barras de acero ASTMA-615 Grado 60 | Certificados de Calidad | Especificaciones Técnicas | E | CHLV-PIM-001-M1 | |
| | Verificación de Diámetros | | Especificaciones Técnicas, Planos | V, D | CHLV-PIM-001-M2 | | |
| | Cizalla Mecánica | Certificado de Calibración | Certificado de Calibración del Equipo | E | CHLV-PIM-001-M3 | | |
| | Dobladora Mecánica | Certificado de Calibración | Certificado de Calibración del Equipo | E | CHLV-PIM-001-M4 | | |

| | |
|---|--|
| Actividad: | Actividad de una disciplina (Civil, Estructural, Eléctrica, Mecánica, Piping, etc.) |
| Verificación / Inspección: | Sustento para la inspección o verificación (especificaciones, planos, etc.) |
| Requerimiento y Criterios de Aceptación: | Según Especificaciones, Código o Norma |
| Responsable: | Por la ejecución de la actividad |
| Frecuencia: | Según Especificaciones, Código o Norma |
| Equipo: | Instrumento que se usa para realizar pruebas y/o ensayos cuya calibración debe estar vigente |
| Tipo de inspección: | F: Verificación registrada en protocolo; V: Verificación visual. E: Ensayo o prueba (documento emitido con los resultados) |

Nota: Elaboración propia.


3.7.3 Elaboración, Aprobación y Difusión del Procedimiento de Trabajo

Una vez tengamos el PPI y el PIM se debe continuar el procedimiento de control con la elaboración del procedimiento de trabajo. Este último debe estar representado en un formato simple y fácil de entender para todos los niveles de producción de la obra. Además de incluir en el documento las actividades a realizar la realización del proceso indicado se debe señalar las acciones de control operacional pertinente.

Este documento, posterior a su elaboración, es enviado a la Supervisión de Obra para su revisión y aprobación. En el caso que la supervisión remita el documento sin la aprobación y con observaciones, se deberá levantar dichas observaciones a la brevedad y emitir el formato corregido. Es importante elaborar el documento a detalle y en consenso con los expertos en la producción para evitar aplazamientos en la gestión por correcciones de documentos.

Este documento elaborado correctamente y aprobado por la supervisión se debe difundir a quienes participen en el proceso. De esta forma se asegura el correcto procedimiento de trabajo para evitar fallas y reducir los incidentes.

Tabla 6*Formato de Aprobación y Emisión del Procedimiento de trabajo del proyecto*

| | | | |
|---|---|-----------------|--------------------|
|  | Procedimiento de Trabajo | Código | CHLV-PT-001 |
| | Área de Gestión de Calidad | Revisión | 1 |
| | Habilitado de Arcos de Refuerzo Transeversal de Acero ASTM A 615 - Grado 60 para Tunel de Conducción de Agua | Fecha | 01/02/2017 |
| | | Página | 1 de 10 |

**CENTRAL HIDROELÉCTRICA
LA VIRGEN**

| | |
|---------------------------|--|
| Tipo de Documento: | Procedimiento de Trabajo Operacional. |
| Título: | Habilitado de Arcos de Refuerzo Transeversal de Acero ASTM A 615 - Grado 60 para Tunel de Conducción de Agua |
| Código: | CHLV-PT-001 |
| Revisión: | Rev. 0 |

| | Nombre | Cargo | Firma |
|---------------|---------------|--------------------------------------|--------------|
| Elaborado por | a) | Ingeniero de Calidad | a) * |
| Revisado por | b) | Jefe de Gestión y Control de Calidad | a) * |
| Revisado por | c) | Residente de Obra | a) * |

Historial de revisiones

| Revisión | Fecha | Descripción |
|-----------------|--------------|----------------------|
| 0 | 01/02/2017 | Aprobación y Emisión |

Nota: Elaboración propia

3.7.4 Protocolos de Calidad

El protocolo de calidad es un registro donde se verifica y evidencia la correcta instalación o ejecución del proceso constructivo evaluado. Emplear los protocolos de control de calidad en una obra y aplicarlas con ética y compromiso puede incrementar la productividad del proyecto. Esto debido que se reducirán las incidencias y costos de la no calidad en la ejecución.

Para el proceso de habilitar los arcos simétricos de acero ASTM A-615 Grado 60 del canal de conducción de agua se ha generado el siguiente formato, de acuerdo a sus requerimientos en el proyecto.

a) Protocolo habilitado y colocación de acero. Registro donde se verifica la correcta instalación del acero de refuerzo en el elemento estructural. Se toman puntos de control a evaluar en el colocado del acero y se verifica su cumplimiento mediante un Checklist. La importancia de este documento radica en que, de no ser aprobada en su verificación en campo, el vaciado de concreto (procedimiento posterior a la finalización del armado de acero) se verá detenida, pues no estaría autorizada a iniciarse hasta la corrección del colocado. Esto con el fin de no evitar el incremento de las posibilidades de fallo del elemento ya en funcionamiento. El fin primordial de este protocolo es confirmar las condiciones del colocado y garantizar su correcto trabajo en la puesta en marcha de la central hidroeléctrica.


Para realizar las verificaciones que se comprenden en el protocolo se debe contar con la siguiente información:

- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Especificaciones de los arcos de acero.
- Plano de arcos de acero.
- Planos de estructuras.

La documentación presentada está orientada a su verificación con el criterio profesional y ético que debe tener el equipo autorizado. Así mismo, considerar que su revisión debe ejecutarse con la supervisión de obra para evitar posibles errores de verificación.

Tabla 7

Protocolo de Colocación de Acero ASTM A-615 Grado 60 en Túnel de Conducción de Agua.

| | | | |
|--|---|-----------------|--------------------|
|  <small>alagon peru S.A.C.</small> | Registro | Código | CHLV-P1-001 |
| | Control de Calidad | Revisión | 1 |
| | Protocolo de Colocación de Acero ASTM A615 - Grado 60 en Túnel de Conducción de Agua | Fecha | 02/02/2017 |
| | | Página | 1 de 1 |

Obra: Central Hidroeléctrica La Virgen

Estructura: Túnel de Conducción **Plano de referencia:** LVI-DE2P-TFC06-0016-0A

Elemento Estructural: Habilitación y Colocación de Acero en Túnel Circular **Descripción del Elemento:** Acero Transversal Circular

Fecha: 02/02/2017 **Zona:** 2 **Piezas:** 124 **Nº de Control:** 1

Checklist de Acero de Refuerzo

| Puntos de Control | Verificación | | | | Comentarios | Esquema |
|--|--------------|----|----|---|--------------------|---------|
| | C | NC | NA | R | | |
| Limpieza (Corrosión, Concreto, grasa) | ✓ | | | | | |
| CALIDAD DEL ACERO (Norma ASTM) | ✓ | | | | ASTMA-615 Grado 60 | |
| Diámetro de Varilla (inch), indicar si es liso o corrugado | ✓ | | | | | |
| Longitud de Traslape (mm) | ✓ | | | | | |
| Correcta Ubicación de Traslapes | ✓ | | | | | |
| Espaciamiento entre Barras (mm) | ✓ | | | | | |
| Espaciamiento de estribos (mm) | ✓ | | | | | |
| Alambre Nº 16 de Alambre | ✓ | | | | | |
| Soporte para Recubrimiento Contra Base (mm) | ✓ | | | | | |
| Soporte para Recubrimiento Lateral (mm) | ✓ | | | | | |
| Simetría de Arcos de Refuerzo | ✓ | | | | | |

C = Conforme // NC = No Conforme // NA= No Aplica // R = Corregido/Reparado

Ubicación del Acero Colocado

Túnel de Conducción Zona 2 Progresiva 1+210

| | | |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Jefe de Producción CHLV | Jefe QA/QC CHLV | Supervisor de Obra |
| Firma: | Firma: | Firma: |

Nota: Elaboración propia.

3.7.5 Problemas presentados en el Habilitado del Acero de Refuerzo del Canal de Conducción Subterráneo

Al incumplimiento de los requerimientos técnicos de una actividad durante el proceso, tras su posterior identificación, se denomina como una No Conformidad. Estas desviaciones o fallas deben registrarse y/o documentarse apropiadamente para su análisis de causas y propuesta de acciones correctivas.

Durante la ejecución del túnel de conducción de la “Central Hidroeléctrica La Virgen” se presentaron diversos problemas, tanto en el vaciado del concreto como en el habilitado y colocado del acero de refuerzo para el túnel. El túnel, al ser de sección circular, hizo necesario el habilitado de arcos de acero de refuerzo simétricos, encofrados en todas las direcciones y un vaciado controlado para su uniformidad en el túnel.

Como ya se comentó en el capítulo introductorio de la investigación, el objetivo se ubica en la gestión de la calidad del habilitado en acero del túnel, mas no en la excavación, encofrado y vaciado del mismo. Es por esto que se detallarán exclusivamente las No Conformidades dentro del proceso de habilitado del acero de refuerzo.

Para mitigar las No Conformidades se emplean Acciones Correctivas en la operación. Estas soluciones deben plantearse tras un adecuado análisis de las causas de la incidencia, ya que de esta dependerá su efectividad al momento de ejecutarse. Si la acción correctiva implementada fue la eficaz, entonces esta no conformidad no volverá a presentarse nuevamente.


Para realizar una verificación detallada de la eficacia de las acciones correctivas adoptadas, se puede aplicar los siguientes criterios de análisis.

- Verificar si la acción correctiva se estaba aplicando totalmente, si la respuesta es No, entonces, se concluye que la acción correctiva no es eficaz y por tanto hay que volver a realizar el análisis causal y establecer nueva acción correctiva.

- Si la respuesta es Si, se debe iniciar la aplicación total de la misma acción correctiva y hacer el seguimiento de su aplicación.
- No se comete ningún error, si una vez que haya aparecido la no conformidad, se vuelve a realizar el análisis causal desde un inicio, estableciendo nuevas acciones correctivas.

Tabla 8

Formato de Registro de No Conformidades y Acciones Correctivas.

| | | | |
|---|---|----------|-----------------|
|  | Registro | Código | CHLV-RNC-AC-001 |
| | Control de Calidad | Revisión | 0 |
| | Registro de No Conformidades y Acciones Correctivas | Fecha | 02/02/2017 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | | |
|--------------------------------------|--|----------------|-----|---|
| Detección de NO CONFORMIDADES | | N° Correlativo | NCR | - |
|--------------------------------------|--|----------------|-----|---|

Proceso Afectado: Habilitado de Acero de Refuerzo del T.C. Gerente Jefe Dpto. Residente Obra

Obra / Departamento (recibe) _____ Especialidad / Área _____

| Requisito que se incumple | Descripción de la NO CONFORMIDAD |
|--|--|
| Proyecto x Cliente Normativa Legal | _____ Nombre: _____ Cargo: Jefe de Calidad Fecha: _____ |

Recepción de NO CONFORMIDAD

Solución Inmediata: _____

Encargado de la Ejecución: _____ Plazo: _____

Aprobado por: _____ Firma: _____ Fecha: _____

Análisis de causa:

Acciones Correctivas a Implementar: Aplica No Aplica

Verificación de la implementación y eficacia de las acciones correctivas

Verificado por: _____ Firma: _____ Fecha: _____

Nota: Elaboración propia.

3.7.6 No Conformidades y Acciones Correctivas para el Túnel de Conducción

La construcción del Túnel de conducción de agua de la central hidroeléctrica representó un reto para los contratistas responsables de su ejecución. Esta complejidad constructiva no solo se generaba por las características técnicas del proyecto, sino también por la ubicación de la misma. Esta está localizada en los montes frondosos de la selva alta peruana, donde las precipitaciones anuales rondan los 2600 mm/año a 4000 mm/año, con máximas superiores a los 8000 mm/año. Es por estas condiciones que se aplican técnicas constructivas que podrían llegar a ser anticuadas para muchas obras cercanas a la capital limeña. Además, por lo alejado de la obra, el empleo de trabajadores obreros propios de la zona, hace necesario la implementación de capacitaciones cuyos resultados no se ven reflejados en la producción hasta pasado algunas semanas.

Habiendo ya concluido la etapa de excavación del túnel, dividida por zonas para su control al detalle, la fase de obras de concreto armado se convierten en las críticas del proyecto. El habilitado y colocado del acero, más el encofrado y vaciado, son los procesos cruciales y sistemáticos para el cumplimiento de las tareas de concreto armado.

La partida de concreto puede controlarse de forma apropiada por estar sujeta a bastas normas enfocadas a asegurar su calidad. Es decir, su implementación es relativamente sencilla por lo avanzado de los estudios propios de este material en el reglamento peruano. Sin embargo, en el tema de los trabajos en acero, en especial el ASTM A-615 Grado 60, si bien es cierto se dispone de material regulador por parte del estado, estas están limitadas principalmente a su empleo en edificaciones y de forma menos desarrollada para los demás procesos constructivos donde se emplee este material ferroso. Es por esto que se identifica al habilitado del acero como el caso más crítico en el avance de la construcción del túnel.

Detallar las No Conformidades encontradas en el habilitado de acero resulta importante por las razones ya anotadas previamente. Estas pueden variar de nivel de importancia,

dependiendo del grado de impacto que tenga sobre el costo y el tiempo del proyecto. A continuación, se detallan dos No Conformidades con sus respectivas acciones correctivas que resultaron tener un alto impacto en la construcción.

3.7.6.1 No Conformidad 1: Arcos asimétricos de acero ASTM A-615 Grado 60. El habilitado de los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60 (corrugados) tienen distintos métodos de trabajo. En algunos casos se hacen uso de equipos especializados para el doblado a precisión mecánica automatizada. Sin embargo, para solventar los gastos por la condición física del lugar de obra, una de las contratistas, encargada de habilitar los refuerzos de acero para el túnel, se vieron en la necesidad de emplear herramientas de uso manual para el doblado y formación de los arcos simétricos. Sin embargo, los problemas de precisión se dieron con mucha frecuencia, siendo su impacto alto en el proyecto en costo y tiempo.

Figura 24

Doblado Manual de Arcos de Acero



Nota: Elaboración propia.

Como solución inicial a la falta de precisión se implementó el uso de una máquina dobladora de acero corrugado, la cual se adecuó parcialmente para la formación de los arcos

con el diámetro requerido en los planos. Esta forma de trabajo resultó más rápida que el método de doblado manual, sin embargo, mostraron resultados ilusorios.

Los arcos obtenidos durante el habilitado mecánico mantuvieron un porcentaje relevante de no conformidades. A pesar de ser aparentemente más efectivo que el anterior método aplicado, este mostró resultados que no favorecieron a la producción. Fue necesaria la aplicación de nuevos reajustes en la zona de colocación, aumentado el tiempo de armado y reduciendo considerablemente la velocidad de avance en obra.

Figura 25

Doblado de Acero con Máquina Dobladora Alba



Nota: Elaboración propia.

3.7.6.1.1 Acciones Correctiva: Reajuste mixto y sistematizado de arcos de acero corrugado. Para corregir los arcos con deformaciones parciales, se hizo uso de personal humano y herramientas manuales para su reajuste. El problema con la corrección de arcos de acero deficientemente habilitados recae en la necesidad de regresar al acero a una posición previa a ser doblado. Siendo esto último complicado de realizar por la fluencia del acero en una parte de la varilla tras el doblado inicial. Este proceso requiere el trabajo íntegro de un

operario y dos ayudantes, encargados de corregir las desviaciones de los arcos y procurando su simetría.

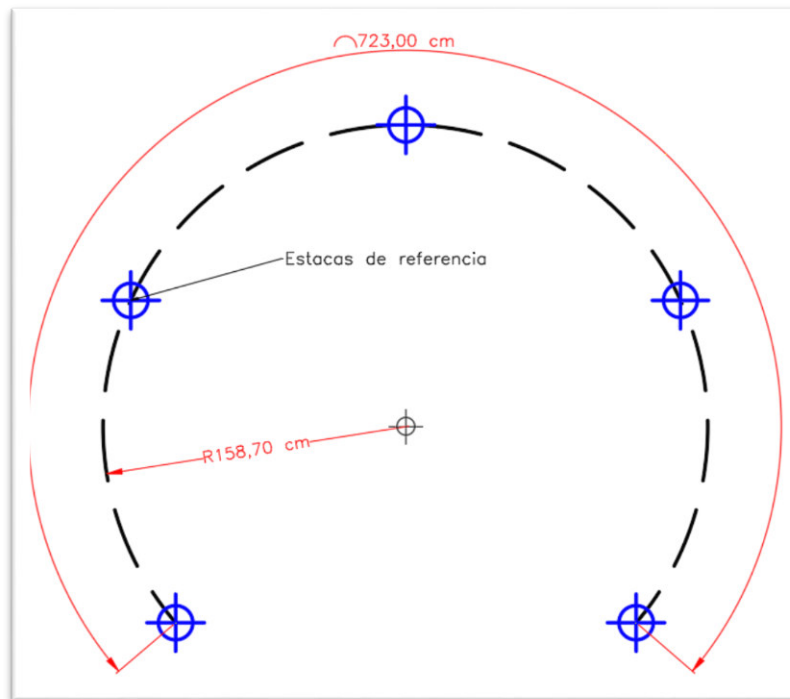
Este proceso resultó en un incremento en el tiempo de habilitado y atraso en colocado, ya que no se ejecutaba un control constante a los materiales habilitados y se transportaban directamente al túnel para su colocado. Esto permitió que solo se puedan identificar las deficiencias en el habilitado (de los arcos principalmente) en el colocado. Es decir, se corregía a medida que se avanzaba en el armado dentro del túnel de conducción. Esta falta de orden se hizo evidente en los constantes retrasos en los tiempos de inicio de encofrado y vaciado del concreto.

Para solucionar esta falta de orden se implementó al habilitado mecánico el empleo de estacas de referencia en el suelo, ubicadas dentro de la circunferencia del túnel trazada sobre un piso nivelado. Estas estacas mantenían una separación prudente para conformar adecuadamente la figura final del túnel y reajustar directamente las varillas habilitadas en la máquina dobladora. Este proceso hizo homogéneo el reajuste de los arcos de acero y aceleró el proceso de reajuste en gran medida a la obtenida por el reajuste en la zona de colocado con el uso de herramientas manuales como tubos de acero y niveles. Así mismo, se incluyó la pauta de doblado de marcar las varillas despiezadas cada 20 cm como referencia al posterior doblado en la máquina de acero corrugado.

Es importante resaltar que los arcos habilitados con esta metodología secuencial, conformada por el doblado primario en la máquina dobladora mecánica y el reajuste final con las estacas en piso, mostraron resultados muy eficientes en la producción. Se lograron habilitar más arcos por día y se consiguió satisfacer la demanda promedio del equipo de colocado en el túnel.

Figura 26

Esquema de Colocación de Estacas en Piso Nivelado para Reajuste de Arcos de Acero Corrugado



Nota: Elaboración propia.

Figura 27

Reajuste manual en Piso Nivelado de los Arcos de Acero Corrugado



Nota: Elaboración propia.

Figura 28
Verificación de Longitud de Traslape Tras Habilitado



Nota: Elaboración propia.

Figura 29
Verificación de Longitud de Arco Tras Reajuste de Habilitado de los Arcos de Acero Corrugado



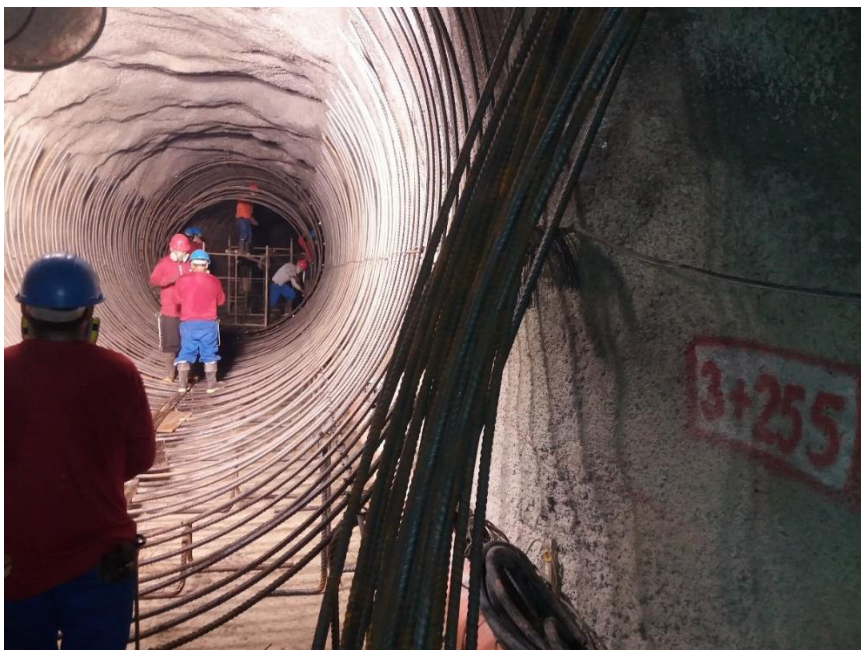
Nota: Elaboración propia.

3.7.6.2 No Conformidad 2: Exposición del acero de refuerzo transversal en concreto endurecido – Túnel de Conducción. Los problemas que generalmente ocurren durante y después del vaciado de un elemento de concreto armado se deben, principalmente, a alguno de los tres materiales fundamentales presentes en este proceso si no son los tres al mismo tiempo. Estos materiales son el cemento, el agregado y el acero de refuerzo. Es necesario mantener un control constante de estos materiales, pues de esto dependerá la calidad del elemento estructural en materia de eficacia constructiva y de funcionamiento tras su puesta en marcha.

Durante la construcción de las pantallas laterales de longitud recta y sección circular se realizó el colocado inicial de los caballetes o piezas rectas de acero para el sostenimiento de los arcos de acero que conformarían, una vez traslapadas, en el refuerzo transversal completo de la sección circular del túnel.

Figura 30

Colocado de Arcos Correctamente Habilitados de Acero Inferiores y Superiores con el Sostenimiento de Caballetes del Mismo Material en la Base



Nota: Elaboración propia.

Tras finalizar el colocado del acero se encofró y se vació la sección. Sin embargo, al fraguar el concreto y retirar las planchas y soleras del encofrado se notaron exposiciones notorias del acero de refuerzo en la superficie de la pantalla. Tras analizar las causas del desfase en el recubrimiento, se alzó la conclusión del mal habilitado de los arcos de acero de refuerzo. Los cuales no habían sido adecuadamente controlados en función a su calidad de simetría y esto posibilitó que el encofrado no cubriera todo el armado respetando el recubrimiento mínimo.

Este error en el proceso resultó de importancia, ya que el túnel está diseñado para transportar elevados caudales de agua bajo tierra desde la bocatoma en la presa hasta la cámara de carga de la central hidroeléctrica. Entonces este elemento estructural recibirá elevados esfuerzos de empuje del suelo alrededor, siendo la acción friccionante de las partículas llevadas por el agua a alta velocidad a lo largo de túnel, la mayor amenaza de deterioro del túnel. Por tal, poseer un recubrimiento mínimo o nulo podría poner en condiciones críticas la futura estructura en función y hasta llegar a su cierre de operaciones por peligro de colapso.

3.7.6.2.1 Acciones correctivas de solución a la exposición del refuerzo posterior al vaciado y fraguado de la pantalla de concreto armado. Las fallas de armado en el concreto endurecido representa un grave problema para la productividad de la construcción, pues implica demoler parcial y/o totalmente el elemento afectado para su reparación. En el caso de las pantallas cilíndricas del túnel, el cual presentó problemas por exposición del acero de refuerzo transversal, se tuvo que demoler parcialmente la pantalla afectada y modificar la dimensión del acero y reubicarla en el espacio que la mantenga confinada con concreto posterior a su reparación.

A pesar de ejecutar un proceso muy intrusivo para reparar la estructura, el empleo de epóxicos para la unión efectiva de concreto fresco con concreto antiguo hace de este procedimiento uno seguro en términos de calidad estructural.

Sin lugar a dudas, este proceso tuvo un impacto considerable en el presupuesto y cronograma de obra, pues se trata de un proceso muy lento y costoso. Esto se verá más a detalle en el siguiente subcapítulo.

IV. RESULTADOS


4.1 Impacto en el Costo de Obra

Tras tener identificados las No Conformidades, es posible cuantificar los costos de no haber realizado un correcto control de calidad en el proceso de trabajo más crítico. Estos costos se obtuvieron con un análisis de precios unitarios de cada partida de reparación ejecutada para las no conformidades detectadas y el rendimiento de trabajo fue formulada acorde a lo ejecutado en obra.

Indicadores de NO CONFORMIDADES en el habilitado del acero de refuerzo del túnel de conducción.

Tabla 9

Relación de No Conformidades en el habilitado del acero de refuerzo del túnel de conducción.

| Incidencias de NO CONFORMIDADES en el Habilitado del Acero de Refuerzo del Túnel de Conducción | | | |
|--|---|--------------|--------|
| Arcos Asimétricos de Acero ASTM A-615 Grado 60. |  | 480 Arcos | 87.59% |
| Exposición del Acero de Refuerzo Transversal en Concreto Endurecido – Túnel de Conducción. | | 68 Pantallas | 12.41% |
| Total: | | 548 | 100% |

Nota: Elaboración propia.

4.1.1 Costo de No Conformidad 1

Para deducir el costo de la No Conformidad 1, que consiste en el reajuste manual y mecánico de los arcos de Acero ASTM A-615 Grado 60, se realizó el Análisis de Precios Unitarios (APU) de la partida. Para esto se utilizó un rendimiento de 750 kg de reajuste de arcos defectuosos por día con una cuadrilla de 02OP + 01OF + 03AY.

Tabla 10

Análisis de Precios Unitarios de la Reparación de las Pantallas de Concreto Armado del Acero de Refuerzo Transversal Expuesto.

| Partida: Reajuste Manual y Mecánico de los Arcos de Acero ASTM A-615 Grado 60 | | | | | | | |
|--|-----------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|
| Rendimiento: 750 kg / día | | Costo Unitario Directo por: Kg | | | | | S/ 3,80 |
| | Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | P. Unitario | P. Parcial | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0,1000 | Operario fierro. | hh | 2,00 | 0,021 | S/ 22,94 | S/ 0,49 | |
| 0,2000 | Oficial fierro. | hh | 1,00 | 0,011 | S/ 18,14 | S/ 0,19 | |
| 0,3000 | Peón. | hh | 3,00 | 0,032 | S/ 16,39 | S/ 0,52 | |
| | | | | | | S/ 1,20 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0,4000 | Dobladora de fierro | hm | 2,00 | 0,021 | S/ 120,00 | S/ 2,56 | |
| | | | | | | S/ 2,56 | |
| Herramientas | | | | | | | |
| 0,5000 | Herramientas manuales | % MO | | 3,000 | S/ 1,20 | S/ 0,04 | |
| | | | | | | S/ 0,04 | |

Nota: Elaboración propia.

4.1.2 Costo de No Conformidad 2

Para la elaboración del APU de la partida denominada “Reparación de pantallas con acero transversal expuesto” se utilizó un rendimiento de 2 pantallas reparadas por día con un ancho nominal de 1 m.

Tomando en consideración las especificaciones técnicas se puede detallar que la longitud de arco efectiva de acero de refuerzo transversal es de 2.73 ml por pantalla. Sabiendo que se tiene un rendimiento de dos pantallas por día, se puede deducir que se tiene un rendimiento de 5.46 ml / día de reparación de pantallas con el acero de refuerzo expuesto en el concreto endurecido. Bajo esta premisa y en conjunto con los procedimientos de trabajo y costos unitarios se obtiene el costo que se muestra a continuación por metro lineal.

Tabla 11*Análisis de Precios Unitarios del Reajuste de Arcos de Acero Corrugado por Kg.*

| Partida: Reparación de Pantallas con Acero Transversal Expuesto | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------|-------------------|---------------|
| Rendimiento: 5,46 ml /día | | Costo Unitario Directo por: ml | | | | | S/ | 696,86 |
| Descripción | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | P. Unitario | | P. Parcial | |
| Mano de Obra | | | | | | | | |
| 0,1000 | Operario de construcción. | hh | 2,00 | 2,930 | S/ | 22,94 | S/ | 67,22 |
| 0,2000 | Oficial de construcción | hh | 2,00 | 2,930 | S/ | 18,14 | S/ | 53,16 |
| 0,3000 | Peón. | hh | 6,00 | 8,791 | S/ | 16,39 | S/ | 144,09 |
| | | | | | | | S/ | 264,47 |
| Materiales | | | | | | | | |
| 0,4000 | Disolvente de tricloroetileno, para aceites, grasas y resinas. | L | | 0,030 | S/ | 27,84 | S/ | 0,84 |
| 0,5000 | Mortero monocomponente a base de cemento, inhibidores de corrosión y polímeros en polvo, para la protección y pasivación de armaduras de acero, y como puente de unión entre mortero de reparación y concreto existente. | kg | | 0,450 | S/ | 10,85 | S/ | 4,88 |
| 0,6000 | Anclaje compuesto por varilla roscada de acero galvanizado calidad 5.8, según ISO 898-1 de 8 mm de diámetro, y 110 mm de longitud, tuerca y arandela, para fijaciones sobre estructuras de concreto. | und | | 1,000 | S/ | 3,07 | S/ | 3,07 |
| 0,7000 | Cartucho de resina epoxi, libre de estireno, de dos componentes, con dosificador y boquilla de mezcla automática, de 400 ml, para anclajes estructurales verticales y horizontales. | und | | 0,851 | S/ | 68,91 | S/ | 58,64 |
| 0,8000 | Acero en varillas corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706. | kg | | 5,000 | S/ | 3,00 | S/ | 15,00 |
| 0,9000 | Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (31 MPa), no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, exposición a sulfatos insignificante, con baja permeabilidad en exposición al agua, no expuesto a cloruros, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, premezclado en planta, según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.060. | m3 | | 0,500 | S/ | 510,00 | S/ | 255,00 |
| 0,1000 | Tablón de madera de pino, de 20x7,2 cm | m | | 1,000 | S/ | 12,26 | S/ | 12,26 |
| 0,1100 | Clavos de acero. | kg | | 0,450 | S/ | 3,75 | S/ | 1,69 |
| 0,1200 | Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura. | und | | 0,013 | S/ | 38,56 | S/ | 0,50 |
| | | | | | | | S/ | 351,88 |
| Equipos | | | | | | | | |
| 0,1300 | Martillo Neumático | hm | 2,00 | 2,930 | S/ | 11,26 | S/ | 33,00 |
| 0,1400 | Compresor portátil diesel media presión 10 m ³ /min. | hm | 1,00 | 1,465 | S/ | 19,11 | S/ | 28,00 |
| 0,1500 | Equipo de chorro de arena a presión para limpieza del acero corrugado | hm | 1,00 | 1,465 | S/ | 7,90 | S/ | 11,58 |
| | | | | | | | S/ | 72,58 |
| Herramientas | | | | | | | | |
| 0,1600 | Herramientas | % | | 3,000 | S/ | 264,47 | S/ | 7,93 |
| | | | | | | | S/ | 7,93 |

Nota: Elaboración propia

4.1.3 Resumen de costo de reparaciones

Ya habiéndose obtenido los precios por kg. y ml. de la reparación de las no conformidades 1 y 2 respectivamente (ver tabla 10 y 11) se puede deducir el costo total de los retrabajos, agregando al análisis el número de incidentes de cada No Conformidad.

De acuerdo a la Tabla 9, se sabe que el número de incidentes de la No Conformidad 1 y 2 es de 480 arcos y 68 pantallas respectivamente. Entonces, el metrado total por ítem será la multiplicación del metrado unitario por el número de incidentes correspondiente. De esta forma se puede agregar el precio unitario al análisis y obtener el costo real de la reparación de cada No Conformidad tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12

Costo Total de las Reparaciones de las No Conformidades del Túnel de Conducción.

| Resumen de Costos de Reparaciones | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--------|--------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|--|
| No Conformidad | Descripción | Unidad | Metrado por Elemento (a) | N° Incidentes (b) | Metrado Total (c = a x b) | Precio Unitario (d) | Precio Parcial (e = c x d) | | |
| 1° | Costo directo de reajuste de arcos de acero corrugado por kg. | kg | 28,70 kg/arco | 480 arcos | 13.777,49 | S/ 3,80 | S/ | 52.299,34 | |
| 2° | Costo directo de Reparación de pantallas con el acero de refuerzo transversal expuesto por metro lineal: | ml | 2,73 ml/pantalla | 68 pantallas | 185,64 | S/ 696,86 | S/ | 129.365,09 | |
| TOTAL: | | | | | | | S/ | 181.664,43 | |

Nota: Elaboración propia.

Según se explica en el capítulo 3.2.5.1, el presupuesto destinado la partida de acero corrugado ASTM A-615 Grado 60 es de S/ 6,892,043.06. Entonces, se puede afirmar el costo total de las reparaciones de las No Conformidades representó un 2.57% de gasto extra al costo directo total de la partida de acero en el Proyecto sumando un total de S/ 181,664.43 en pérdidas netas de dinero.

Además, se observa que el costo de reparar la No Conformidad 2 es mucho más cuantiosa que la No Conformidad 1, por lo que se la puede categorizar como una partida crítica en el proyecto.

Finalmente, se puede inferir que el control de calidad en estos procesos es absolutamente necesario para su mitigación en términos económicos y por tal, de gran importancia para el proyecto.

4.2 Tiempo de Reparación de las No Conformidades

El levantamiento de las observaciones de cada No Conformidad, detallada párrafos arriba, necesitó, además de una elevada cantidad de recursos económicos aplicados exclusivamente al proceso para su solución efectiva, también se dispuso de mucho tiempo para su finalización. Como ya se sabe, el tiempo también significa dinero, pues se ve ampliado indebidamente el plazo de entrega del trabajo que, más allá de ser razón fundamental de multas y sanciones, conllevará a atrasar el tiempo de puesta en servicio del proyecto perjudicando gravemente a la población a la que estará destinada.

Debido a que ambas no conformidades se encuentran en la ruta crítica de la obra, los procesos de reajuste en el habilitado de acero corrugado y las reparaciones del concreto endurecido por exposición de las varillas se incluirán en este análisis. El tiempo que se tuvo que aplicar en las soluciones se detallan a continuación:

Tabla 13

Tiempo Estimado para levantamiento de No Conformidades.

| Tiempo Requerido para Levantamiento de NO CONFORMIDADES | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------|---------------------------|
| No Conformidad | Descripción | Rendimiento | Metrado Total | N° Días de Trabajo |
| 1° | Costo directo de reajuste de arcos de acero corrugado por kg | 750 kg/día | 13.777,49 kg | 19 días |
| 2° | Costo directo de Reparación de pantallas con el acero de refuerzo transversal expuesto por metro lineal: | 5,46 ml/día | 185,64 ml | 34 días |
| | | | TOTAL: | 53 días |

Nota: Elaboración propia.

A partir de este análisis se determinó que el tiempo de aplazamiento o retraso en la obra, y en especial la partida de acero, fue de 53 días hábiles de retraso, que se vieron reflejados en la variación del cronograma de obra y resultó en sanciones moratorias para el ente constructor.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Implementación del SGC en el Proyecto

Como se ha visto en el capítulo 4, el costo de no aplicar un correcto Sistema de Gestión de Calidad (SGC) y en especial en la partida de habilitado del acero corrugado, significó alzas en el costo final de obra y retrasos en la producción. El mal habilitado de los aceros de refuerzo corrugados fueron claves en el aumento del costo y tiempo de la obra.

Las No Conformidades se pudieron evitar, como se ha ido mencionando a lo largo de la investigación, con un adecuado control de calidad para su aseguramiento total. Reducir el retrabajo es una de las finalidades del SGC presentado en el estudio, pues esto conllevará a la reducción del tiempo y costo del proyecto.

En el PPI de la partida de acero se identificaron todos los puntos posibles en las cuales se hará necesario aplicar una evaluación a detalle para el aseguramiento de la calidad del acero habilitado. Si la pieza habilitada está correctamente trabajada, y así lo demuestran los protocolos pertinentes, entonces la pieza podrá transportarse a la zona de colocado para su disposición final. El proceso más crítico y a la cual se le debería prestar debida atención es al habilitado de los arcos simétricos, que constituyen tras su traslapado, en el refuerzo transversal circular del túnel cilíndrico. Si los arcos no se habilitan correctamente se podrían detectar fallas en vaciado del concreto y estas no se den a relucir posterior a su endurecimiento y desencofrado. Son este tipo de fallas las que conllevan a altos costos de reparación. En el caso de identificar el acero corrugado habilitado deficientemente previo a su colocado permitió una reducción en los costos de demolición y resane en confinamiento con el concreto, sino que se posibilitó su reajuste aislado dentro y fuera del túnel de conducción.

5.1.1 Costo de Implementación del SGC

Para implementar en el sistema de trabajo actual un SGC eficiente y lo suficientemente adecuado para asegurar su independencia como departamento de control dentro de la empresa constructora recientemente formada se presenta el siguiente presupuesto total del SGC propuesto. El cual está dividido en dos grupos. Por una parte, los costos de evaluación, referentes a los materiales y equipos necesarios para las verificaciones de los PPI y PIM planificados. Por otra parte, los costos de prevención, enfocados a detallar las herramientas necesarias para capacitar al personal y ejecutar actividades o pruebas dentro de la obra que eviten registros recurrentes o reiterativos de incidencias en la ejecución.

Tabla 14

Costos de las Evaluaciones Dentro del SGC Propuesto.

| Costos de Evaluación del SGC | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|--------|----------|----|----------|----|--------------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | P.U. | | P. Parcial |
| 1 | Wincha 8 m | Unidad | 4 | S/ | 28,00 | S/ | 112,00 |
| 2 | Nivel de Mano | Unidad | 8 | S/ | 27,00 | S/ | 216,00 |
| 3 | Escuadras Metálicas | Unidad | 8 | S/ | 50,00 | S/ | 400,00 |
| 4 | Multímetro Digital | Unidad | 1 | S/ | 100,00 | S/ | 100,00 |
| 5 | Medidor de Humedad | Unidad | 1 | S/ | 2.800,00 | S/ | 2.800,00 |
| 6 | Reflector halógeno portátil 500W | Unidad | 5 | S/ | 450,00 | S/ | 2.250,00 |
| 8 | Computador Portátil | Unidad | 2 | S/ | 1.500,00 | S/ | 3.000,00 |
| Total: | | | | | | | S/ 8.878,00 |

Tabla 15*Costos de Prevención enfocada a la Capacitación del Personal.*

| Costo de Evaluación del SGC | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------|--------------|------------|------------|-----------|-----------------------|------------------------|----------------|---------------|---------------------|
| Descripción | Responsable de Calidad | Responsable de Producción | Capataz | Operario | Oficial | Peón | Tiempo Parcial (días) | Tiempo Parcial (horas) | Costo por hora | Costo Parcial | Costo Total |
| | 01 Jefe | | | | | | 1 | 10 | S/ 50,00 | S/ 500,00 | |
| | 01 Asistente | | | | | | 1 | 10 | S/ 25,00 | S/ 250,00 | |
| | | 01 Jefe | | | | | 1 | 10 | S/ 50,00 | S/ 500,00 | |
| | | 01 Asistente | | | | | 1 | 10 | S/ 25,00 | S/ 250,00 | |
| Mes promedio | | | 01 Encargado | | | | 1 | 10 | S/ 18,20 | S/ 182,00 | S/ 4.294,20 |
| | | | | 02 Frentes | | | 2 | 20 | S/ 17,37 | S/ 347,40 | |
| | | | | | 10 Respon. | | 1 | 80 | S/ 14,89 | S/ 1.191,20 | |
| | | | | | | 10 Respon | 1 | 80 | S/ 13,42 | S/ 1.073,60 | |
| 3 meses | | | | | | | Total | | | | S/ 12.882,60 |

Nota: Elaboración propia

Habiendo tenido estos dos costos propios de la implementación del SGC propuesto, se deduce el costo total de **S/ 21,790.60**. En comparación el presupuesto destinado la partida de acero corrugado ASTM A-615 Grado 60, de **S/ 6,892,043.06**, entonces el costo total de implementar el SGC propuesto representa solo un 0.32% de gasto extra al costo directo total de la partida de acero en el Proyecto.

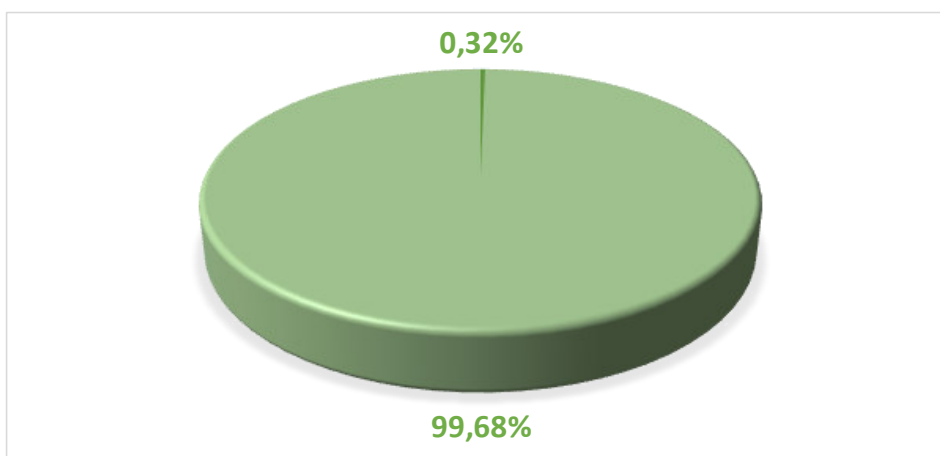
5.2 Resultados Finales

Recopilando los resultados de los costos de implementar el SGC para el habilitado del acero ASTM A-615 Grado 60 y el costo de reparación de las No Conformidades ocasionadas la ausencia de este sistema obtenemos lo siguiente:

Figura 31

Tabla de Incidencia del costo de Implementación del SGC Propuesto respecto al costo directo Total de la Partida de Acero Corrugado

| Incidencia del Presupuesto de Calidad | | | |
|---|----|--------------|--------|
| Costo de implementación del SGC para el habilitado del acero ASTMA-615 grado 60. | S/ | 21.760,60 | 0,32% |
| Costo directo destinado a la partida de acero ASTMA-615 grado 60 en el túnel de conducción. | S/ | 6.892.043,06 | 99,68% |

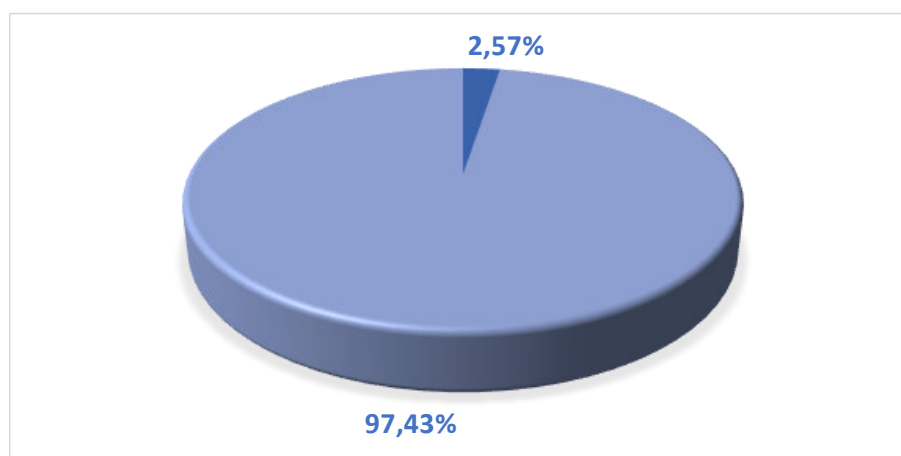


Nota : Elaboración propia.

Figura 32

Tabla de Incidencia del Costo de Reparación de las No Conformidades respecto al Costo Directo Total de la Partida de Acero Corrugado.

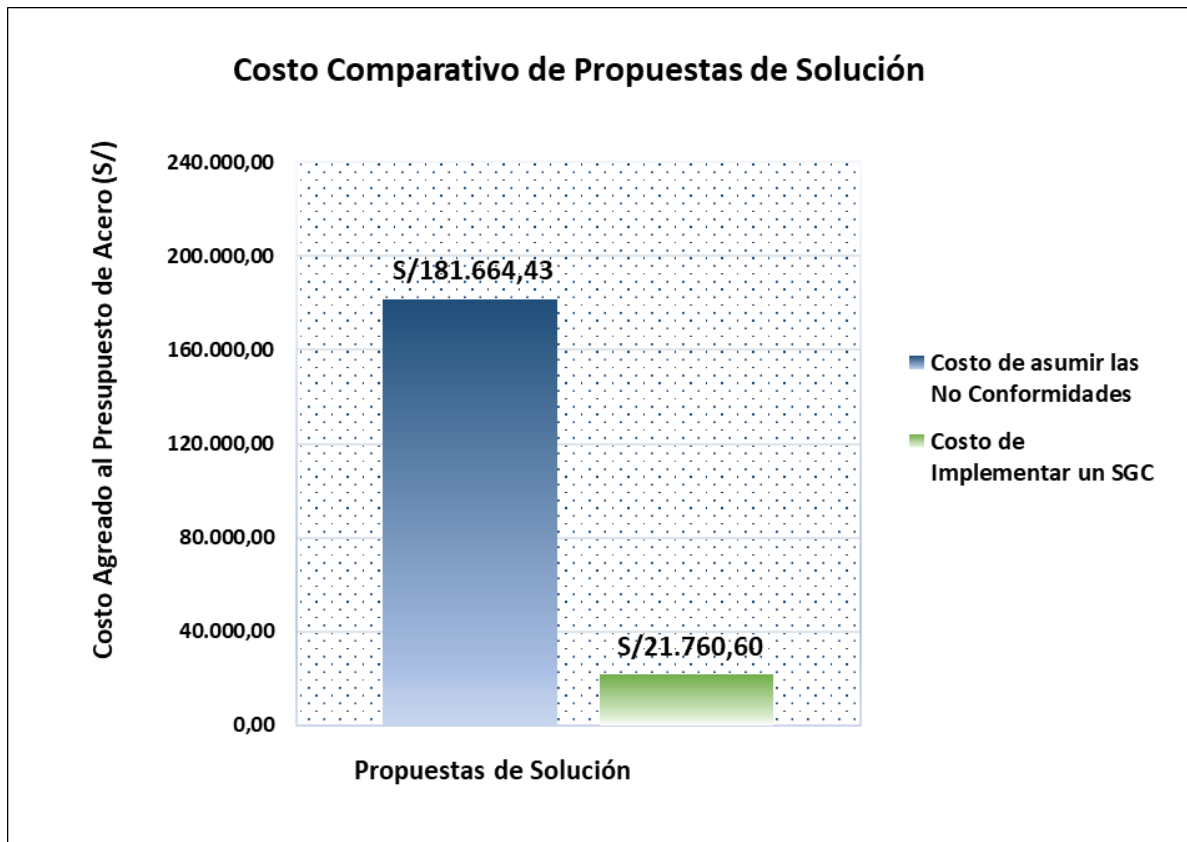
| Incidencia del Costo de Reparación de las No Conformidades respecto al Costo Directo | | | |
|---|----|--------------|--------|
| Costo de reparación de las No conformidades producto de la ausencia de un SGC en el habilitado del acero. | S/ | 181.664,43 | 2,57% |
| Costo directo destinado a la partida de acero ASTM A-615 grado 60 en el túnel de conducción. | S/ | 6.892.043,06 | 97,43% |



Nota: Elaboración propia.

Figura 33

Gráfico de los Costos Comparativos de las Propuestas de Solución Estudiadas



Nota: Elaboración propia.

Tras analizar los costos de incidencia para cada punto indicado, se puede concluir que el costo de implementar un SGC enfocado en el habilitado del acero de refuerzo tipo ASTM A-615 Grado 60 reducirá el costo directo de la partida en un 2.57%, equivalente a S/ 181,664.43. Además, analizando los resultados con una comparación directa (ver Fig. 33) se puede anotar que el costo de asumir las No Conformidades es 8.35 veces más costoso que implementar un SGC competente que haga frente a estos problemas antes de su aparición y evite ejecutar retrabajos costosos y lentos.

VI. CONCLUSIONES

- a. Se demostró que existe una relación directa en la implementación y el control de la calidad del acero ASTM A-615 Grado 60, ya que forman parte de un sistema de gestión de calidad, que minimiza la probabilidad de que sucedan las no conformidades en el proyecto, el cual evidencia un impacto negativo en el costo y el cronograma del proyecto, es por ello que es determinante gestionar aquellos procesos para cumplir con los objetivos del proyecto.
- b. Se determinó que el proceso más crítico en la partida de acero de refuerzo en el túnel de conducción es el habilitado de los refuerzos transversales, conformados por arcos de acero ASTM A-615 Grado 60, debido el alto nivel de precisión en su doblado para la formación de arcos simétricos que permitan, tras su traslapado, la formación de circunferencias perfectas en su colocado.
- c. Se demostró que el procedimiento de reajuste, posterior al doblado mecánico a cada 20 cm, de los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60 con estacas empotradas a lo largo del trazo de la circunferencia colocados sobre un piso nivelado, resulta ser eficiente en materia de calidad y productividad; pues al estandarizar el reajuste se minimiza el tiempo del proceso en el habilitado de los arcos de acero ASTM A-615 Grado 60.
- d. En la casuística, los costos de reparación inmediata de las No Conformidades en el habilitado del acero de refuerzo del túnel de conducción incurrieron en el aumento del 2.57% del costo directo predeterminado para esta partida, haciendo un total de S/ 181,664.43 de sobrecosto. Se demostró que asumir la reparación de las No Conformidades es 8.35 veces más costoso que implementar un SGC competente que haga frente a estos problemas antes de su aparición y evite ejecutar retrabajos costosos y lentos. Al ser la partida de habilitado del acero de refuerzo parte de la ruta crítica, las dos no conformidades analizadas implicaron un retraso de 53 días hábiles para el cronograma de obra.

VII. RECOMENDACIONES

- a. Establecidas las conclusiones de esta investigación se recomienda: aplicar la implementación y el control de calidad en el proyecto, en otras partidas y hacer uso de la búsqueda de los procesos críticos, para implementar un proceso de reajuste eficiente, para disminuir y/o evitar las no conformidades, las cuales tienen un impacto negativo en el proyecto y serán los responsables de cumplir con los objetivos del proyecto.
- b. Se recomienda encontrar el o los procesos críticos en el flujo de trabajo, para ello se pueden apoyar en el uso de algunas herramientas como: el gemba, que significa “el verdadero lugar” ya que es en ese lugar donde realmente sucede el trabajo, y técnicas de gestión como: la lluvia de ideas, donde los interesados de la organización puedan brindar con su experiencia todo el apoyo para poder ubicar este proceso para, para luego más adelante tratar de gestionarlo de la mejor forma posible.
- c. Para poder implementar un proceso de reajuste eficiente en un proyecto determinado, la empresa debe adoptar una política de calidad enfocada en el cumplimiento de las normativas pertinentes y compromiso con el área de calidad y propiciar la mejora continua en todas las áreas de trabajo, además se recomienda el juicio de expertos, que en este caso fueron los operarios del proyecto (personal que maneja la dobladora eléctrica)
- d. Para ampliar la investigación se podría enfocar el estudio de un SGC integral, en el que se lleve a cabo procesos de control de calidad a lo largo de las distintas etapas del proyecto, indiscriminadamente de su relevancia en la producción para concluir de forma definitiva la capacidad de mejora productiva de la implementación del control de calidad en proyectos de alta envergadura e impetuosa variabilidad, como son los proyectos hidro energéticos, para tratar de mitigar y/o eliminar las no conformidades.

VIII. REFERENCIAS

- AENOR. (2015), *Aportes importantes de la norma ISO 9001 al desarrollo de la Calidad*. Asociación Española de Normalización y Certificación, España.
- ASTM A615/A 615M (2018). Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement. https://doi.org/10.1520/A0615_A0615M-18E01
- COBRA Infraestructuras Hidráulicas. (2019). *Túneles: Proyectos Destacados*. <http://www.cobraih.com/areas-de-negocio/tuneles/>
- Cruz, A., (1990). *"Los catorce pasos del Método Deming"*, *Apuntes Semana de Productividad y Calidad en la Empresa*. Centro de Extensión, Santiago, Chile.
- Fernández, M. (2016). *Diseño de un sistema de gestión de la calidad bajo la norma ISO 9001:2008 empleando la metodología de la guía del PMBOK para una empresa de construcción de edificios modulares de material prefabricado*, [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7886>
- Gajardo, M. Serpell, A., (1990). Conceptos generales acerca de la calidad en la construcción. *Revista Ingeniería de Construcción (Bogotá)*, 2(9).
- Guevara, T. (2000). *Guía para implementar la Norma ISO 9000, para empresas de todo tipo y tamaño*. Mc Graw-Hill (New York).
- Lizarzaburu, E. (2015). La gestión de la calidad en Perú: un estudio de la norma ISO 9001, sus beneficios y los principales cambios en la versión 2015. *Universidad & Empresa (Lima)*, 18(30).
- Norma ISO 9001:2015 (2015). *Sistema de Gestión de la Calidad – Requisitos*. (5ª ed.). ISO 2015.

- NTP 341.031 (2008). HOMIGÓN (CONCRETO). Barras de acero al carbono con resaltes y lisas para hormigón (concreto) armado. *Especificaciones. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales INDECOPI*. Calle de la Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Lima. Perú.
- Prokopenko J. (1989). *La Gestión de la Productividad*. Ginebra: oficina internacional de trabajo.
- Quispe, N. (2015). *Acero de refuerzo en construcciones*. [Tesis pregrado, Pontificia Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú].
- Revista Construcción Minera y Energía, (2015). Construcción de Túneles Mineros. *Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción*. 3(10).
- Sánchez, A., (1969). *La inspección y el control de calidad*. Limusa, México.
- San Miguel, P. (2010). *Calidad. Español*. (2ª ed.). PARANINFO. Madrid, España.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2016). *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*. 2(9).

IX. ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia.

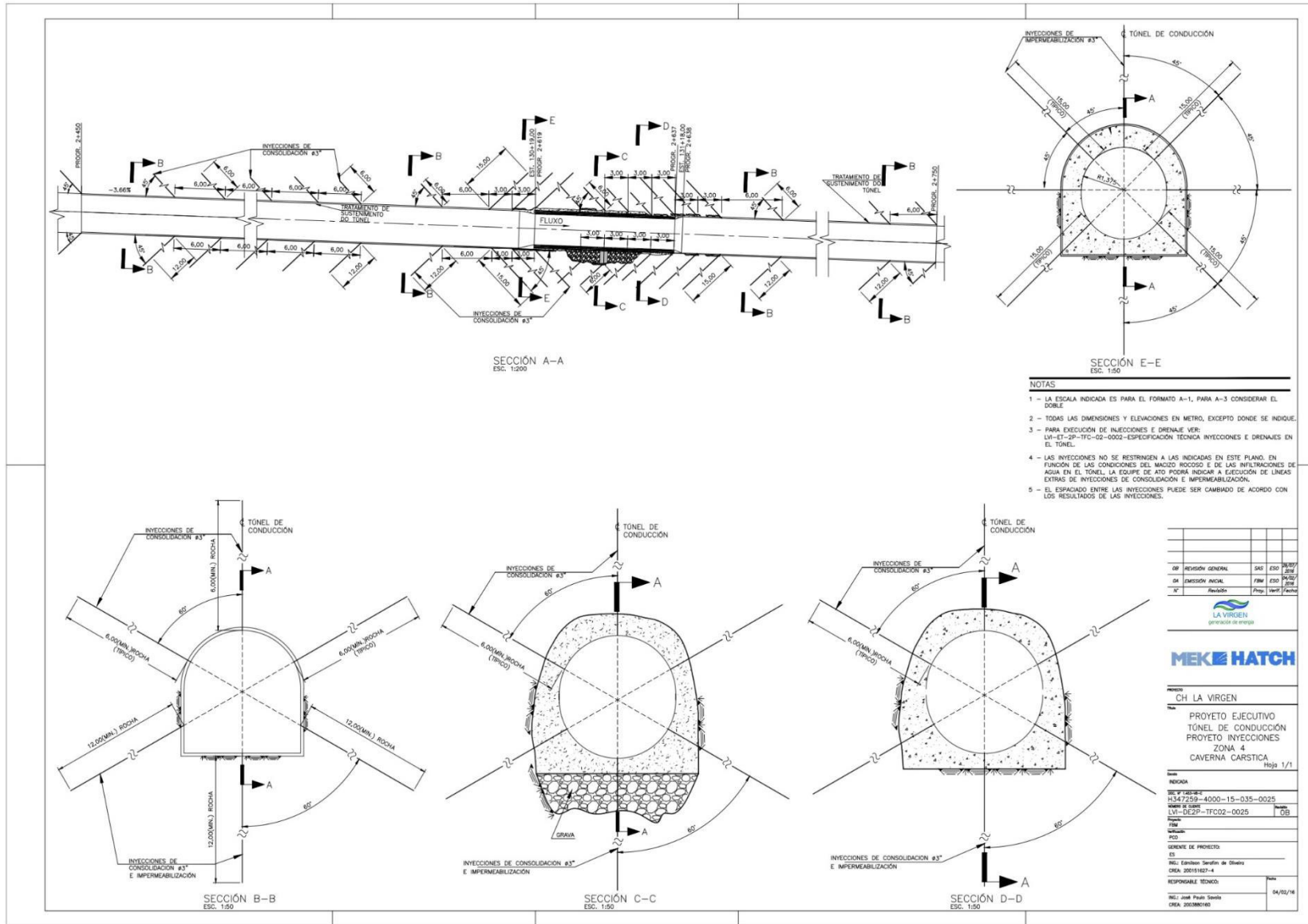
Anexo B: Planos de obra.

Anexo C: Programación de obra.

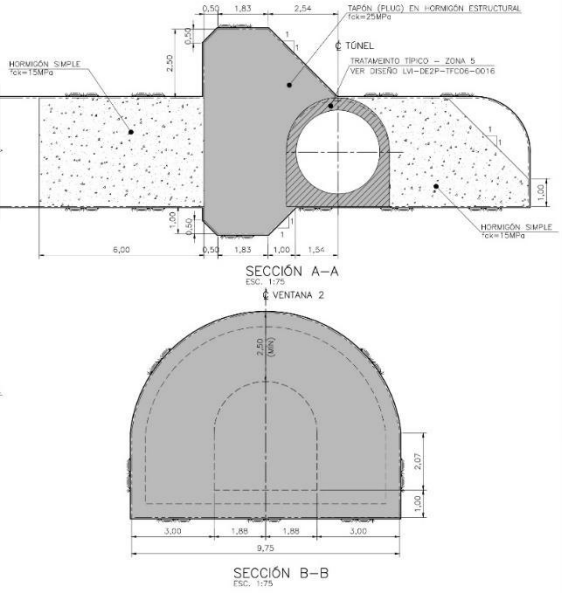
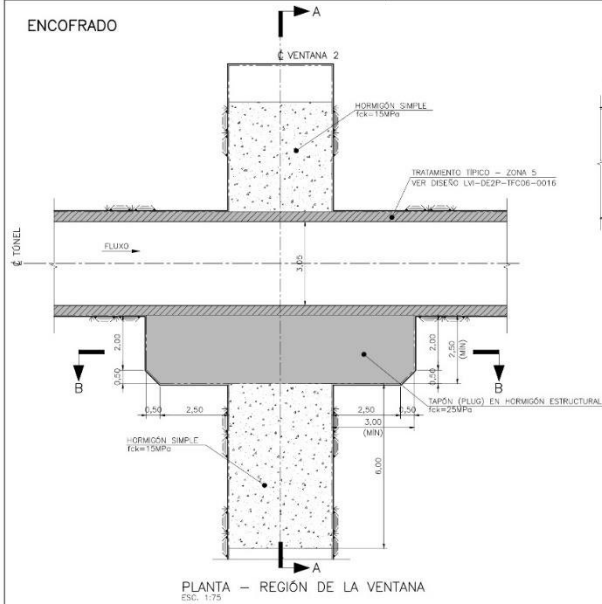
Anexo D: Panel fotográfico.

9.1 ANEXO A: Matriz de consistencia.

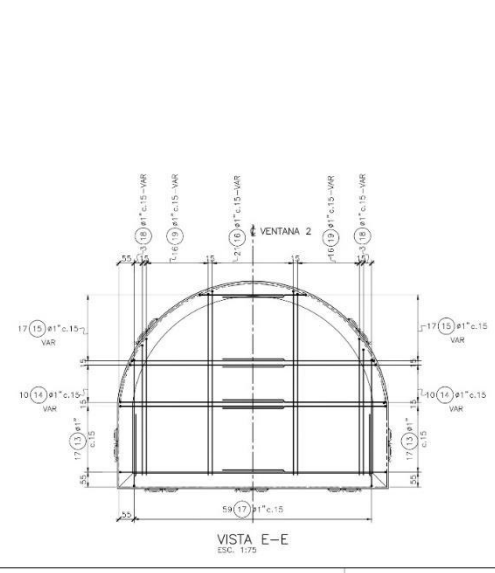
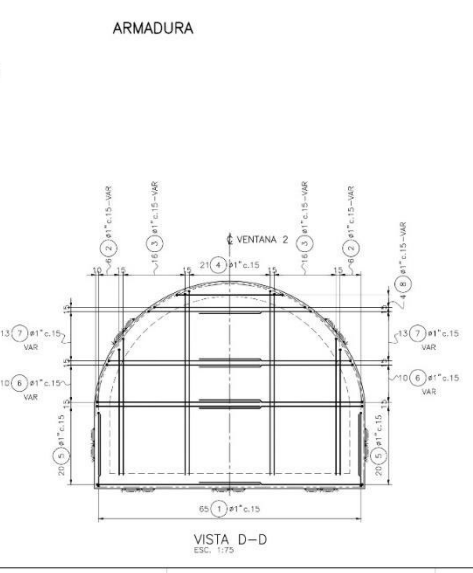
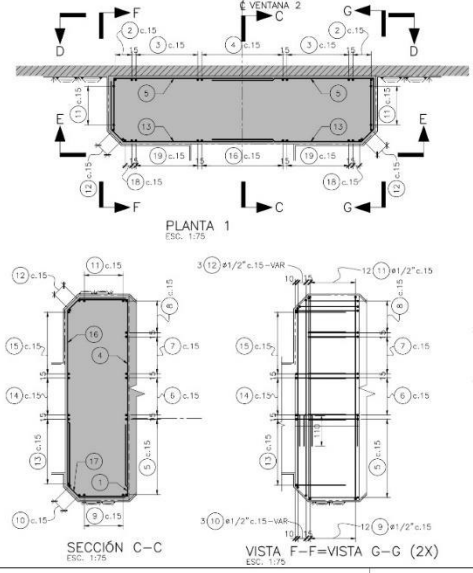
| Matriz de Consistentencia | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| Título de la Tesis: | Implementación y Control de Calidad en el Habilitado de Acero ASTM - A615 - Grado 60, Para el Túnel de Conducción en la Central Hidroeléctrica La Virgen | | | | |
| Línea de Investigación | Desarrollo Urbano - Rural, Catastro, Prevención de Riesgos, Hidráulica y Geotécnica | | | | |
| Autor: | Rojas Espinoza Hilario Gabriel | | | | |
| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | Variables | Dimensiones | Indicadores |
| Problema general: | Objetivos generales: | Hipótesis General: | | | Diseñar guías del producto. |
| ¿Cuál es la relación que existe entre la implementación y el control de calidad del acero ASTM A 615 – grado 60 de la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017? | Evaluar (Analizar) la implementación y el control de calidad del acero ASTM A 615 – grado 60 de la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017. | Existe una relación significativa entre la implementación y el control de calidad del acero ASTM A 615 – grado 60 de la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017. | | D1: Procesos críticos. | conformidad. |
| Problemas específicos: | Objetivos específicos: | Hipotesis específicas: | VARIABLE 1: Implementación de la calidad. | D2: Procedimiento de trabajo. | Costo de calidad. Costos de prevención y evaluación. |
| P1: ¿En qué medida se relaciona el control de la calidad y los procesos críticos en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017? | O1: Determinar (Explicar) en que medida se relaciona el control de la calidad y los procesos críticos en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017 | H1: Sí existe relación entre el control de la calidad y los procesos críticos en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017 | | D3: Casuística. | Procesos utilizados en el proyecto. Cumplir los estándares de calidad. |
| P2: ¿En qué medida se relaciona el control de la calidad y el procedimiento de trabajo en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017? | O2: Determinar (Establecer) en que medida se relaciona el control de la calidad y el procedimiento de trabajo en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017 | H2: Sí existe relación entre el control de la calidad y el procedimiento de trabajo en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017 | | D1: Monitorear y supervisar los resultados de la gestión de la calidad. | Mediciones de control de calidad. Información de desempeño de trabajo. |
| P3: ¿En qué medida se relaciona el control de la calidad y la casuística presentada en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017? | O3: Determinar (Comparar) en que medida se relaciona el control de la calidad y la casuística presentada en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017 | H3: Sí existe relación entre el control de la calidad y la casuística presentada en el habilitado de acero, ASTM - A615 - grado 60, para el túnel de conducción en la central hidroeléctrica "La Virgen" en Junin, en el año 2017 | VARIABLE 2: Control de la calidad. | D2: Corregir los desvíos entre la calidad planificada y las mediciones actuales. | Entregable verificados. Medidas corectivas. |
| | | | | D3: Recomendar medidas preventivas para evitar errores en el proceso. | Errores de proceso. Medias preventivas. |



ENCOFRADO



ARMADURA



SECCIÓN CLAVE

NOTAS

- 1-TODAS LAS DIMENSIONES EN CENTIMETRO Y ELEVACIONES EN METRO, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE.
- 2-LAS DISTANCIAS SE APLICAN AL CENTRO DE LAS BARRAS.
- 3-EL RECURRIMIENTO MÍNIMO DE LAS BARRAS SERÁN DE 5cm, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE.
- 4-LA ARMADURA SERÁ PUESTO DE MANERA QUE NO INTERFERA CON LAS PARTES INCRUSTADAS, AGUJEROS Y DISPOSITIVOS DE SELLADO.
- 5-ACERO UTILIZADO: ASTM A615-GRADO-60

DISEÑOS DE REFERENCIA

| | | | | | |
|----|----------|------|-------|-------|-------|
| DI | EMISIÓN | ANCL | MOD | ESO | 30/01 |
| N° | Revisión | Proy | Verif | Fecha | |

LA VIRGEN
generador de energía

MEK HATCH

PROYECTO:
CH LA VIRGEN

TÍTULO:
INGENIERÍA DE DETALLE
TRATAMIENTO EN EL TONEL
VENTANA 2

ENCOFRADO Y ARMADURA
Hoja: 1/11

PROYECTISTA:
ESO

REVISOR:
ING. Efraim Sotelo de Olea

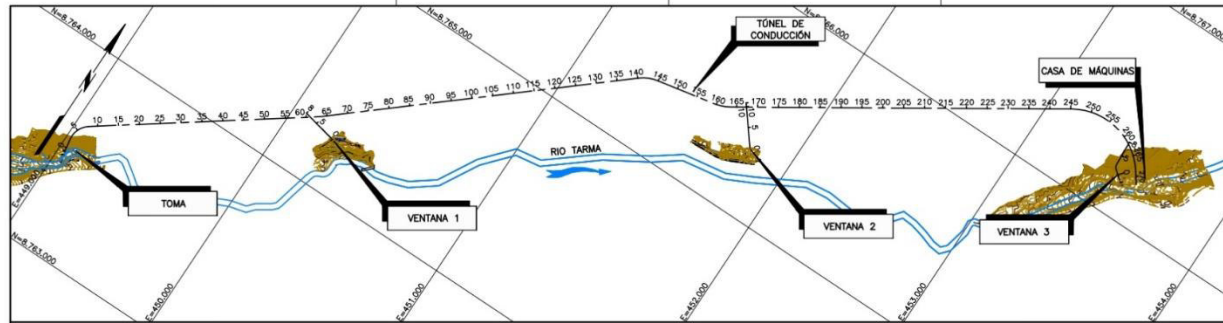
REVISOR TECNICO:
ING. José Raúl Sandoz

FECHA:
31/05/17

PROYECTO:
1347250-4000-30-035-0018

ENCARGO:
LV-DEZP-TFC06-0018

ESTADO:
DA



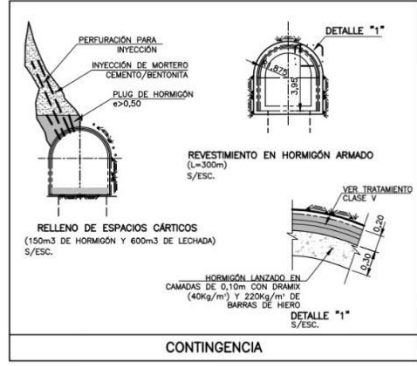
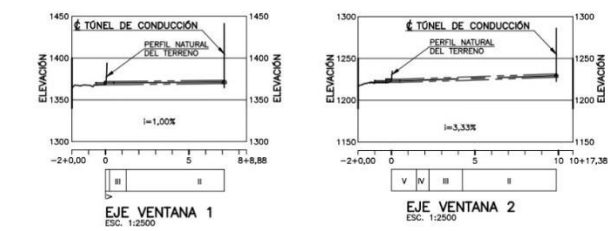
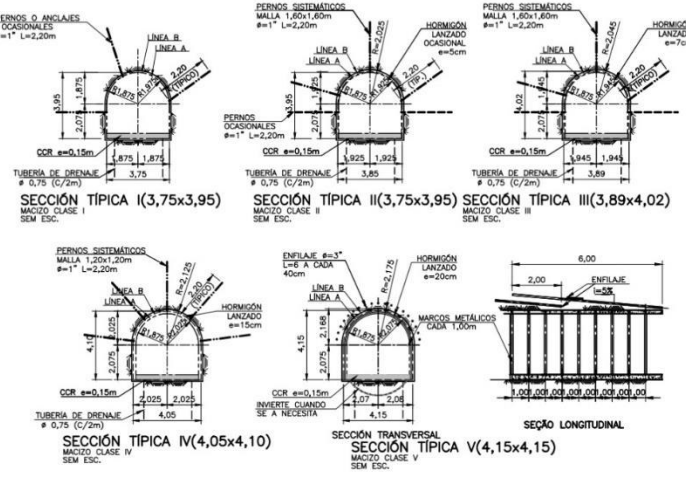
NOTAS

- 1 - TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METRO, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE.
- 2 - LA DEFINICIÓN DEL TRATAMIENTO A APLICARSE, DEBE SER HECHA EN CONJUNTO AL MAPA GEOLÓGICO DE LAS FRENTES DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL.
- 3 - EL HORMIGÓN LANZADO DEBE SER DIFUSICADO A LOGRAR f_{ck} > 30MPa A LOS 28 DÍAS DE EDAD, Y EL MÍNIMO CONSUMO DE FIBRA DE ACERO POR M³ DE HORMIGÓN > 40kg.
- 4 - LA CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA UTILIZADA EN TODO EL TÚNEL ES BIENIAWSKI, QUE ES BASADO EN EL USO DE LOS PARÁMETROS ESPECIFICADOS EN CUADRO 1 Y POSTERIOR PONDERACIÓN DE LAS CLASES DE MASAS (VA LA SUMA DE LOS PESOS), PARA CADA CLASE DE MASAS SE PREVEE (CUADRO 1) UNA FORMA DIFERENTE DE TRATAMIENTO.
- 5 - LOS TIPOS DE SOPORTE RECOMENDADO EN CUADRO 2 DICEN SOLO RESPECTO A PRESERVACIÓN DE LA SECCIÓN DE EXCAVACIÓN. PARA LA FASE OPERATIVA DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN, LOS TIPOS DE REVESTIMIENTO NECESARIOS PARA CUMPLIR DE LOS REQUISITOS HERRÁMULOS SE DEBEN DEFINIR EN CADA CASO.
- 6 - SI LAS CONDICIONES DEL MACIZO ROCOSO EMPEZAN DE PRONTO EN EL ADELANTO DE LAS EXCAVACIONES, SE RECOMIENDA LA EJECUCIÓN DE HOYOS DE EXPLORACIÓN, EN FRENTE DE AVANCE CON EQUIPO DE PERFORACIÓN CONVENCIONAL Y PROFUNDIDAD DE 15 A 20 METROS, PARA ANTICIPAR POSIBLES PROBLEMAS Y PROPORCIONAR FORMAS DE INTERVENCIÓN NECESARIA.
- 7 - LAS "CABEZAS" DE LOS ANCLAJES PERMANENTES EN EL INTERIOR DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN RECIBIRÁN PINTURA ANTICORROSIVA LA PINTURA DEBE COMPRENDER EL PRIMER METRO DE LA BARRA DE ANCLAJE, ASÍ COMO, LAS PLACAS Y LAS TUERCAS DE FIJACIÓN. EL TRAMO DE LA BARRA SIN PINTAR TENDRÁ COMO COMO BARRERA ANTICORROSIVA LA LECHADA DE CEMENTO INYECTADO PARA SU FIJACIÓN A LA PARED DEL TÚNEL SE CONSIDERÓ UN AMBIENTE MEDIANAMENTE AGRESIVO Y EN LO INTERIOR DEL MACIZO, AMBIENTE NO AGRESIVO COMO SE DEFINE PROPUESTA DE LA NBR-5629.
- 8 - LOS TRATAMIENTOS PRESENTADOS SON PARA INDICAR Y DEBEN SER MEJOR ANALIZADOS CUANDO SEAN RECIBIDOS LAS INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS DE OBRA Y CON EL AVANCE DE LAS EXCAVACIONES.
- 9 - LAS SECCIONES TRANSVERSALES SON TÍPICAS PARA EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN Y LAS VENTANAS DE ACCESO.

**CUADRO 1
CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKI)**

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN RMR CON PESOS RELATIVOS

| | | | |
|---|--|--|---|
| 1. RESISTENCIA DE ROCA INTACTA | | | |
| ÍNDICE DE COMPRESIÓN PUNIFORME (MPa) | >8 | 4 - 8 | 2 - 4 |
| RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa) | >200 | 100 - 200 | 50 - 100 |
| PESO | 15 | 20 | 25 |
| 2. RQD | | | |
| RQD(%) | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 |
| PESO | 20 | 17 | 13 |
| 3. ESPACIAMIENTO DE LAS JUNTAS | | | |
| ESPACIAMIENTO | >3m | 1 - 3m | 0.3 - 1m |
| PESO | 30 | 25 | 10 |
| 4. CONDICIONES DE LAS SUPERFICIES DE LAS JUNTAS | | | |
| DESCRIPCIÓN | SUPERFICIE MUY BUENA. NO CONTINUA. PAREDES DURAS | SUPERFICIE BUENA. ABERTURA <1mm. PAREDES DURAS | SUPERFICIE REGULAR. ABERTURA <1mm. JUNTAS CONTINUAS |
| PESO | 25 | 20 | 15 |
| 5. PRESENCIA DE AGUA | | | |
| INFILTRACIÓN DEL TÚNEL A 10m DE LONGITUD (L/Min) | - | <25 | 25 - 125 |
| PRESIÓN DE AGUA EN LA JUNTA/TENSIÓN PRINCIPAL (U/a) | 0 | 0.0 - 0.2 | 0.2 - 0.5 |
| CONDICIÓN GENERAL | COMPLET. SECO | INTERSTICIAL/HÚMEDO | GOTAS (EXCESO DE PRESIÓN) FLUJO (PROBLEMAS GRAVES) |
| B. AJUSTE EN LOS VALORES DE LOS PESOS DE ACUERDO CON LAS DISCONTINUIDADES | | | |
| DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO/INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LA FAMILIA | MUY FAVORABLE | FAVORABLE | ACEPTABLE |
| TÚNELES | 0 | -2 | -5 |
| FUNDAIONES | 0 | -2 | -7 |
| TALUDES | 0 | -5 | -25 |
| C. DIRECCIONES DE DISCONTINUIDADES EN RELACIÓN AL EJE DE LA EXCAVACIÓN (TÚNEL) | | | |
| STRIKE PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL | BUCCO DE O' HASTA 20' (ÍND. DE LA DIREC.) | | DESFAVORABLE |
| BUCCO FAVORABLE | 45' - 90' | 20' - 45' | DESFAVORABLE |
| 45' - 90' | 20' - 45' | 45' - 90' | DESFAVORABLE |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | ACEPTABLE | MUY DESFAVORABLE |
| D. CLASE DE MACIZO A PARTIR DE LA SUMA TOTAL DE LOS PESOS | | | |
| CLASE | I | | II |
| SUMA DE LOS PESOS | 100 - 81 | 80 - 61 | 40 - 21 |
| DESCRIPCIÓN | MUY BUENO | BUENO | MUY MALO |
| E. SIGNIFICADO DE CADA CLASE | | | |
| CLASE | I | II | III |
| SUSTENTACIÓN | 10 ARCOS PARA 5m DE DISTANCIA | 6 MESES PARA 4m DE DISTANCIA | 1 SEMANA PARA 3m DE DISTANCIA |
| COHESIÓN DEL MACIZO | >300KPa | 200 - 300KPa | 150 - 200KPa |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN | >45° | 40° - 45° | 35° - 40° |



**CUADRO 2
TRATAMIENTO RECOMENDADO A CADA CLASE DE MACIZO**

| L(m) | % | CLASE DE MACIZO | SECCIÓN TÍPICA | TRATAMIENTO |
|-------|------|--|----------------|---|
| 590 | 10% | CLASE I | I | PERNOS O ANCLAJES OCASIONALES CUANDO SE INDIQUE L=2,20m #=1", AÇO CA-50, AVANÇO >3m. |
| 3.384 | 67% | CLASE II | II | PERNOS SISTEMÁTICOS EN LA BÓVEDA O ANCLAJES CUANDO SE INDIQUE. MALLA 2,20x2,20 L= 2,20, #= 1", ACERO CA-50 Y HORMIGÓN LANZADO CON FIBRA METÁLICA SECCIÓN COMPLETA (e= 7cm), AVANÇO 3,00. |
| 1.501 | 25% | CLASE III | III | PERNOS SISTEMÁTICOS EN LA BÓVEDA Y EN LAS PAREDES, MALLA 1,60x1,60 L= 2,20, #= 1" ACERO CA-50 Y HORMIGÓN LANZADO CON FIBRA METÁLICA SECCIÓN COMPLETA (e= 15cm) |
| 270 | 4,5% | CLASE IV | IV | PERNOS SISTEMÁTICOS EN LA BÓVEDA Y EN LAS PAREDES, MALLA 1,20x1,20 L= 2,20, #= 1" Y HORMIGÓN LANZADO CON 1 MALLA ELECTRO SOLDADA (TELÓN Q -196 O SIMILAR 1/0 FIBRA METÁLICA. AVANÇO 1,00 HASTA 2,00. |
| 203 | 3,5% | CLASE V | V | MARCOS METÁLICOS A CADA 1,00 Y HORMIGÓN LANZADO (e= 20cm) CON 2 MALLAS ELECTRO SOLDADAS (TELÓN Q -196 1/0 SIMILAR 1/0 FIBRA METÁLICA. ENFLAJE #= 3" L= 6,00 CADA 40cm, EMPLEAR ENFLAJE, INYECCIÓN Y DRENAJE, AVANÇO 1,00. |
| 5.950 | 100% | TOTALES TÚNEL (5.400) + VENTANAS 1, 2 E 3 (550)= 5.950 | | |

LA VIRGEN
INGENIERÍA DE DETALLE

MEK HATCH

PROYECTO: CH LA VIRGEN

TÍTULO: INGENIERÍA DE DETALLE

OBJETO: TÚNEL DE CONDUCCIÓN Y VENTANAS

TRATAMIENTOS TÍPICOS

Hoja 1/2

ESCALA: 1:250

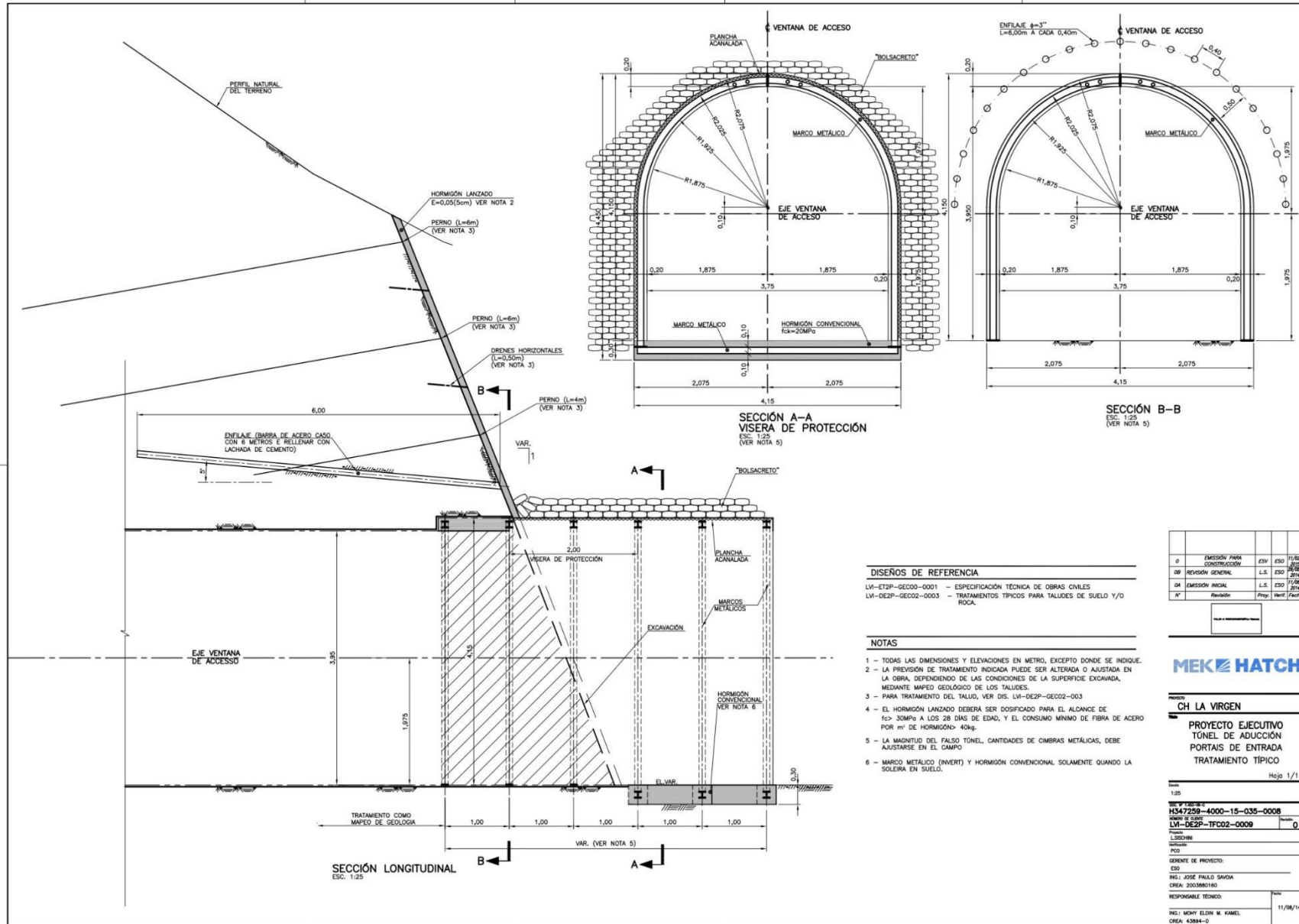
PROYECTO: H347208-4000-15-035-0005

SEÑAL DE FASE: LW-DEP-TTC02-0006

FECHA: 28/08/2014

RESPONSABLE TÉCNICO: NG: Mary Edith M. Karmel

CHLA-4388-0



| | | | | |
|----|-----------------------|-------|--------|-------|
| 0 | EMISIÓN PARA CONSULTA | ESV | ESD | 11/09 |
| 01 | REVISIÓN GENERAL | L.S. | ESD | 11/09 |
| 04 | EMISIÓN FINAL | L.S. | ESD | 11/09 |
| N° | Revisión | Prop. | Verif. | Fecha |



CH LA VIRGEN

**PROYECTO EJECUTIVO
TÚNEL DE ADUCCIÓN
PORTAIS DE ENTRADA
TRATAMIENTO TÍPICO**

Hoja 1/1

ESD
1:25

NO. P. C. 000-01
H347259-4000-15-035-0008

CÓDIGO DE OBRA
LV-DE2P-TFC02-0009

PROYECTO
L. S. B. CH

EMISIÓN
PCD

GERENTE DE PROYECTO:
ESD

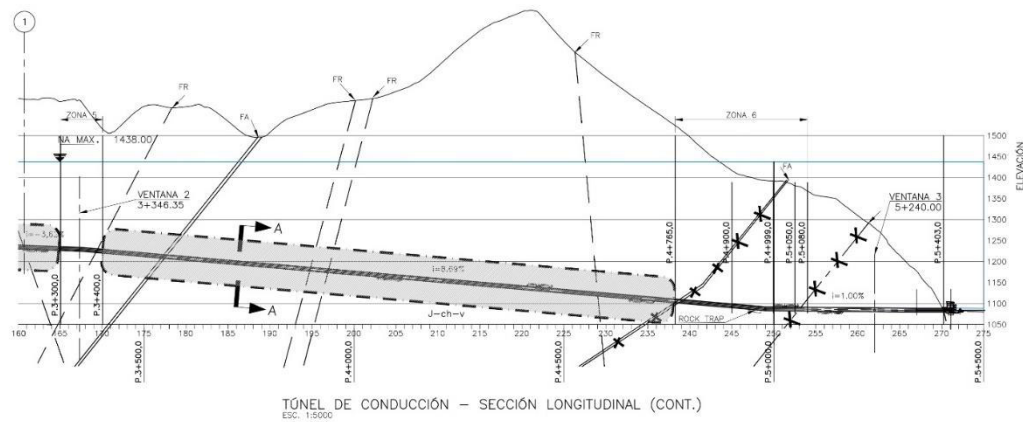
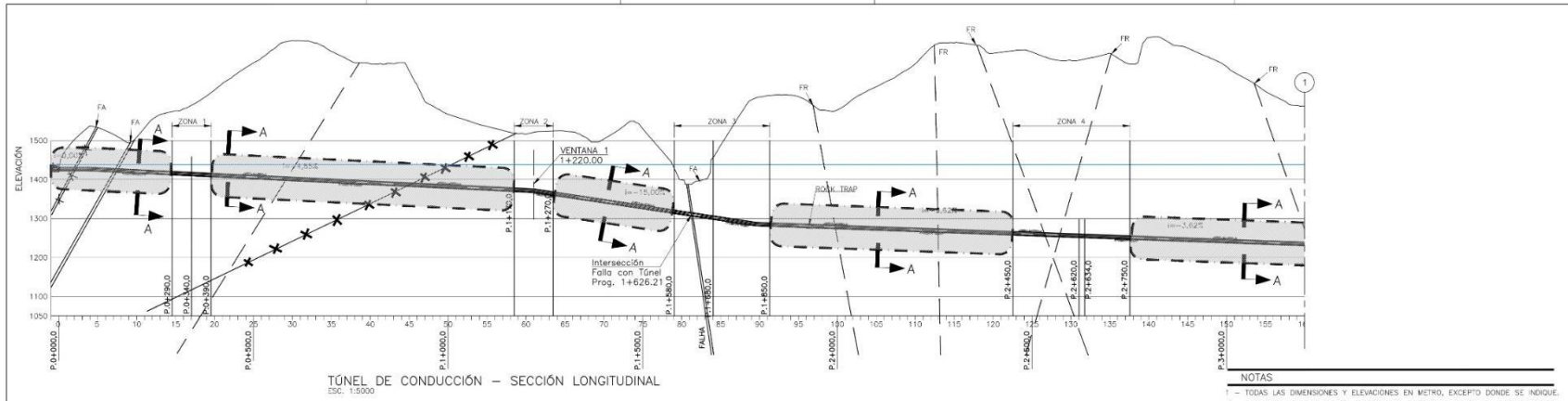
ING. JOSÉ PAULO SÁNCHEZ

CREA: 2003880180

RESPONSABLE TÉCNICO:

ING. MOHY EL-DIN M. KAMEL
CREA: 43884-D

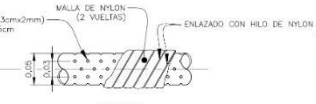
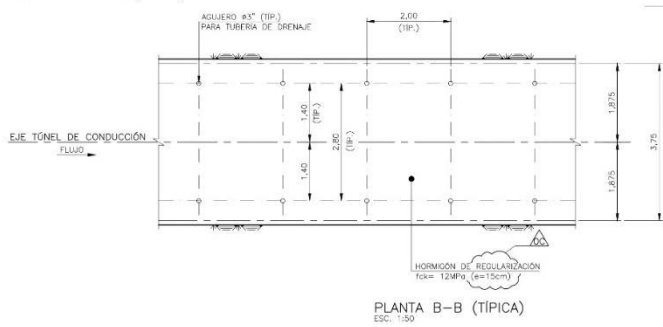
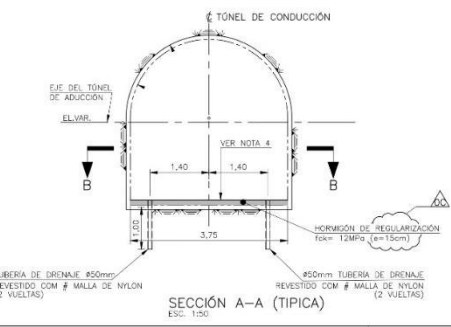
11/09/14



- NOTAS**
- 1 - TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METRO, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE.
 - 2 - INMEDIATAMENTE ANTES DEL VACIADO DEL HORMIGÓN, TODAS LAS SUPERFICIES DE CONTACTO, HORMIGÓN/ROCA DEBERÁN ESTAR LIMPIAS, SIN CUALQUIER TIPO DE IMPUREZA.
 - 3 - INMEDIATAMENTE ANTES DEL VACIADO DEL HORMIGÓN, TODAS LAS SUPERFICIES DE FUNDACIÓN, SOBRE O CONTRA LAS CUALES SE VACIARÁ EL HORMIGÓN, SE DEBERÁN ENCONTRAR LIBRES DE AGUA, LODO O DETRITOS, LIMPIAS, SIN ACEITE NI ADHESIVOS INDESEABLES.
 - 4 - EL PAVIMENTO PROVISIONAL DEL PISO DEL TÚNEL, COMPUERTO POR MATERIAL GRANULAR ORUGNO DE LA EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA, SE PODRÁ EMPLEAR COMO BASE PARA EL HORMIGÓN DE REVESTIMIENTO DEL PISO, DESDE QUE SE OBEDEZCAN LAS SIGUIENTES CONDICIONES:
EL PAVIMENTO PROVISIONAL SE DEBERÁ COMPACTAR CON RODILLO VIBRATORIO, DE MODO QUE SE OBTENGA UNA DENSIDAD RELATIVA MÍNIMA DEL 70%.
DEBERÁN RETIRARSE EVENTUALES BOLSAS QUE PRESENTEN CARACTERÍSTICAS DE MALA COMPACTACIÓN (GONDOS).
EL MATERIAL GRANULAR DEBERÁ ESTAR LIBRE DE MATERIA ORGÁNICA JUNTO A LAS PAREDES DEL TÚNEL, DONDE LA COMPACTACIÓN CON EL RODILLO GENERALMENTE ES DEFICIENTE, DEBERÁN EMPLEARSE PLACAS VIBRATORIAS PARA COMPACTACIÓN.
 - 5 - EN LA REGIÓN DEL "ROCK-TRAP" SE DEBERÁ REALIZAR UNA LIMPIEZA RIGUROSA DEL PISO, RETIRÁNDOSE TODOS LOS RESIDUOS ORUGNOS DE LA EXCAVACIÓN.
 - 6 - PARA TRATAMIENTO DEL PISO NAS ZONAS 1 A 6 VER PLANOS: LM-DE2P-TFC02-0002 A 0023.



| DC | INDICE DE MONITOR | FECHA | ESBO | FECHA |
|----|-------------------|-------|--------|------------|
| 08 | DETALLES DRENE | AMR | ESD | 04/17/2011 |
| 04 | EMISIÓN INICIAL | AMR | ESD | 04/17/2011 |
| 07 | Revisión | Proy. | Verif. | Fecha |



Proyecto: **CH LA VIRGEN**

Fase: **PROYECTO EJECUTIVO**

TÚNEL DE CONDUCCIÓN TRATAMIENTO DEL PISO

Hoja: 1/1

Rev: 1.200

SE: 147250-4000-15-035-0011

USO: #=50mm

LM-DE2P-TFC02-0012

OC

REVISIÓN:

FECHA:

PROYECTO DE PROYECTO:

ING. Edwin Sandoval de Olaya

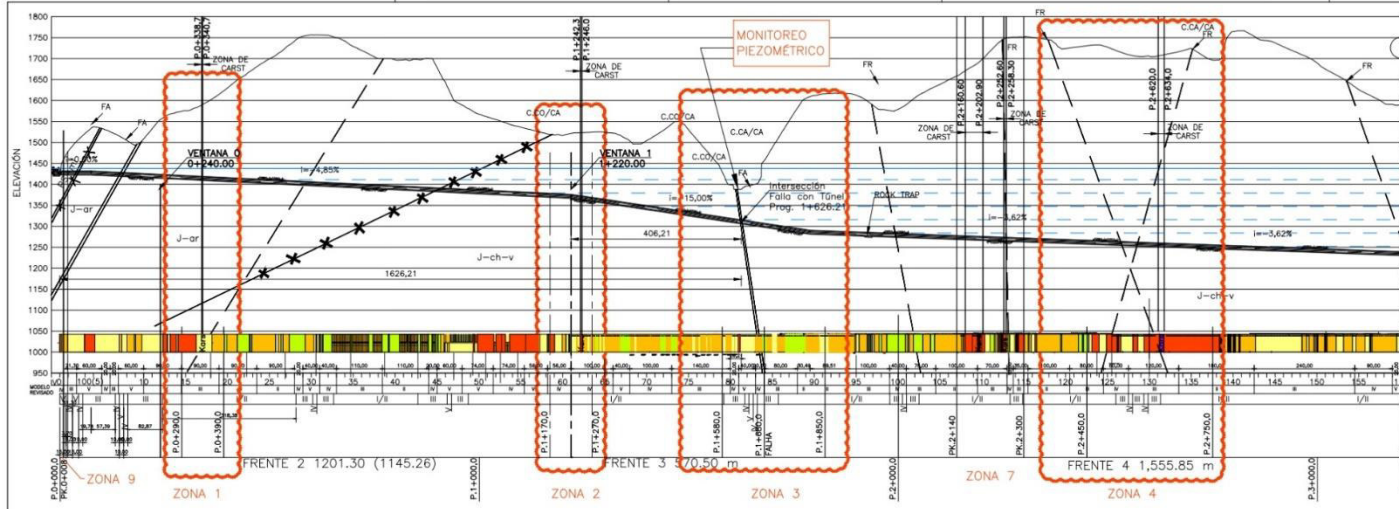
CRM: 20101627-4

RESPONSABLE TÉCNICO:

ING. José Paulo Sandoz

CRM: 200286160

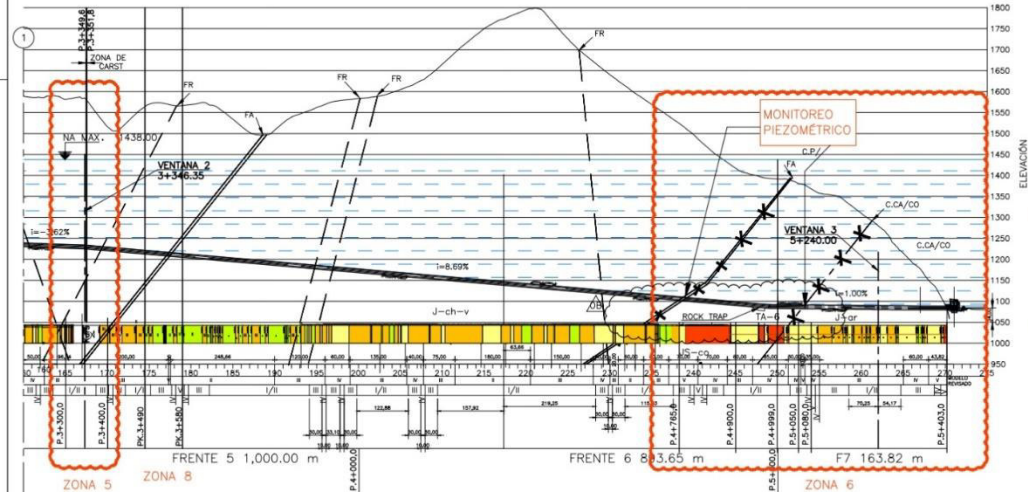
25/01/2014



- DISEÑOS DE REFERENCIA**
- LV-DEP-TFC02-0024 - INYECCIONES - ZONA 3
 - LV-DEP-TFC02-0025 - INYECCIONES - ZONA 4
 - LV-DEP-TFC02-0026 - INYECCIONES - ZONA 4
 - LV-DEP-TFC02-0027 - INYECCIONES - TAMPOCAMIENTOS
- NOTAS**
- 1- PARA LAS NOTAS, TABLAS Y DETALLES VER HOJA 1/2.
 - 2- LOS TRATAMIENTOS PRESENTADOS SON PARA INDICAR Y DEBEN SER MEJOR ANALIZADOS CUANDO SEAN NECESARIOS LAS INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS DE OBRA Y CON EL AVANCE DE LAS EXCAVACIONES.
 - 3- EL TRATAMIENTO DEL TÚNEL NO SE LIMITA A LAS DIRECCIONES PRESENTADAS EN PRESENTE DOCUMENTO, SINO TAMBIÉN A OTRAS PLANOS ESPECÍFICOS DE DISEÑO Y INSTRUCCIONES DE CAMPO.
 - 4- PARA EJECUCIÓN DE INYECCIONES Y DRENAJE VER DISEÑOS DE REFERENCIA.
 - 5- EN MACIZO ROCOSO CLASE IV Y V CON PRESENCIA DE AGUA, DEBERÁ SER APLICADO REFUERZO CON SHOTCRETE CON MALLA ELECTROSOLDADA, XYYPEX E INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN.
 - 6- CLASES DEL HORMIGÓN
 - CONVENCIONAL $f_c=15MPa$
 - CONVENCIONAL $f_c=25MPa$
 - SHOTCRETE $f_c=35MPa$
 - SHOTCRETE CON FIBRA $f_c=35MPa$

DISEÑOS COMPLEMENTARIOS

LV-DEP-TFC02-0021/0022/0023-TÚNEL DE CONDUCCIÓN - TRATAMIENTO PARA LA OPERACIÓN-DIRECCIONES EJECUTIVAS



LEYENDA

TRATAMIENTOS PARA LA OPERACIÓN DEL TÚNEL-DIRECCIONES EJECUTIVAS

LEYENDA

CLASE DE ROCA

| | |
|-----------|---|
| CLASE I | █ |
| CLASE II | █ |
| CLASE III | █ |
| CLASE IV | █ |
| CLASE V | █ |

- ZONA 1 - EL OCURRENCIA: CARST**
 TRATAMIENTO: SONDAJE, LIMPIEZA FINA EN EL PISO Y SHOTCRETE CON XYYPEX, RELLENO CON CONCRETO E INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN EN LOCAS A SEREN IDENTIFICADOS EN LAS SONDAGENS (VER NOTA 4)
- ZONA 2 - EL OCURRENCIA: CARST/VENTANA1**
 TRATAMIENTO: REFUERZO ESTRUCTURAL DE LA INTERSECCIÓN CON SHOTCRETE IMPERMEABLE CON CON XYYPEX, MALLA ELECTROSOLDADA, PERNOS Y TAPON (PLUG), LIMPIEZA FINA EN EL PISO Y SONDAJE, RELLENO CON CONCRETO E INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN, EN LOCALES IDENTIFICADOS EN LAS SONDAGENS (VER NOTA 4)
- ZONA 3 - EL OCURRENCIA: FALLA (QUEBRADA AGUA FLOR)/PLUJO INTENSO DE AGUA EN SECCIÓN COMPLETA.**
 TRATAMIENTO: LIMPIEZA FINA EN EL PISO, REVESTIMIENTO CONCRETO CON ACERO $e=50CM$ SECCIÓN ARCO RECTANGULAR, MEMBRANA IMPERMEABLE TIPO MASTERSEAL E INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN, MONITOREO PIEZOMÉTRICO. (VER ANEXO 1)
- ZONA 4 - EL OCURRENCIA: CAVERNA CARSTICA/PLUJO INTENSO DE AGUA NO PISO**
 TRATAMIENTO: LIMPIEZA FINA EN EL PISO, REVESTIMIENTO CONCRETO CON ACERO $e=50CM$ SECCIÓN CIRCULAR, MEMBRANA IMPERMEABLE TIPO MASTERSEAL E INYECCIONES ENTRE AS PROGR.2+619 E 2+638. EN TRAMO RESTANTE SHOTCRETE CON MALLA IMPERMEABLE CON SHREX $e=10cm$ E INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN. (VER NOTA 4 E ANEXO 2)
- ZONA 5 - EL OCURRENCIA: CARST/VENTANA 2**
 TRATAMIENTO: REFUERZO ESTRUCTURAL DE LA INTERSECCIÓN CON SHOTCRETE IMPERMEABLE CON CON XYYPEX, MALLA ELECTROSOLDADA, PERNOS Y TAPON (PLUG), LIMPIEZA FINA EN EL PISO Y SONDAJE, RELLENO CON CONCRETO E INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN, EN LOCALES IDENTIFICADOS EN LAS SONDAGENS (VER NOTA 4)
- ZONA 6 - EL OCURRENCIA: ZONA DE FALLA/TRAMO DE ALTA PRESIÓN DEL TÚNEL.**
 TRATAMIENTO:
 P.4+780.0 A 4+999.0
 LIMPIEZA FINA EN EL PISO, REVESTIMIENTO CONCRETO CON ACERO $e=50CM$ SECCIÓN CIRCULAR, MEMBRANA IMPERMEABLE TIPO MASTERSEAL E INYECCIONES, MONITOREO PIEZOMÉTRICO. (VER ANEXO 3) (VER NOTA 4).
 P.4+999.0 A 5+050.0
 TRANSICIÓN EN CONCRETO CON ACERO/BLINDAJE, INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN EN LA TRANSICIÓN (AGUAS ARRIBA) Y INYECCIONES DE CONTACTO CONCRETO/MACIZO ROCOSO Y CONCRETO/ACERO EN EL TRAMO DE ACERO (DRENAJE EN CONCRETO, AGUAS DE LIMPIEZA FINA EN EL PISO (VER NOTA 4 E ANEXO 3))
 P.5+050.0 A 5+080.0
 BLINDAJE Y CORTINA DE DRENAJE. (VER NOTA 4)
 P.5+080.0 A 5+403.0
 BLINDAJE
- ZONA 7 - OCURRENCIA CARST Y FALLAS**
 TRATAMIENTO, REFUERZO ESTRUCTURAL CON SHOTCRETE IMPERMEABLE CON XYYPEX, MALLA ELECTROSOLDADA, PERNOS EVENTUALES, LIMPIEZA FINA EN EL PISO, RELLENO CON CONCRETO EN LOCALES DE CAVIDADES Y INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN/CONSOLIDACIÓN. ESTE TRAMO TIENE QUE SER REEVALUADO PARA DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO.
- ZONA 8 - OCURRENCIA MALLA DE AGUA POR FRACTURAS**
 TRATAMIENTO, INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN Y REPAROS DE ACUERDO CON EL INDICADO EN LA INSPECCIÓN DE RECIBIMIENTO DEL TÚNEL.
- ZONA 9 - OCURRENCIA ROCA MUY FRACTURADA PERDIDA DE AGUA**
 ZONA 9 - TRATAMIENTO, INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN/CONTACTO EN EL TRAMO DE TRANSICIÓN EN CONCRETO DE LA BOCA TOMA HACIA EL TÚNEL, DE ACUERDO CON LA DISTRIBUCIÓN DE TURBO GUÍA EMERGEDOS EN EL CONCRETO, CONCRETO O SHOTCRETE PARA CONFORMACIÓN (CHANFLADEO) EN EL LIMITE DEL CONCRETO CON EL TÚNEL.

| | | | | |
|----|----------------------------|-------|-----|------------|
| DD | GENERAL REVISION | MES | EBO | 27/07/2014 |
| DC | REVISAR CLASES DE CONCRETO | FIM | EBO | 17/08/2014 |
| DB | DOSE DE ANCHO | FIM | EBO | 08/09/2014 |
| DA | EMISIÓN FINAL | MES | EBO | 15/07/2014 |
| DI | Revisión | Proy. | WFF | Fecha |



PROYECTO
CH LA VIRGEN

TIPO
INGENIERIA DE DETALLE
TÚNEL DE CONDUCCIÓN
 TRATAMIENTOS PARA LA OPERACIÓN
 DIRECCIONES EJECUTIVAS

Hoja 1/4

1:250

NO. P. 288-92

H.34.7250-4000-15-035-0020

NO. DE DISEÑO
 LV-DEP-TFC02-0020

NO. DE PROYECTO

NO.: Emilio Sanjivan de Oliveira
 CREA: 2001427-4

RESPONSABLE TÉCNICO

NO.: José Paulo Sousa
 CREA: 2001461-0

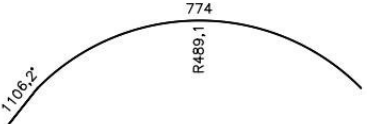
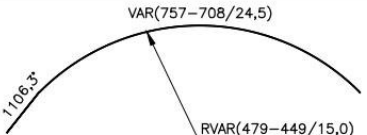

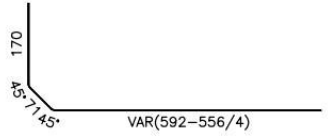
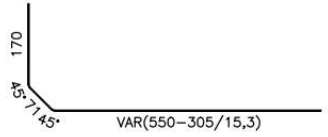
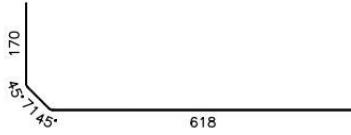
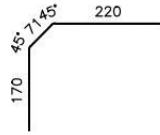
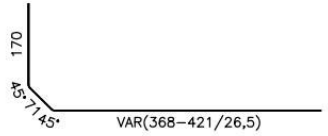
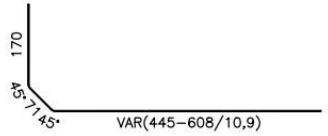
15/01/2014

| MEK HATCH | | | | | | | |
|--|-------|-------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------------------------|
| Título TRATAMIENTO EN EL TÚNEL – VENTANA 2 | | | | | | Hoja 2/4 | |
| Lista de Barras LVI-LF2P-TFC06-0016 | | | | | | Revisión 0A | |
| | | | | | | Fecha 31/01/17 | |
| Pos. | Cant. | Acero | Diam. (pol.) | C. Unit. (cm) | C. Total (m) | Diagrama (cm) | Ubicación Observaciones |
| 1 | 65 | | 1" | 423 | 274,95 | | VISTA D-D |
| 2 | 2x6 | | 1" | VAR(418-618/40) | 62,22 | | VISTA D-D |
| 3 | 2x16 | | 1" | VAR(658-821/10,9) | 236,79 | | VISTA D-D |
| 4 | 21 | | 1" | 831 | 174,51 | | VISTA D-D |
| 5 | 40 | | 1" | 758 | 303,20 | | VISTA D-D |
| 6 | 2x10 | | 1" | VAR(755-719/4) | 147,50 | | VISTA D-D, VISTA F-F = G-G |
| 7 | 2x13 | | 1" | VAR(713-568/12,1) | 166,66 | | VISTA D-D, VISTA F-F = G-G |
| 8 | 1x4 | | 1" | VAR(875-712/54,3) | 31,74 | | VISTA D-D, VISTA F-F = G-G |
| 9 | 24 | | 1/2" | 842 | 202,08 | | VISTA F-F = G-G |
| 10 | 2x3 | | 1/2" | VAR(832-802/15) | 49,03 | | VISTA F-F = G-G |

Título TRATAMIENTO EN EL TÚNEL – VENTANA 2

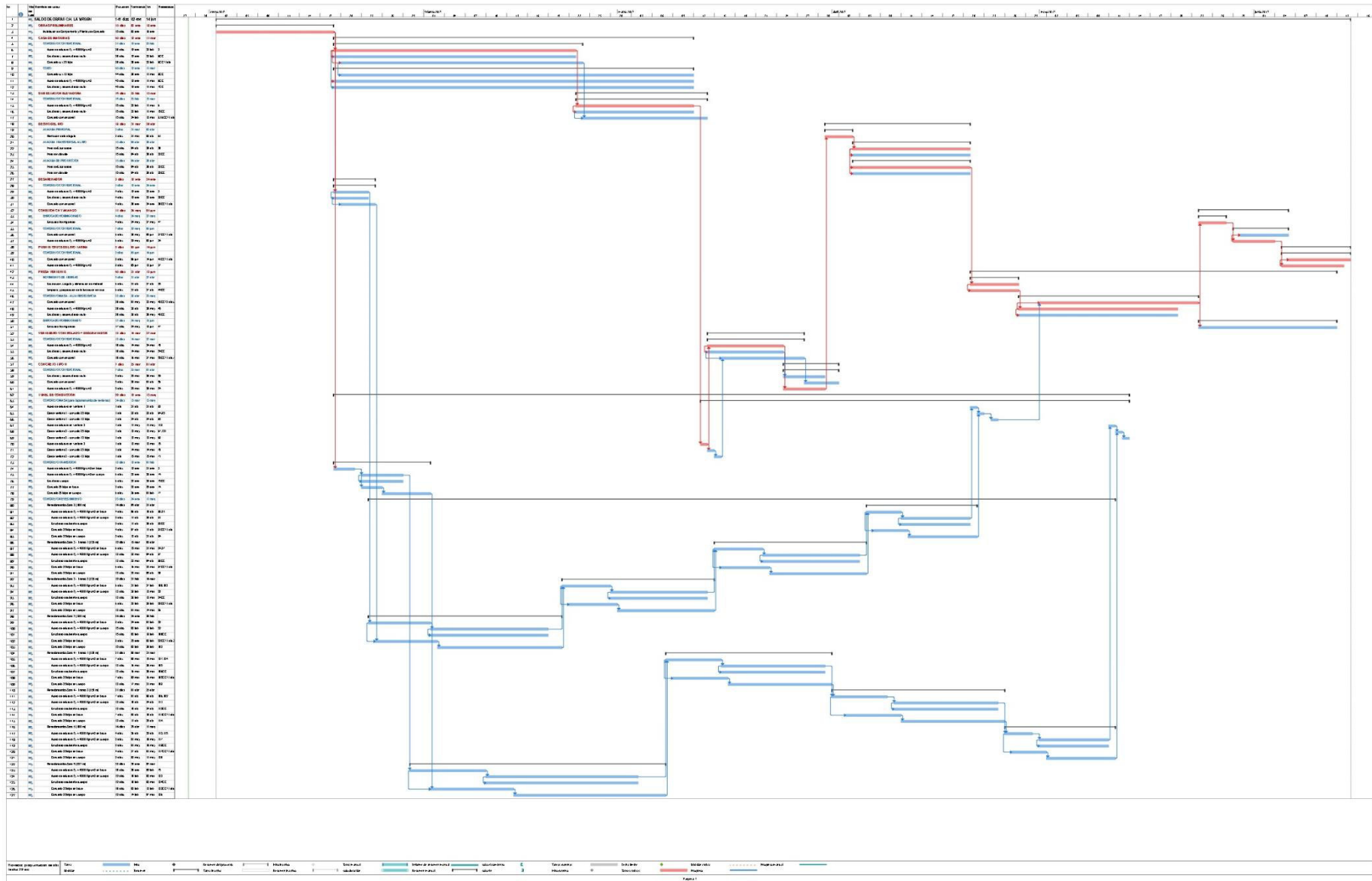
 Hoja 3/4
 Revisión 0A
 Fecha 31/01/17

Lista de Barras LVI-LF2P-TFC06-0016

| Pos. | Cant. | Acero | Diam. (pol.) | C. Unit. (cm) | C. Total (m) | Diagrama (cm) | Ubicación Observaciones |
|------|-------|-------|-----------------|-------------------|-----------------|--|----------------------------------|
| 11 | 24 | | 1/2" | 884 | 212,16 |  | VISTA F-F = G-G |
| 12 | 2x3 | | 1/2" | VAR(867-818/24,5) | 50,55 |  | VISTA F-F = G-G |
| 13 | 34 | | 1" | 786 | 267,24 |  | VISTA E-E |
| 14 | 2x10 | | 1" | VAR(830-794/4) | 162,42 |  | VISTA E-E, VISTA F-F = G-G |
| 15 | 2x17 | | 1" | VAR(788-543/15,3) | 226,30 |  | VISTA E-E, VISTA F-F = G-G |
| 16 | 21 | | 1" | 856 | 179,76 |  | VISTA E-E |
| 17 | 59 | | 1" | 458 | 270,22 |  | VISTA E-E |
| 18 | 2x3 | | 1" | VAR(606-659/26,5) | 37,96 |  | VISTA E-E |
| 19 | 2x16 | | 1" | VAR(683-846/10,9) | 244,67 |  | VISTA E-E |

9.3. ANEXO C: Programación de obra.

| | | SEMANA: 18/2017 | | | | | | | SEMANA: 19/2017 | | | | | | | SEMANA: 20/2017 | | | | | | | SEMANA: 21/2017 | | | | | | | SEMANA: 22/2017 | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|--------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|-----------------|-------------------------|------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
| | | 15 a 21/5 | | | | | | | 8/5 a 14/5 | | | | | | | 15/5 a 21/5 | | | | | | | 22/5 a 28/5 | | | | | | | 29/5 a 5/6 | | | | | | | | | |
| | | SEMANA | | | | | | | SEMANA | | | | | | | SEMANA | | | | | | | SEMANA | | | | | | | SEMANA | | | | | | | | | |
| | | SEG | TER | QUA | QUI | SEX | SAB | DOM | SEG | TER | QUA | QUI | SEX | SAB | DOM | SEG | TER | QUA | QUI | SEX | SAB | DOM | SEG | TER | QUA | QUI | SEX | SAB | DOM | SEG | TER | QUA | QUI | SEX | SAB | DOM | | | |
| | | 1/5 | 2/5 | 3/5 | 4/5 | 5/5 | 6/5 | 7/5 | 8/5 | 9/5 | 10/5 | 11/5 | 12/5 | 13/5 | 14/5 | 15/5 | 16/5 | 17/5 | 18/5 | 19/5 | 20/5 | 21/5 | 22/5 | 23/5 | 24/5 | 25/5 | 26/5 | 27/5 | 28/5 | 29/5 | 30/5 | 31/5 | 1/6 | 2/6 | 3/6 | 4/6 | | | |
| | | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N |
| DESCRIPCIÓN | | TOTAL | | | | | | | TOTAL | | | | | | | TOTAL | | | | | | | TOTAL | | | | | | | TOTAL | | | | | | | | | |
| TUNEL | FRETE 01 | ZONA 04 (400 m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ARMADURA PISO | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CONCRETO PISO | VACIADO (15 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ARMADURA BOVEDA | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | | |
| | | VACIADO DE LA FORMA DESLIZANTE | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | | |
| | FRETE 02 | ZONA 03 (140 ml) + ZONA 02 (110 ml) + ZONA 06 (230 ml) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ARMADURA PISO | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | | |
| | | CONCRETO PISO | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | VACIADO (20 ml por día) | | | | | | | | |
| | | ARMADURA BOVEDA | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | ACERO | | | | | | | | |
| | | VACIADO DE LA FORMA DESLIZANTE | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | VACIADO 12 MI | | | | | | | VACIADO (12 ml por día) | | | | | | | VACIADO FORMA 12 ML | | | | | | | VACIADO 12 MI | | | | | | | | |
| TÚNEL - REFORZO DE PISO | FRETE 01 | REFUERZO PISO TI - 1 | ACERO | | | | | | | VACIADO | | | | | | | ACERO | | | | | | | VACIADO | | | | | | | ACERO | | | | | | | | |
| | | TAMPONAMIENTO DE LA VENTANA 6 | VACIADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ESGOTAMIENTO DO TR 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAPTACION | VACIADO CONCRETO N | 1º CONCRETAGEM CONCRETO N | VACIADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2º CONCRETAGEM CONCRETO N | CALIDAD DE ACERO | | | | | | | FORMALETAS | | | | | | | FORMALETAS | | | | | | | VACIADO | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3º CONCRETAGEM CONCRETO N | | | | | | | | CALIDAD DE ACERO | | | | | | | FORMALETAS | | | | | | | FORMALETAS | | | | | | | VACIADO | | | | | | | | |
| | | 4º CONCRETAGEM CONCRETO N | | | | | | | | | | | | | | | CALIDAD DE ACERO | | | | | | | FORMALETAS | | | | | | | FORMALETAS | | | | | | | | |
| | DESGRAVADOR | REABILITACION E ACERO | | | | | | | | ACERO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELEVADORA | ECOFRADO | | | | | | | | | | | | | | | ECOFRADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | VACIADO | | | | | | | | | | | | | | | VACIADO | | | | | | | 110 | | | | | | | 110 | | | | | | | | | |
| | MONTAGEM DAS GUIAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | LIBERACION | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | VACIADO DE LOS RIELLES | VACIADO | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | LIMPIEZA GENERAL | | | | | | | | | | | | | | | LIMPIEZA | | | | | | | LIBERACION | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | IMPERMEABILIZACION | | | | | | | | | | | | | | | IMPERMEABILIZACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



9.4. ANEXO D: Panel fotográfico.

Detalle de colocado de acero ASTM A-615 grado 60 en el túnel de conducción de la Ch La Virgen.



Detalle de colocación de acero en piso del túnel.



Detalle de desencofrado y desencofrado: centro de tapa (izquierda) y costado de tapa (derecha).

