

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO DE  
LANZADO DE SHOTCRETE EN TÚNELES**

**TESIS**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JULIO JOAQUIN CABRERA PLASENCIA  
Bach. HENRRY CHRISTIAN LEONARDO GARAY**

**ASESOR: Dr. Ing. ARTURO VELÁSQUEZ JARA**

**LIMA – PERÚ**

**AÑO: 2015**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo.

**Cabrera Plasencia, Julio**

La presente tesis se la dedico a mis padres por su apoyo incondicional, y por su esmero en mi dedicación profesional.

**Leonardo Garay, Henry**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestro asesor Dr. Ing. Arturo Velasquez por su apoyo en el desarrollo de la tesis, también a nuestra alma máter universidad Ricardo Palma por guiarnos en nuestro camino como profesionales, y así mismo a la empresa Statkraft Perú por brindarnos la información e instalaciones para el desarrollo para esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

### 1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema	2
1.1.1. Descripción de la realidad Problemática	2
1.1.2. Formulación Nominal del Problema	2
1.1.3. Formulación Operacional del Problema	4
1.1.3.1. Problema General	4
1.1.3.2. Problema Especifico 1	4
1.1.3.3. Problema Especifico 2	4
1.2. Objetivos de la Investigación	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivo Especifico 1	4
1.2.3. Objetivo Especifico 2	5
1.3. Justificación de la Investigación	5
1.4. Limitaciones de la Investigación	5
1.5. Viabilidad de la Investigación	6

### 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Generales sobre Túneles	7
2.1.1. Túneles Mineros	9
2.1.2. Túneles de Irrigación	10
2.1.3. Túneles de Carreteras	12
2.2. Métodos para la Construcción de Túneles	14
2.2.1. Principios Básicos para el Diseño de Túneles	15
2.2.2. Métodos utilizados para la Construcción de Túneles	18
2.2.3. Técnicas para la Excavación de Túneles	20
2.3. Teoría sobre el Shotcrete	22
2.3.1. Introducción sobre el Shotcrete	22
2.3.2. Campos de Aplicación del Shotcrete	23

2.3.3. Métodos de Aplicación del Shotcrete	24
2.3.4. Diseño del Shotcrete para Vía Húmeda y Seca	27
2.3.5. Shotcrete Reforzado con Fibra	28
2.3.6. Sostenimiento mediante Shotcrete	30
2.4. Gestión de Proyectos	32
2.4.1. Introducción	32
2.4.2. Tiempos en un Proyecto	33
2.4.3. Mayores Costos en un Proyecto	33
2.4.4. Impacto de la Gestión de Calidad en Proyectos de Construcción	34
2.4.5. Objetivos de un Proyecto de Construcción	34
2.4.6. Involucrados de un Proyecto (Stakeholders)	35
2.4.7. Ciclo de Vida de un Proyecto	39
2.4.8. Procesos de un Proyecto	39
2.5. Project Management Institute (PMI)	42
2.6. La Guía del Project Management Body of Knowledge (PMBok)	45
2.6.1. Áreas de Conocimiento de la Guía del PMBoK	47
2.6.2. Extensión para la Construcción en la 5ta edición	51
2.7. Gestión de Calidad	52
2.7.1. Sistemas de Gestión de Calidad	53
2.7.2. Norma ISO 9001	57
2.8. Casos de Proyectos de Interés	59
2.8.1. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo	59
2.8.2. Central Hidroeléctrica Chaglla	63
2.9. Formulación de Hipótesis	66
2.9.1. Hipótesis General	66
2.9.2. Hipótesis Especifico 1	66
2.9.3. Hipótesis Especifico 2	67
2.9.4. Variables y Definición Conceptual	67
2.9.5. Operacionalización de las Variables	68

### **3. CAPITULO III: CASO DE APLICACIÓN – PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEVES**

3.1. Descripción General del Proyecto	69
3.2. Componentes Principales del Proyecto	69
3.3. Características Técnicas del Proyecto	71
3.3.1. Toma de Huaura	71
3.3.2. Túnel de Transferencia	72
3.3.3. Presa de Checras	73
3.3.4. Túnel de Conducción	74
3.3.5. Casa de Maquinas y Caverna de Transformadores	76
3.3.6. Túnel de Descarga	77
3.3.7. Reservorio de Compensación de Picunche	77
3.3.8. Sistema de Transmisión de 220kV	78
3.3.9. Sistema de Transmisión Interno de 13.8kV	79
3.3.10. Hidrología	79
3.4. Contratos de Construcción	79
3.5. Organización General del Proyecto Cheves	80
3.6. Caso de Estudio: Túnel de Conducción	82
3.6.1. Equipos Utilizados para la Excavación y Sostenimiento del Túnel	85
3.6.2. Metodología usada para la Excavación del Túnel de Conducción	85
3.6.3. Tramo para el análisis del Proceso de Lanzado de Shotcrete	86
3.6.4. Diseño del Shotcrete para el Túnel de Conducción	87
3.6.5. Programación Contractual y Real de la Construcción del Túnel de Conducción	88
3.6.6. Análisis de Costos del Shotcrete	89
3.6.7. Identificación y Caracterización de las Deficiencias y Fallas en el Proceso de Lanzado de Shotcrete que se Presentan con Mayor Frecuencia	91

3.6.8. Sistematización de las Deficiencias y Fallas en el Lanzado de Shotcrete	92
3.6.9. Identificación de Causas usando el Método de Ishikawa	94
3.6.10. Soluciones Técnicas a las Deficiencias y Fallas del Lanzado de Shotcrete	100
3.6.11. Cuantificación de los Costos Adicionales por la Reparación del Shotcrete	102

#### **4. CAPITULO IV: PLANTEAMIENTO DE PROPUESTA DE GESTIÓN DE CALIDAD BAJO LOS LINEAMIENTOS DEL PMBOK**

4.1. Descripción de la Propuesta de Gestión de Calidad con la Guía del PMBoK	103
4.2. Planificación de la Gestión de la Calidad en el Proceso del Lanzado del Shotcrete en Túneles	104
4.2.1. Lista de Procesos de Lanzado de Shotcrete	104
4.2.2. Características Medibles en el Proceso de Lanzado de Shotcrete	104
4.2.3. Involucrados en el Proceso de Lanzado de Shotcrete	107
4.2.4. Normativa del Proceso de Lanzado de Shotcrete	108
4.3. Aseguramiento de la Calidad en el Proceso del Lanzado de Shotcrete en Túneles	108
4.3.1. Transmisión de Información a las Áreas Relacionadas con el Lanzado de Shotcrete	109
4.3.2. Auditorías Internas y Externas	113
4.4. Control de la Calidad en el Proceso del Lanzado de Shotcrete en Túneles	115
4.4.1. Herramientas para el Control de cada Proceso del Lanzado de Shotcrete	115
4.4.2. Responsables de Planificación y Ejecución del Lanzado de Shotcrete	118

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones	120
Recomendaciones	123

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>125</b>
-----------------------------------	------------

## **ANEXOS**

<b>Anexo 1:</b> Matriz de Consistencia	127
<b>Anexo 2:</b> Avances Diarios en Túnel de Conducción	128
<b>Anexo 3:</b> Secuencia del Avance en el Túnel de Conducción	135
<b>Anexo 4:</b> Fallas y Deficiencias en el Proceso del Lanzado de Shotcrete	140
<b>Anexo 5:</b> Indicación Geológica por Avance del Túnel	145
<b>Anexo 6:</b> Front Page de los Procedimientos de Calidad en el Lanzado de Shotcrete	148
<b>Anexo 7:</b> Pruebas y Ensayos realizados al Shotcrete	155



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Diseño del Shotcrete para Vía Seca	27
Tabla N°2: Diseño del Shotcrete para Vía Húmeda	28
Tabla N°3: Distribución de Macro-Procesos en un Proyecto	46
Tabla N°4: Características Técnica del Proyecto Alto Maipo	60
Tabla N°5: Progresivas para el Túnel de Aducción - Proyecto Chaglla	66
Tabla N°6: Variables y Definición Conceptual	67
Tabla N°7: Operacionalización de las Variables	68
Tabla N°8: Datos Hidráulicos del Proyecto Cheves	79
Tabla N°9: Contratos de Construcción del Proyecto Cheves	80
Tabla N°10: Longitud y Sección del Túnel de Conducción	82
Tabla N°11: Equipos Utilizados en Túnel de Conducción	85
Tabla N°12: Componentes y Proporciones para la Producción de Shotcrete	86
Tabla N°13: Programación Contractual del Túnel de Conducción	88
Tabla N°14: Programación Real del Túnel de Conducción	88
Tabla N°15: Programación Contractual Vs. Real	89
Tabla N°16: Precio Unitario del Shotcrete	90
Tabla N°17: Cantidades y Costos de Shotcrete Contractual y Real	90
Tabla N°18: Porcentajes de Cantidades y Costos de Shotcrete Contractual Vs. Real	91
Tabla N°19: Caracterización de las Fallas Localizadas del Shotcrete	92
Tabla N°20: Sistematización del Proceso de Lanzado de Shotcrete	92
Tabla N°21: Aplicación de Criterios mediante Puntajes de las Causas Determinadas por el Diagrama de Ishikawa	99
Tabla N°22: Reparaciones a las Fallas del Shotcrete	101
Tabla N°23: Cantidades y Costos Contractuales con las Reparaciones	102
Tabla N°24: Cantidades y Costos Reales con las Reparaciones	102
Tabla N°25: Porcentajes de las Cantidades y Costos del Shotcrete Contractual Vs. Real	102

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Aplicación del Shotcrete por Vía Seca	25
Gráfico N°2: Aplicación de Shotcrete por Vía Húmeda	26
Gráfico N°3: Estabilización de la Roca Mediante el Shotcrete	30
Gráfico N°4: Tracción de Agrietamiento a lo largo de la interface Shotcrete-Roca	31
Gráfico N°5: Tracción Tangencial a lo largo de la interface Shotcrete- Roca	32
Gráfico N°6: Ciclo de Vida de un Proyecto	39
Gráfico N°7: Ubicación Proyecto Chaglla	64
Gráfico N°8: Características Generales del Proyecto Chaglla	64
Gráfico N°9: Características del Túnel de Aducción del Proyecto Chaglla	65
Gráfico N°10: Sostenimiento del Túnel para Roca Tipo I	65
Gráfico N°11: Principales Componentes del Proyecto Cheves	70
Gráfico N°12: Organización General del Proyecto Cheves	81
Gráfico N°13: Dimensión y Sección del Túnel de Conducción	82
Gráfico N°14: Plano de Planta del Túnel de Conducción	84
Gráfico N°15: Diagrama de Ishikawa aplicado al proceso de Lanzado de Shotcrete	95
Gráfico N°16: Descripciones Generales de la Gestión de Calidad de un Proyecto	103
Gráfico N°17: Transmisión de Información hacia el Área de Personal	110
Gráfico N°18: Transmisión de Información hacia el Área de Equipos	111
Gráfico N°19: Transmisión de Información hacia el Área de Materiales	112
Gráfico N°20: Flujograma de Liberación de Riesgos y Restricciones	119

## ÍNDICE DE PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N°1: Proyecto Hidroeléctrico Cheves	11
Foto N°2: Proyecto Trasvase Huascacocha - Rimac	12
Foto N°3: Proyecto de los Túneles de Puruchuco y Accesos	13
Foto N°4: Túnel Punta Olímpica	14
Foto N°5: Fibras de Refuerzo para el Shotcrete	29
Foto N°6: Presa Huaura – Proyecto Cheves	72
Foto N°7: Entrada del Túnel de Transferencia – Proyecto Cheves	73
Foto N°8: Presa Checra – Proyecto Cheves	74
Foto N°9: Túnel de Conducción – Proyecto Cheves	75
Foto N°10: Casa de Máquinas – Proyecto Cheves	77
Foto N°11: Reservorio Compensación de Picunche	78
Foto N°12: Torres y Líneas de Transmisión – Proyecto Cheves	78

## Resumen

La investigación realizada es no experimental y de enfoque cualitativo en su mayor parte y cuantitativo en lo que resta, con alcances descriptivos y explicativos. El enfoque principal de nuestra investigación fue el problema del deficiente lanzamiento de Shotcrete en túneles, producto de una inadecuada gestión de la calidad, teniendo como fundamental objetivo elaborar una propuesta de gestión de calidad con la finalidad de optimizar el proceso de lanzamiento de Shotcrete en túneles, usando la conocida guía para la gestión de proyectos PMBOK a través de esta podemos deducir que siguiendo el área de conocimiento de gestión de la calidad alinearemos los procedimientos aprobados con el control respectivo en las distintas áreas o frentes de trabajo, además de realizar un continuo seguimiento de estos procesos con auditorías internas y externas. Se adoptó una metodología de recopilación de información, estudio y aplicación del área de conocimiento del PMBoK, determinación de cantidades de Shotcrete usado en el caso de estudio donde se analizó los costos y tiempos, y se evaluó los diferentes procesos que están relacionados con el sistema de Shotcreteado. Concluyéndose que el uso del sistema de gestión de calidad bajo los lineamientos del PMBoK es una guía de gran importancia para la aplicación en procedimientos constructivos debido a que nos señala las pautas adecuadas para la planificación, seguimiento y control de cada proceso con la finalidad de retroalimentarlo continuamente y mejorarlo si fuera el caso necesario.

### **Palabras Clave:**

- Gestión de Calidad
- Lanzado de Shotcrete
- Procesos Constructivos
- Proceso de Shotcreteado
- Planificación y Aseguramiento de la Calidad
- Control de Shotcreteado.

## **Abstract**

The investigation is a non-experimental research, mostly qualitative and quantitative in the rest with descriptive and explanatory scopes. The main theme of our investigation was the problem of the deficient Shotcrete spraying in tunnels, product of an inadequate management of the quality, having as principal scope the elaboration of a proposal for Quality Management with the purpose of optimizing the process of Shotcrete spraying in tunnels, with the known guide for the project management PMBOK. Using this guide, we can determinate that following the Quality area of knowledge we will align the procedures approved with the respective control in the different areas or fronts of work, moreover, monitoring of these processes with internal and external audits. There was adopted a methodology of summary of information, study and application of the area of knowledge of the PMBoK, determination of Shotcrete quantities used in case of study where the costs and schedules were analyzed, and there were evaluated the different processes that are related to Shotcreting System. Concluding that Quality Management of the PMBoK is a guide of great importance for the application in constructive procedures due to the fact that indicates the guidelines for planning, assurance and control of every process with the purpose of control and improvement if it was necessary.

### **Keywords:**

- Quality Management
- Spraying of Shotcrete
- Construction Processes
- Shotcreting System
- Planning and Quality Assurance
- Shotcreting Control.

## **Introducción**

Esta Tesis, tiene el objetivo de optimizar el proceso de lanzado de Shotcrete en tunelería, considerando la calidad, tipo de roca, los trabajos, procedimientos de ingeniería civil seguidos en la ejecución de los túneles.

En todos los proyectos de construcción existen diferencias que los caracterizan ya sean de edificación, vías terrestres, obras hidráulicas, obras marítimas, construcción industrial, y otros. En la tunelería, específicamente en la construcción de túneles hídricos se presentan diferentes especificaciones en el proyecto por la naturaleza de las instalaciones que se requieren, además de la incertidumbre que genera el macizo rocoso.

Los objetivos particulares que se pretenden en este trabajo son formular una guía para implantar la metodología de gestión de calidad del Project Management Institute (PMI) a la Gerencia de Proyectos en la construcción, y específicamente su aplicación a cualquier proyecto de tunelería.

## **5. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

#### **1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

La condición de la orografía peruana hace necesario o conveniente, la construcción de túneles, utilizando el sistema de Shotcreteado, esto se da en proyectos viales, en irrigación y en proyectos energéticos como es el caso del Proyecto Central Hidroeléctrica Cheves, el cual se toma como caso de estudio.

El sistema de Shotcreteado en túneles es muy usado en la actualidad como un sostenimiento confiable para soportar grandes cargas de la masa rocosa, esto hace que sea muy usado en la construcción de túneles en el Perú para diferentes propósitos ya sea viales, irrigación o aplicados al rubro energético.

Los proyectos tuneleros desarrollados en el Perú, no cuentan con una base sólida en Gestión de Calidad en el proceso de lanzamiento de Shotcrete, por lo que sería conveniente que se use la guía del PMBoK, que cuenta con bases y herramientas necesarias para la mejora continua de un proyecto en todas sus fases, es decir desde la fase de inicio y planificación hasta la fase de cierre de un proyecto.

#### **1.1.2. Formulación Nominal del Problema**

- a) En la actualidad los proyectos ejecutados en el Perú, en la cual se tenga que construir túneles para fines de paso vehicular, paso de agua o para extracción de minerales, son realizados mediante técnicas constructivas internacionales, y se define un plan y gestión de calidad para la ejecución del proyecto, pero siempre el que tiene mayor relevancia es la

parte constructiva y los avances ágiles, dejando de lado la parte de la gestión de calidad, por lo que esto conlleva a tener deficiencias y fallas durante la etapa constructiva, debido a que no se cumplieron con los procedimientos constructivos establecidos, o porque no se realizaron las pruebas correspondientes en campo o laboratorio, o porque no se tuvo un flujo de información hacia el personal sobre los requerimientos de las especificaciones técnicas, y también porque no se realizaron auditorías, ya que mediante estas auditorías se detectan errores y fallas en alguna fase de la construcción, siendo prioridad rectificar estas falencias o no conformidades y conllevar a una mejora continua del proyecto, estos puntos descritos anteriormente con respecto a la gestión de calidad se puede lograr usando la guía del PMBoK, ya que plantea procesos prácticos y eficaces, y lograr resultados como el correcto proceso constructivo y evitar costos elevados.

- b) La gran demanda que inversión privada en Proyectos Tuneleros en el Perú, hace que cada día se tenga nuevos retos constructivos en el país, por lo que también se requiere que se tenga una base sólida en Planes y Gestión de Calidad, por lo que la parte fundamental de todo proyecto se encuentra en su estructuración previa a la ejecución de la misma, y estos se obtiene planteando una planificación de gestión de calidad que se debe realizar en la etapa previa a la constructiva, y un aseguramiento de la gestión de la calidad que se aplica en la etapa constructiva y se manifiesta en cómo se mantiene al margen todo lo que se planteo en la etapa de la planificación, con estos puntos descritos anteriormente se logra usando la guía del PMBoK, centrándose en el proceso del lanzamiento de Shotcrete en túneles en su etapa de planificación y aseguramiento.



### **1.1.3. Formulación Operacional del Problema**

#### **1.1.3.1. Problema General**

De qué manera la aplicación del sistema de Gestión de Calidad, influye en el adecuado proceso de Lanzado de Shotcrete en túneles, usando la guía del PMBoK.

#### **1.1.3.2. Problema Específico 1**

Se cree que los Procesos Constructivos en túneles, influyen en la determinación de deficiencias y fallas del Proceso de Shotcreteado.

#### **1.1.3.3. Problema Específico 2**

Se piensa que la Planificación y Aseguramiento de la Calidad en túneles, influye en el correcto Control de Shotcreteado.

### **1.2. Objetivos de la Investigación**

#### **1.2.1. Objetivo General:**

Elaborar una propuesta de Gestión de Calidad para optimizar el proceso de Lanzado de Shotcrete en túneles, usando la guía del PMBoK y se use para futuros proyectos.

#### **1.2.2. Objetivo Específico 1**

Evaluar los Procesos Constructivos en túneles con la finalidad de rectificar las deficiencias y fallas del Proceso de Shotcreteado.

### **1.2.3. Objetivo Específico 2**

Mejorar los procesos de Planificación y Aseguramiento de la Calidad en túneles, para optimizar las actividades relacionadas con el Control de Shotcreteado.

### **1.3. Justificación de la Investigación**

En la actualidad el sector construcción en el Perú abarca distintos proyectos, tales como minería y energía, retail, viviendas multifamiliares, infraestructura vial, etc., los cuales requieren profesionales con experiencia y capacitados en gestión de proyectos, ellos deberán tomar el camino correcto para identificar los riesgos y las decisiones apropiadas hacia los objetivos planteados, optimizando los recursos y plazos de construcción, además de lograr los requisitos de calidad y buenos tratos con el cliente. Sin embargo existen expertos en construcción que usan muy limitadamente o no utilizan las herramientas de gestión apropiadas, esto generando el incumplimiento de los términos pactados con el cliente o mandante del proyecto.

Es por ello que se justifica esta investigación, al identificar los riesgos que influyen al proceso de lanzamiento de Shotcrete en túneles tomando como caso de estudio el proyecto Central Hidroeléctrica Cheves y así analizar y mejorar los procedimientos de este, para obtener una adecuada gestión de calidad, cumplir los requisitos y ganar la confianza del cliente para futuros proyectos.

### **1.4. Limitaciones de la Investigación**

La presente investigación cuenta con los procesos y procedimientos constructivos, plan de gestión de calidad del Proyecto Cheves, datos de avances en túneles, cubicajes de Shotcrete y pruebas de laboratorio, para

la implementación de la Gestión de Calidad, también se presenta aspectos de tiempo y costo, pero no se profundizará en estos aspectos ya que no es prioridad para la presente tesis.

### **1.5. Viabilidad de la Investigación**

En el Perú, los grandes proyectos hidroeléctricos carecen de una Gestión de Calidad basados en el PMBoK, por lo que sería viable plantear e implementar la Gestión de Calidad en las diferentes etapas del proyecto centrándonos en el proceso de lanzamiento de Shotcrete en el Túnel.

Es posible porque se trata de estudiar etapas frecuentes, y se cuenta con información del proceso de ejecución, en este caso del túnel, que permitirá realizar los análisis propuestos y/o necesarios.

## **2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Conceptos Generales sobre Túneles**

Las primeras excavaciones subterráneas de las que se tienen registros, muestran que se usaban huesos y piedras, como herramientas para realizar esta labor. Luego se pasó a la excavación con herramientas rudimentarias hechas de metal.

Con el descubrimiento del fuego, la técnica de las excavaciones dio un gran avance. Se usaba el fuego para calentar la roca y luego se alteraba bruscamente la temperatura con agua fría. Esta expansión y contracción artificial producía el fracturamiento de la roca y facilitaba su excavación. Pero fue sólo luego de la invención de la pólvora y la necesidad de extracción de minerales preciosos, con las que nace la primera muestra del método conocido como Perforación y Voladura.

Por otro lado la historia de las máquinas perforadoras de túneles (TBM por sus siglas en inglés, Tunnel Boring Machine), empieza su desarrollo a inicios del siglo XIX, con la necesidad de construir túneles largos, cuando la exigencia de vías nuevas y más seguras para el transporte terrestre de bienes y personas por ferrocarril promueve la evolución de la construcción civil.

Es en esos momentos cuando el túnel se presenta como una solución alternativa de otras a cielo abierto, sean a nivel o elevadas. El túnel aporta casi siempre una solución brillante, favorecida por los enormes avances que las técnicas de perforación han puesto a punto en los últimos años.

Cuando hay que franquear una divisoria, la solución del túnel se impone, pero aun así hay muchos túneles y solo uno es mejor que los demás.

Se tratara de ubicar el túnel en la sección más angosta, siempre y cuando el estudio geológico lo permita, en caso contrario se ubicará en otra sección. Dentro de la indispensable seguridad y calidad que precisa toda obra subterránea, la construcción es independiente del uso que vaya a dársele al túnel. Por el contrario, la explotación y conservación depende del usuario.

El túnel puede construirse para un transporte relativamente estático, como tuberías de agua, conductores de alta tensión de energía eléctrica, líneas de teléfono, gasoductos, oleoductos, etc. Es el caso más sencillo de explotación y conservación. Un primer grado de dificultad se presenta cuando el usuario utiliza ciertos elementos en movimiento dentro del túnel, puede ser estructuras adicionales, tales como cintas transportadoras, ferrocarriles y carreteras, transporte por cable, etc.

Mayor dificultad se presenta cuando el usuario produce desgaste del propio revestimiento del túnel, tales como agua potable, aguas negras, etc. En todos estos casos. Las personas solamente entran en el túnel para su vigilancia y conservación. Finalmente, el túnel puede construirse para el transporte de personas, sea en ferrocarril o en automóviles.

En el caso del ferrocarril no se plantea la necesidad de ventilación adicional, y desde el punto de vista estético la oscuridad del túnel y la velocidad e iluminación del tren no hacen necesario un cuidado especial del suelo, paredes y techo.

En el segundo caso, la circulación de automóviles u otros medios de transportes terrestres, contaminan el ambiente con sus tubos de escape de tal manera, que a partir de una cierta concentración se necesita ventilación artificial. Vemos aquí que los túneles tienen por objeto facilitar los transportes más diversos y de la mayor complejidad posible.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Lopez Jimeno, C. (2003). Manual de Túneles y Obras Subterráneas (4ta ed.). España: E.T.S.I. Minas-UPM

### **2.1.1. Túneles Mineros**

En el Perú el mineral que se encuentra en las entrañas de las montañas juega un papel trascendental en nuestra historia por la ingente riqueza que ha producido y por el gran potencial de recursos naturales y humanos que poseemos que representan prosperidad futura y que en el presente se traduce en una abundante riqueza proveniente de la exportación de metales.

Los túneles en minería se construyen principalmente para los siguientes fines.

- Explotación
- Exploración
- Drenaje
- Ventilación

Todo análisis de pre-factibilidad o estudio de justificación económica, para la construcción de un túnel en la industria minera, tiene que estar basado principalmente en los factores que determinan la mayor o menor productividad de esta industria y que son:

- Volumen y ley del yacimiento o volumen de reservas económicas del yacimiento
- Monto de capital disponible
- Métodos de trabajo y calidad de personal

En general, un análisis de pre-factibilidad para construir un túnel en minería debe realizarse como sigue:

- a) Establecer costo total del túnel y sus alternativas a largo, mediano y corto plazo, teniendo en cuenta los factores de productividad de la mina.
- b) Establecer las ventajas y desventajas que ofrece el túnel y las alternativas analizando factores muy importantes, tales como:
  - Vida de la Mina
  - Futuras exploraciones
  - Ubicación de la planta concentradora
  - Campamento
  - Etc.

Estas ventajas y desventajas se deben valorizar en términos de costos de operación, mantenimiento y costo de energía, de modo que obtengamos luego de una sumatoria un costo final para cada caso.

### **2.1.2. Túneles de Irrigación**

En el Perú se tiene muchos proyectos de irrigación para diferentes zonas del desierto de la costa, todos ellos con iguales o muy similares características, y en cada caso se ha considerado como estructura principal un túnel, para el transporte de las aguas de un lado a otro de la cordillera occidental. Como ejemplo de túneles de irrigación, se presentan las fotos N°1 y N°2, que son de proyectos ya culminados en el Perú.

Los siguientes factores son muy importantes y quedan involucrados en cualquier análisis de pre-factibilidad, para la construcción de un túnel de irrigación en una zona:

- a) Geografía regional de la zona que incluya: la zona de toma de agua y la zona para irrigar.

b) Ventaja y desventajas que ofrece dicha zona para la construcción de los sistemas suplementarios, tales como:

- Distribución de agua
- Generación de electricidad (instalación de una hidroeléctrica que aproveche la caída del agua, a la salida del túnel)
- Tiempo de ejecución de los trabajos civiles e hidráulicos.
- Volumen y precios de toda producción agraria, que se obtendría de la zona irrigada.
- Influencia Socio-Económico de la irrigación.



**Foto N°1: Proyecto Hidroeléctrico Cheves, ubicado en la provincia de Oyón del departamento de lima, a unos 2200msnm.**





**Foto N°2: Proyecto Trasvase Huascacocha - Rímac, que consiste en el trasvase de agua de la laguna de Huascacocha hacia el sistema de embalse Marca III.**

### **2.1.3. Túneles de Carreteras**

El planteamiento de toda ruta para el tráfico, debe ser precedido por un análisis económico y ningún diseño real puede ser preparado, sin que la construcción de la ruta sea justificada económicamente (análisis de eficiencia de la inversión). Esto es de especial significado en el caso de túneles, que son las más caras estructuras en ingeniería civil y así sus costos específicos por unidad de longitud en rutas de tráfico o transporte, son muchas veces más altos que aquellos de línea abierta.

Consecuentemente el ahorro de distancia, mediante el túnel y el volumen de tráfico que lo recorre, deben ser suficientes para resultar en ahorros, en costos de longitud y de operación y compensar los altos costos específicos de construcción.

Debe determinarse primero el anticipado volumen de tráfico para cuyo caso se hace un estudio del área efectiva aledaña a la proyectada vía, su

población, consumo y producción industrial, presentes y por lo menos de los próximos 10 años. Lo anterior proporciona una base para un estimado del número de vehículos que usaran la ruta.<sup>2</sup>

Como ejemplo de túneles de carreteras, se presentan las fotos N°3 y 4 que son proyectos realizados en el Perú.



**Foto N°3: Proyecto de los Túneles de Puruchuco y Accesos, que consiste en la construcción de dos túneles viales paralelos.**

<sup>2</sup> Tesis: Sistemas de Sostenimiento en Excavaciones de Túneles, Autor: Meza Peña, Marco Juvenal - 1989



**Foto N°4: Túnel Punta Olímpica, ubicada en la región de Ancash entre las provincias de Asunción y Carhuaz, y consiste en un paso vehicular.**

## **2.2. Métodos para la Construcción de Túneles**

Los métodos de excavación de túneles dependen en forma general del tipo de terreno a atravesar. Es así que se puede hablar por separado de excavación de túneles en roca y excavación en terrenos blandos.

La perforación en terrenos blandos es un tema muy complejo en el que se mezcla la excavación y el tratamiento del terreno, existiendo un gran número de sistemas de ejecución: escudos, pre-corte mecánico, prebóveda de jet grouting, congelación y sostenimiento con concreto proyectado, similar a los túneles en roca.

Los métodos de excavación de túneles en roca son básicamente dos: El método de Perforación y Voladura y el método de Perforación Mecánica, principalmente con TBM, y máquinas de ataque puntual, rozadoras o martillos de impacto.

El primero de ellos, luego de casi seis décadas de continuo desarrollo y refinamiento, ha alcanzado un nivel de madurez muy confiable. Por lo que su uso está garantizado mundialmente en construcción de túneles.

Más joven en edad pero con una mejora acelerada, las máquinas de tunelería mecanizada han tenido un rápido e intenso desarrollo en el mundo, principalmente en túneles urbanos.

Sin embargo las metodologías no están en conflicto, siendo soluciones para atender los diversos requerimientos de: geología, geografía, topografía y ambientales, según los casos.

El método de Perforación y Voladura, es el más utilizado en túneles en roca y el único posible cuando la roca es muy abrasiva, muy resistente o se encuentra en estado masivo.

Básicamente consiste en realizar taladros en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y hacerlos detonar. La energía en forma de vibración y gases, producida por la explosión, quebranta la estructura de la roca.

### **2.2.1. Principios Básicos para el Diseño de Túneles**

- Un túnel es una cavidad que debe ser estabilizada a corto plazo y a largo plazo, desde su apertura hasta toda la vida útil establecida para la obra.
- El comportamiento geo-estático de una excavación subterránea depende, entre otros tantos factores, de las características geomecánicas del medio natural en el que se opera, de las sollicitaciones naturales preexistentes en el medio, del proceso y procedimiento constructivo adoptado incluyendo la naturaleza misma del eventual soporte instalado y de las circunstancias específicas de tal instalación. Lo anterior se puede reflejar suficientemente en la oportuna definición de

“clase de comportamiento de la excavación”, que pasa, entre otros factores y dependiendo de las circunstancias específicas de cada sección, a través de la caracterización geomecánica del medio (geomecánica del macizo rocoso a excavar), de las condiciones geostáticas del frente de excavación y de la definición del estado de solicitaciones naturales (como la profundidad del túnel y la densidad del macizo en primera instancia).

- Las formas de la excavación, del soporte y del revestimiento, deben ser seleccionadas de tal manera que resulten estáticamente eficientes, constructivamente factibles y económicamente óptimas, para lo cual en principio estarán caracterizadas por una forma de herradura, o por un único arco de círculo.
- El soporte primario, o de primera fase, debe garantizar la seguridad de los trabajadores y la estabilización (posiblemente total) de la cavidad a corto plazo y se pone en obra en condiciones ambientales que pueden llegar a ser incómodas, hostiles y hasta peligrosas, por lo cual los controles de su calidad son normalmente limitados y pueden llegar a ser deficientes, recomendándose en consecuencia no asignar a tal soporte una confiabilidad estructural formal de largo plazo, sino solamente una tarea de colaboración, limitada a algunas funciones y aspectos de algunos de sus componentes específicos. El soporte primario conservativo (como concreto proyectado o Shotcrete, costillas metálicas y pernos de contención) deberá ser integrado con elementos de refuerzo mecánico o mejora del macizo rocoso (tales como por ejemplo, pernos metálicos, inyecciones, etc.) o de pre-soporte (tales como por ejemplo, arcos tronco-cónicos de micropilotes, o de jet grouting, o de concreto en pre-corte) toda las veces que tal integración resulte necesaria o beneficiosa a los fines de la seguridad y de un adecuado control de la estabilización de la cavidad a corto plazo y que al mismo tiempo aporte

con el establecimiento de condiciones estáticas de mayor eficiencia para las funciones del revestimiento definitivo.

- En el diseño y la excavación de un túnel, debe priorizar el principio observacional, basado en el Monitoreo Sistemático, especialmente de la convergencia de la cavidad, durante todas las fases de ejecución de la obra y como herramienta fundamental de complemento imprescindible de los análisis y cálculos efectuados en las etapas del diseño, previas al inicio de las obras. Sobre la base de los resultados de tal monitoreo se establecerá y cuantificará en definitiva la real total necesidad de soporte primario a instalar para estabilizar temporalmente la cavidad.
- El revestimiento definitivo, debe garantizar el adecuado factor de seguridad o la confiabilidad establecida para la obra, absorbiendo las cargas aplicadas por la roca del túnel en un largo plazo, según los criterios definidos al respecto. En tales cargas, en principio, no se incluirían las acciones sísmicas, a menos que se trate de secciones específicas correspondientes a circunstancias consideradas en estos criterios especialmente sensibles a las acciones sísmicas, tales como por ejemplo ocurre en secciones de túnel muy superficiales o en secciones de túnel excavadas en sectores geológicos especialmente desfavorables (brechas de falla, etc.). En las secciones de revestimiento en que no resulte requerida una cuantía relevante de acero de refuerzo para absorber solicitaciones estáticas, se deberá colocar acero dimensionándolo para controlar el agrietamiento por retracción o alternativamente, se podrá eliminar tal acero y eventualmente sustituirlo con una adecuada cuantía de fibras, dependiendo todo de las limitaciones que se impongan a la aceptabilidad de desarrollo de las referidas grietas. Cuando el revestimiento no resulte directamente de exigencias estructurales sus funciones serán, entre otras, facilitar la ventilación natural, garantizar la regularidad geométrica de la sección, evitar la degradación de la roca expuesta; mejorar la impermeabilización;

en estos casos su espesor será el mínimo compatible con exigencias tecnológicas (ej. 30cm).

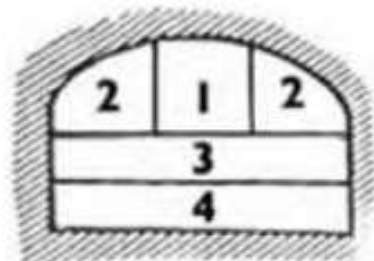
### **2.2.2. Métodos utilizados para la Construcción de Túneles**

Los elementos de un túnel son la bóveda, los hastiales y la solera. Todos estos elementos pueden ser construidos en una única etapa, con todo el espesor de hormigón y armaduras definitivas, o en dos etapas. En este último caso la primera etapa se ejecuta cerca del frente y tiene como función principal el sostenimiento del suelo en el corto plazo. La segunda etapa, de terminación, se ejecuta dentro de un túnel limpio y seco, y por lo tanto tiene mejor calidad. Con frecuencia se exige que el análisis estructural del túnel se efectúe tomando en cuenta únicamente el revestimiento de segunda etapa.

Los métodos constructivos difieren en el orden en que se construyen los diferentes elementos del túnel y en cuantas etapas se divide cada uno, los métodos más usados son:

#### **2.2.2.1. Método Inglés**

Aplicable para túneles de pequeña sección menos de 15 m<sup>2</sup> en ciertos casos se puede utilizar el ataque a plena sección utilizando la excavación en toda la anchura del túnel pero con varios escalones de ataque.

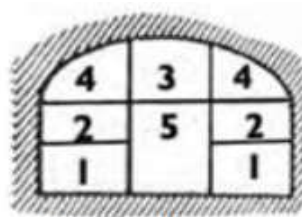


El Método Inglés



### 2.2.2.2. Método Alemán

Se caracteriza por la conservación de la destroza hasta la terminación de los muros y de la bóveda, la destroza sirve como apoyo para todos los apuntalamientos y cimbras, y evita el empleo de andamios de gran luz. Para que este método resulte interesante es necesario que la sección del túnel sea bastante grande, superior a 50 m<sup>2</sup>.



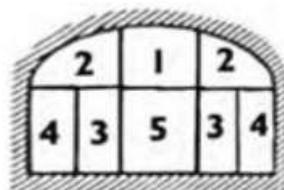
El Método Alemán

### 2.2.2.3. Método Alemán Modificado

Se aplica en el caso en que durante la operación de perforación del túnel, a través de un terreno bastante firme, surja la aparición de agua, lo que origina una alteración en el Método Clásico Alemán en cuanto a las etapas sucesivas de ataque del frente.

### 2.2.2.4. Método Belga

Se excava rápidamente la bóveda, con un túnel de galería de avance de pequeña sección en el eje del túnel y en la parte superior. La anchura de esta galería varía de 2.5 a 3 m, por altura de 2 a 4 m. después se ensancha a ambos lados para dejar al descubierto la bóveda para luego atacar la parte interior del túnel.

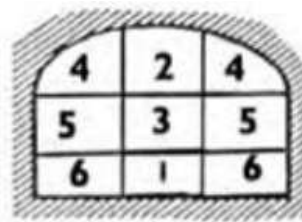


El Método Belga



### 2.2.2.5. Método Austriaco

Los austriacos desarrollaron un plan de trabajo basado en la utilización de puntales de madera formando un sistema de entibación, procedimiento aplicado en las minas de Friburgo y que fue aplicado por primera vez por Meisner en la construcción del túnel de Oberau.



El Método Austriaco

### 2.2.3. Técnicas para la Excavación de Túneles

Existen tres técnicas para la excavación de túneles dependiendo del tipo de roca y la geología del terreno a excavar, siendo de la más usada mundialmente la técnica de Perforación y Voladura o llamada en inglés como “Drilling & Blasting”, las tres técnicas de excavación de túneles se muestran a continuación:

- **Perforación y Voladura o “Drilling & Blasting”:** Es el sistema usual y de mayor flexibilidad.
- **Excavación a sección Completa con TBM (Tunnel Boring Machine):** Es el sistema más rápido cuando la roca es competente. Es una técnica de excavación muy seguro que no utiliza explosivos, no hay prácticamente sobre-excavación, pero requiere de una alta inversión en el equipo y es poco flexible para aceptar variaciones en secciones curvas y pendientes.
- **Minador Continuo:** Al Igual que el TBM, no requiere de explosivos, pero a diferencia de este requiere de rocas muy suaves. Se emplea en minería de carbón, calizas suaves, etc.

A continuación se muestra más características de la técnica “Perforación y Voladura”, ya que esta técnica fue la que se uso en el Proyecto Cheves.

### **2.2.3.1. Características de la Técnica Perforación y Voladura (Drilling & Blasting)**

Es el sistema más usual y de mayor flexibilidad. Se pueden variar a voluntad secciones y perfiles. Cuando se detona un explosivo colocado en un barreno, los gases de alta presión que produce la explosión hacen impacto en las paredes del barreno y generan una onda de presión intensa que viaja hacia fuera de la roca. Estas fuerzas al llegar a la cara libre del frente de voladura se reflejan al cambiar de medio en el aire y regresan a la roca como fuerzas de tensión que afectan a la roca creando fisuras y grietas de tensión a partir de sus planos de debilidad. Luego los gases calientes en expansión producen la rotura y desplazamiento de los fragmentos resultantes al introducirse por las grietas.

Damos algunos métodos de excavación:

- **Ataque a Sección Plena:** El área de la sección transversal al túnel se obtiene totalmente al hacer un solo disparo, este método se empleaba para túneles pequeños, pero desde el perfeccionamiento de los JUMBOS y las CARGADORAS MECANICAS de alto rendimiento, ha sido adoptado para la excavación de túneles de todas las medidas en roca buena. El JUMBO puede perforarse todo el túnel, habiéndose limpiando antes todo el escombros, la construcción económica y veloz de grandes túneles por el método de secciones plenas se ha hecho posible por el desarrollo del JUMBO o perforadoras montadas sobre carros.
- **Ataque a Sección Parcial:** Este método se emplea cuando el tiempo de autosostenimiento de la roca es largo y el terreno es malo hay varios métodos de ataque a sección parcial y son:

Método de avance y banco simultáneo: consiste en llevar una galería de avance por delante del banco, este sirve como plataforma de trabajo, en un mismo disparo se vuelan los taladros del avance y del banco pero de forma que esto salte antes que aquellos, una variante de este método es el de avance y banco continuo, en el que la galería de avance se perfora hasta terminarla entonces se procede a cavar el banco.

- **Método de Galerías Laterales:** Este método se utiliza en rocas en mal estado se llevan dos galerías por delante de la excavación final y tangente a las paredes, luego se hace los levantamientos hacia el arco, toda esta operación deja un núcleo central que puede extraerse después de que el túnel ha sido totalmente sostenido. El núcleo central proporciona una plataforma de trabajo para colocar el sostenimiento del techo.

## **2.3. Teoría sobre el Shotcrete**

### **2.3.1. Introducción sobre el Shotcrete:**

El Shotcrete (mortero, o “gunita”) comenzó a utilizarse hace casi 90 años, los primeros trabajos con Shotcrete fueron realizados en los Estados Unidos por la compañía Cement-Gun (Allentown, Pensilvania) en 1907. Un empleado de la empresa, Carl Ethan Akeley, necesitaba una máquina que le permitiera proyectar material sobre mallas para construir modelos de dinosaurios, e inventó el primer dispositivo creado para proyectar materiales secos para construcciones nuevas.

### **2.3.2. Campos de Aplicación del Shotcrete:**

La gran cantidad de ventajas que tiene el Shotcrete como proceso de construcción y los avances logrados en equipos, materiales y conocimientos, lo han convertido en una herramienta importante para una variedad de trabajos.

Se aplica Shotcrete para resolver problemas de estabilidad en túneles y en otras construcciones subterráneas. Además, hoy en día esta técnica es un factor clave para el soporte de rocas en aplicaciones tales como:

- Construcción de Túneles
- Operaciones Minerales
- Hidroeléctrica
- Estabilización de Taludes

Más del 90% de todo el Shotcrete es utilizado para soporte de rocas.

Actualmente el uso del Shotcrete es menos frecuente que es del concreto tradicional; sin embargo, este material ofrece la posibilidad de una gran variedad de aplicaciones, entre ellas:

- Recubrimiento de Canales
- Reconstrucción y reparaciones
- Pantallas Marinas
- Concreto Refractario
- Protección contra incendio y anticorrosiva
- Construcciones nuevas
- Agricultura (pozos de estiércol)
- Mampostería y estabilización de muros de ladrillo

El Shotcrete es el método de construcción del futuro debido a sus características de flexibilidad, rapidez y economía. ¡El único límite para su uso es la imaginación del hombre!<sup>3</sup>

### **2.3.3. Métodos de Aplicación del Shotcrete**

#### **2.3.3.1. Método por Vía Seca:**

Consiste en mezclar el cementante (cemento + adiciones) con la arena para luego impulsarlo a través de la manguera a la boquilla del equipo, en donde se combinará con el agua y los aditivos líquidos, los cuales llegan por una manguera independiente, para ser finalmente proyectada hacia la superficie mediante el uso de aire comprimido.

El método no requiere una alta mecanización, lo cual favorece el uso de esta tecnología en las actividades mineras. La capacidad de los equipos de proyección utilizados para el Shotcrete Vía Seca son de volúmenes de proyección pequeños; por lo que el reducido tamaño de estos equipos hace que sean versátiles en sus desplazamientos y ubicaciones respecto a la zona que se desea estabilizar. Tiene una gran acogida en las operaciones mineras, las cuales tienen secciones reducidas en sus labores.

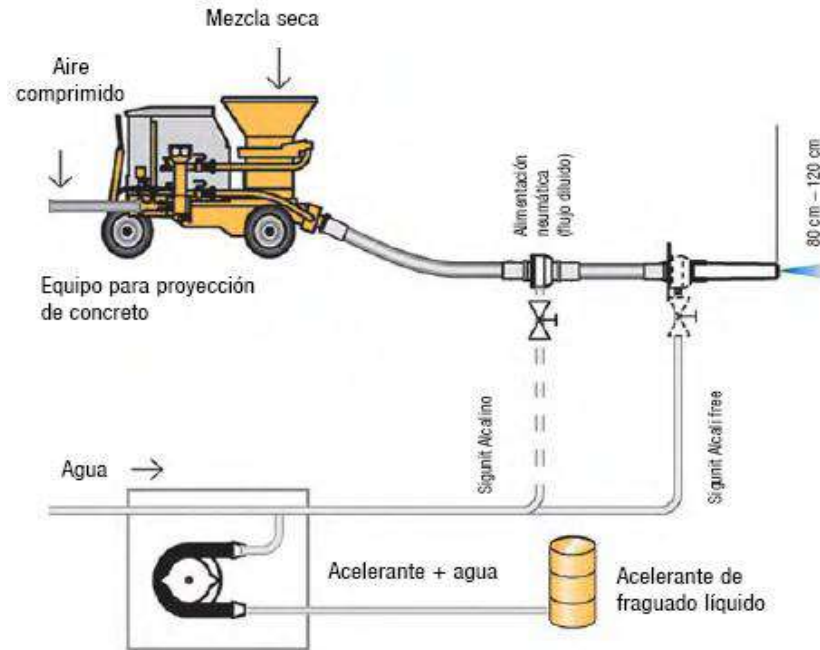
La buena instalación del Shotcrete Vía Seca depende en gran medida de la destreza del operador. Es el operador quien controla los niveles de agua con aditivo que serán adicionados a la mezcla, así como la proyección de la mezcla hacia el macizo rocoso (manipuleo de la pistola de lanzado). Es por ello que los niveles de productividad y calidad, en gran medida, obedecen al grado de entrenamiento y responsabilidad del operador.

La aplicación de Shotcrete Vía Seca produce niveles de rebote elevados. Esto ocurre principalmente cuando se tiene: a) una mala aplicación de la mezcla sobre la superficie del macizo; b) condiciones operativas no

---

<sup>3</sup> Melbye, Tom. (2002). Shotcrete para Soporte de Roca (9na Edición)

apropiadas (baja presión de aire para el equipo); etc. Cabe indicar que los niveles de rebote utilizando esta tecnología de lanzado son mayores que los de la tecnología por vía húmeda. Se muestra a continuación el gráfico N°1 donde se muestra la aplicación del Shotcrete por vía seca.



**Gráfico N°1: Aplicación del Shotcrete por Vía Seca**

### 2.3.3.2. Método por Vía Húmeda:

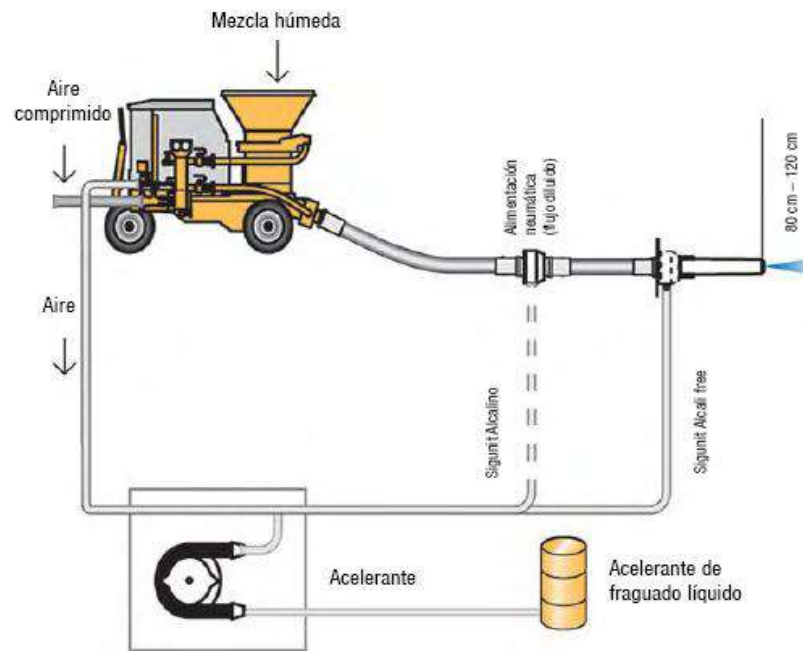
El segundo método, llamado "vía húmeda" consiste en mezclar la arena, cementante y el agua antes de ser impulsados a través de la manguera del equipo, de tal forma que cuando la mezcla llega a la boquilla de la máquina, esta ya se encuentra lista para ser proyectada.

#### Requerimientos Básicos:

La resistencia mínima requerida es de 30 Kg/cm<sup>2</sup> a las 4 horas de lanzado, a las 24 horas 100 kg/cm<sup>2</sup> y a los 7 días debe ser mayor de 210 kg/cm<sup>2</sup>; verificado mediante ensayos de laboratorio.

La proyección por vía húmeda tiene las ventajas de un control de calidad superior (a través del control de la relación w/c), menor costo de colocación

y un ambiente de trabajo relativamente libre de polvo. En el método de proyección por vía húmeda es usualmente necesario añadir un acelerante en la boquilla para agilizar el fraguado y la ganancia de resistencia inicial del concreto en el substrato. Se muestra a continuación el gráfico N°2 donde se muestra la aplicación del Shotcrete por vía húmeda.



**Gráfico N°2: Aplicación del Shotcrete por Vía Húmeda**

Esta constituido a diferencia del Shotcrete por vía seca de más aditivos como:

**Inhibidores de hidratación:** permiten regular el fraguado pudiendo mantener la mezcla las horas que sean necesarias para poder utilizarlo (12 a 72 Hrs).

**Superplastificantes:** ayudan a mantener la trabajabilidad del mortero y evitan la sobrecarga de agua en el concreto, recordar que si excedemos el agua de diseño el Shotcrete pierde resistencia.

**Acelerantes ultrarrápidos:** permiten que se puedan continuar con los trabajos de explotación pocas horas después de ser colocado y mejoran el desempeño del concreto en zonas húmedas.

**Humo de sílice o Microsílice:** es utilizado como complemento del cemento incrementa la plasticidad y la resistencia a la compresión, su propiedad hace que la mezcla sea pegajosa y más densa.

**Fibras de acero y polipropileno:** este aditivo permite incrementar la resistencia a la compresión y flexión del Shotcrete, pero no se debe usar como reemplazo de un refuerzo de acero; utilizamos la fibra de polipropileno, ya que no se deteriora con el agua, es inerte. Proyectado a presión de aire sobre la superficie que En relación al diseño utilizado en nuestra labores se ha determinado que debe trabajar con una resistencia a la compresión ( $f'c$ ) mínima: 7 Mpa a 1 día, 30 Mpa a 28 días. La resistencia mínima a la flexión no debe ser menor a 4 Mpa(41 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### 2.3.4. Diseño del Shotcrete para Vía Húmeda y Seca:

A continuación se presentan las tablas N°1 y 2 referidas a los diseños de Shotcrete por vía seca y húmeda.

<b>Concreto proyectado vía seca</b>	<b>0-8 mm</b>
Cemento	280 kg
SikaFume®-HR/-TU	20 kg
Retardante SikaTard®-930	0.3 %
55 % 0-4 mm con 4% de humedad	aprox. 680 kg
45 % 4-8 mm con 2% de humedad	aprox. 560 kg
Mezcla m <sup>3</sup>	*aprox. 1540 kg
*Debe ser chequeado en un ensayo de campo.	
<b>Contenido de cemento</b>	
Para 1000 litros de mezcla vía seca, 280 kg de cemento es adicionado a 800 litros de agregado	
Para 1250 litros de mezcla vía seca, 350 kg de cemento es adicionado a 1000 litros de agregado	
<b>Concreto proyectado 1 m<sup>3</sup> de vía seca aplicado da:</b>	
Acelerado con Sigunit®AF Polvo (rebote 16-20 %)	0.58-0.61 m <sup>3</sup>
Acelerado con Sigunit®AF Líquido (rebote 20-25 %)	0.55-0.58 m <sup>3</sup>
Contenido de cemento en el concreto proyectado aprox.	450-460 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla N°1: Diseño del Shotcrete para Vía Seca**



Concreto proyectado vía húmeda 0-8 mm		
Cemento	425 kg	135 l
SikaFume®-HR/TU	20 kg	9 l
Superplastificante SikaTard®/Sika®ViscoCrete®	1.2 %	
Retardante SikaTard®-930	0.3 %	
Agregado:		
0-4 mm con 4% de humedad (60 %)	967 kg	358 l
4-8 mm con 2% de humedad (40 %)	791 kg	293 l
Agua adicionada (a/c =0.47)	155 kg	155 l
Volumen de Aire (4.5 %)		45 l
Fibras de acero	40 kg	5 l
Concreto proyectado		1000 l
Densidad por m <sup>3</sup>	2398 kg	
1 m <sup>3</sup> de concreto proyectado aplicado proporciona		
Accelerado con Sigunit®AF Líquido (rebote 6-10 %)		0.90 - 0.94 m <sup>3</sup>
Contenido de cemento en el concreto proyectado		450 - 470 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de fibras de acero en el concreto proyectado		30 - 36 kg/m <sup>3</sup>

Es importantes un contenido suficientes de finos  $\leq 0.125$  mm para una buena bombeabilidad.

Contenido de finos recomendado (agregado total+cemento+agregados finos adicionales):

Agregado	0-8 mm	0-16 mm
Redondeado	500 kg/m <sup>3</sup>	450 kg/m <sup>3</sup>
Triturado	525 kg/m <sup>3</sup>	475 kg/m <sup>3</sup>

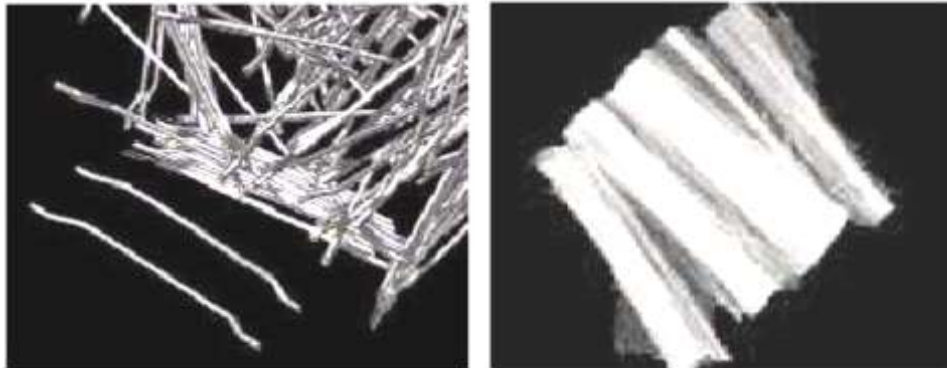
**Tabla N°2: Diseño del Shotcrete para Vía Húmeda**

### 2.3.5. Shotcrete Reforzado con Fibra:

La adición de fibras de refuerzo a la mezcla permite proveer de ductilidad al concreto, lo cual permite que la estructura soporte deformaciones más allá de su límite elástico, provocadas por desplazamientos del terreno luego de la aplicación. Debido a factores económicos, las fibras se utilizan usualmente sólo en Shotcrete proyectado por vía húmeda y son dosificadas junto con la mezcla de concreto. Cumple con las especificaciones ASTM C1116 para concreto y Shotcrete reforzado con fibra sintética.

Las fibras añadidas al Shotcrete pueden ser de acero, de vidrio, sintéticas o hechas de materiales naturales. La inclusión de estas adiciones tiene como

propósito mejorar las propiedades del Shotcrete tales como ductilidad, tenacidad, resistencia a la flexión, resistencia al impacto, resistencia a la fatiga (ciclos de carga y descarga) e incluso incrementar ligeramente la resistencia a la compresión. Como ejemplo se muestra la foto N°5 que muestra los tipos de fibras adicionados al Shotcrete.



(1964) Fibras de Acero

(1980) Fibras Sintéticas

**Fotos N°5: Fibras de Refuerzo para el Shotcrete**

#### **2.3.5.1. Consideraciones de la Fibra:**

##### **Clasificación de Fibras (ASTM A820)**

- Alambre cortado en frío
- Lámina cortada
- Extracción a partir de masa fundida, otros

##### **Parámetros que describen la Calidad de la Fibra**

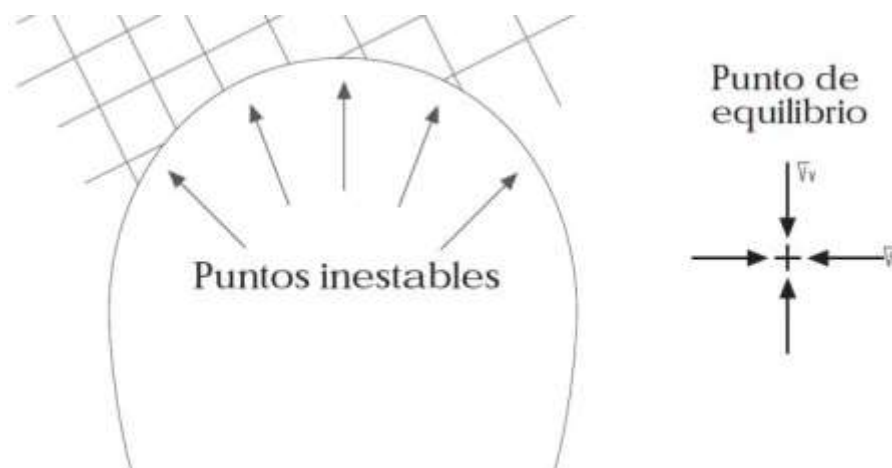
- Radio de Aspecto (Longitud / Diámetro)
- Resistencia a la tensión
- Forma geométrica

## Características Mecánicas de la Fibra

- Peso Específico
- Módulo de Young o Módulo de elasticidad
- Módulo de Tensión de ruptura por tracción
- Elongación de Rotura<sup>4</sup>

### 2.3.6. Sostenimiento Mediante Shotcrete:

La teoría del sostenimiento por Shotcrete se basa en que todo macizo rocoso tiene una tensión interna estable. Esta estabilidad se ve alterada cuando, por efecto de la construcción del túnel, se efectúa una perforación en él. Si la roca está muy averiada por efectos de fallas, meteorización y/o el disparo, la fricción de las partes quebradas no será suficiente para detener el movimiento de los fragmentos, es decir, este punto de la excavación es ahora inestable y trata de desplazarse en dirección de la menor fuerza, o sea, hacia adentro del túnel, se muestra el gráfico N°3. Investigaciones han demostrado que si las rocas quebradas alrededor del túnel están ligadas entre sí y se soportan unas a otras, la estabilidad se recupera, logrando que la roca se autosoporte.



**Gráfico N°3: Estabilización de la Roca mediante el Shotcrete**

<sup>4</sup> Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Alas Peruanas (2009), Concreto Lanzado - Shotcrete

### La influencia del Shotcrete se puede dividir en dos categorías:

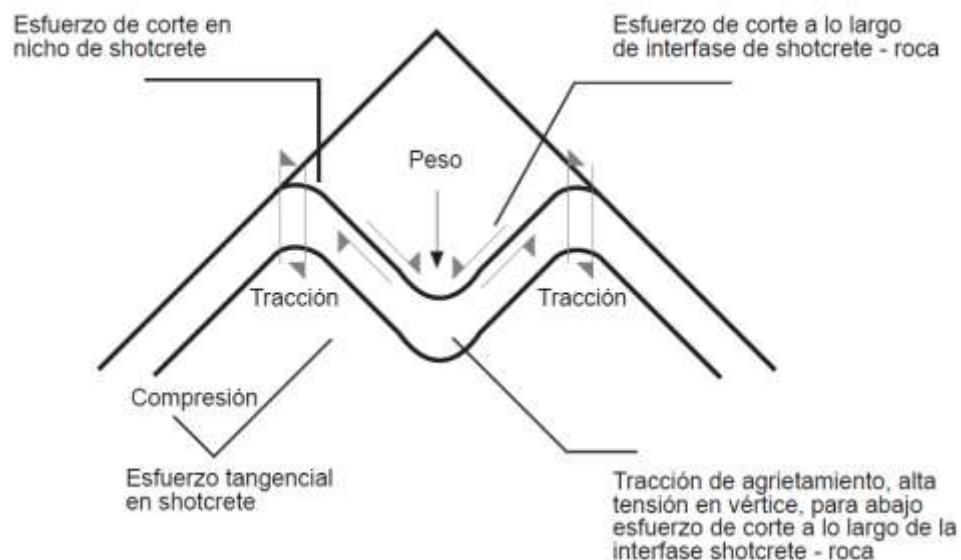
- Una capa delgada de Shotcrete que funciona como arco de hormigón y soporta el desmoronamiento de la roca.
- Capas delgadas de Shotcrete ligan las rocas entre sí, evitando los movimientos de cierta intensidad.

Con esto se busca recuperar la estabilidad del macizo rocoso.

Si la colocación se hace inmediatamente después de un disparo, antes que la roca pueda desplazarse, los problemas se reducen notablemente.<sup>5</sup>

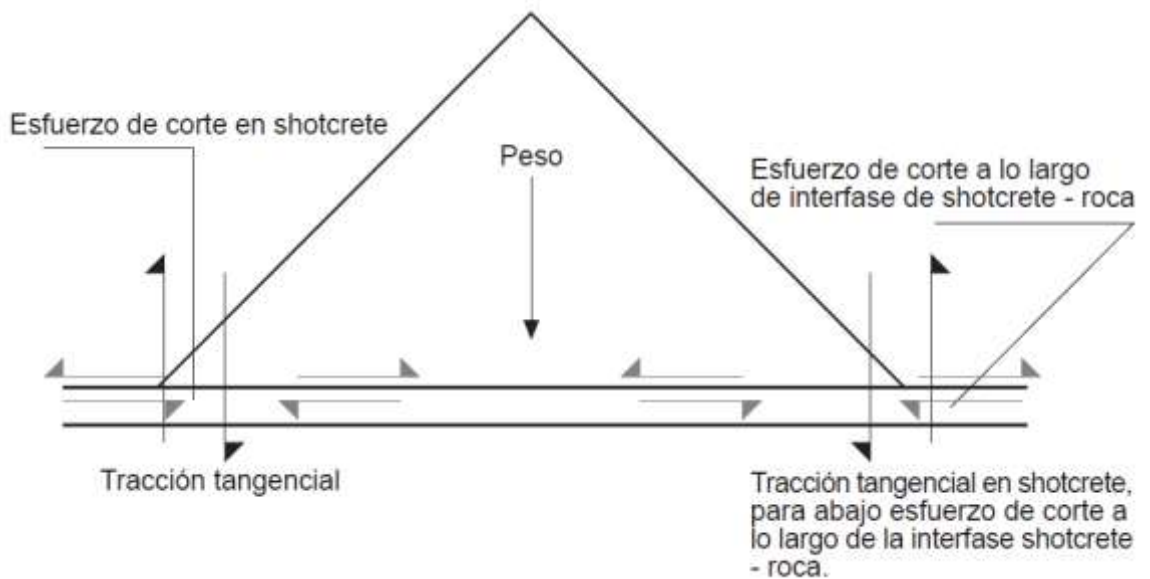
### Comportamiento de Shotcrete en Bloques de Roca:

A continuación se muestra los gráficos N°4 y N°5, donde se muestran el comportamiento del Shotcrete en roca:



**Gráfico N°4: Tracción de Agrietamiento a lo largo de la interface Shotcrete-Roca.**

<sup>5</sup> Publicación de Empresa ROBOCON Shotcreting Systems (2011), Manual del Shotcrete.



**Gráfico N°5: Tracción Tangencial a lo largo de la interface Shotcrete-Roca.**

## 2.4. Gestión de Proyectos

### 2.4.1. Introducción:

La gestión o gerencia de proyectos es la disciplina que pauta e integra los procesos de planeamiento, organización, ejecución de procesos y administración de recursos con la finalidad de alcanzar una o diversas metas. Un proyecto tiene fin temporario trazado a generar un único producto, servicio o resultado que se encuentra dentro de límites definidos de tiempo y costo que es emprendido para alcanzar objetivos únicos y que dará lugar a un cambio positivo o agregará valor.

El tiempo de ejecución de los proyectos se contrapone con las operaciones normales de cualquier organización, las cuales son actividades repetitivas, permanentes o semipermanentes. En la práctica, la gerencia de estos sistemas se maneja de manera muy distinta, y demandan el desarrollo de destrezas profesionales o técnicas y gestión de estrategias distintas.

Para la gestión de proyectos el primer desafío es conseguir la meta trazada del proyecto, y los objetivos dentro de las restricciones conocidas. Las limitantes primarias son el alcance, el tiempo, la de todos, es optimizar los recursos de las entradas necesarias e integrarlas para alcanzar los objetivos calidad y el presupuesto. El desafío que se encuentra en los proyectos, y el más anheloso predefinidos.

#### **2.4.2. Tiempos en un proyecto**

El cumplimiento del plazo en un proyecto es uno de los objetivos más importante de cualquier proyecto en el mundo. El plazo está directamente vinculado con los costos del proyecto y con la planificación control y ejecución del proyecto durante todo su ciclo de vida.

Para este caso se evaluó los tiempos y cronogramas del Proyecto Cheves, y más específicamente en el Túnel de Conducción, el impacto de las deficiencias de la Gestión de Calidad se verá reflejado en adicionales de tiempo, es decir ampliaciones de plazo durante el ciclo de vida de la construcción del túnel de conducción.

#### **2.4.3. Mayores Costos en un Proyecto**

Los mayores costos o adicionales de obra es un punto interesante a evaluar en todo proyecto.

Se cree que todos los adicionales o mayores costos deben ser reconocidos, pero en la realidad no necesariamente se pueden reconocer ya que se debe evaluar la causa del mismo, muchas de estas causas es la Gestión de la Calidad que no es efectiva entre los involucrados a los proyectos. Estos costos serán cuantificados tomando como caso real el Proyecto Cheves en el túnel de conducción y se presentan en esta Tesis.

#### **2.4.4. Impacto de la Gestión de Calidad en Proyectos de Construcción**

El impacto de la gestión de calidad se debe medir mediante objetivos del proyecto, planificación del proyecto, y planes de calidad, pero para evaluar el impacto es necesario saber sobre que se evalúa o que métodos se evalúan para analizar las consecuencias positivas y negativas para ello se elige al PMBoK, una guía altamente reconocida a nivel mundial que nos brinda lineamientos a seguir para optimizar la gestión, dentro del sistema de gestión se puede apreciar que debe ser aplicada lo más eficientemente pero en la realidad existen muchas deficiencias en la Gestión de Calidad en varios proyectos a nivel mundial así como la falta y desconocimiento de su aplicación.

#### **2.4.5. Objetivos de un Proyecto de Construcción**

Un proyecto de construcción trata de un esfuerzo temporal, distribuido en actividades, donde el objetivo es crear un nuevo producto, servicio o resultado único en un tiempo y costo pre establecido.

Los proyectos son temporales, pero el producto o servicio que se crea por lo general es duradero. Tiene un comienzo definido y un final definido. Termina cuando el objetivo ha sido logrado o es claro que no se cumplirán o cuando la necesidad por la cual se emprendió el Proyecto ya no existe.

La presencia de elementos repetitivos no cambia la condición fundamental de único del trabajo de un proyecto. Las características del producto son elaborados gradualmente. Los proyectos se elaboran paso a paso de manera continua e incremental con un equipo especializado en proyectos.

#### **2.4.6. Involucrados de un Proyecto (Stakeholders)**

El éxito de la gerencia de proyectos depende de la relación que se tiene con los stakeholders conocidos también como involucrados. Son personas u organizaciones que participan activamente en el proyecto. Sus intereses pueden verse afectados por el proyecto de manera positiva o negativa. Pueden ejercer influencia sobre el proyecto, sobre los entregables y sobre los mismos miembros del equipo.

Hay que identificarlos en el frente interno y externo, tan pronto como sea posible y este proceso continua a lo largo de todo el proyecto. Se debe gestionar su influencia, expectativas y requerimientos.

Todo proyecto de cualquier área tendrá que enfrentar tarde o temprano algún participante o implicado problemático (Ej. Usuarios finales, Clientes, jefes de departamento, integrantes de equipo, etc.), diversas pueden ser las situaciones, amenaza para la agenda personal, estabilidad, resistencia al cambio o a las nuevas tecnologías.

Para lidiar con esto, en primer lugar debe entenderse la visión de la organización, motivaciones y objetivos, para luego desarrollar estrategias en función de sus niveles de influencia y participación en el proyecto.

Para ello se debe:

- Dedicar tiempo a entender las motivaciones detrás de la crítica y resistencia. Entender que las críticas también puede ser constructivas.
- Conversar con el equipo del proyecto. Y todas las partes de una manera conciliadora.



- Entender claramente sus metas y objetivos, colocando especial atención en el trabajo que hacen en la organización, como lo hacen y como les afecta el proyecto.
- Saber cuáles son sus expectativas y lo que espera ganar del proyecto.
- Colocarse en los zapatos del implicado, entienda su visión de la organización y del proyecto y cuál es su objetivo fundamental como grupo.
- Determinar si el proyecto le agrega o quita valor a su área funcional de alguna forma.
- Si participa directamente en el proyecto, preguntarse qué problemas ha encontrado realizando el trabajo. Esto ayudara en el registro de las lecciones aprendidas.
- Identificar si existe alguna manera de satisfacer sus objetivos sin poner en riesgo el éxito del proyecto. Hay que pensar de manera integral al final no es quien saque mayor ventaja desde su punto de vista sino encontrar lo más conveniente para el proyecto.
- Estrategias para lidiar con implicados problemáticos cuando su participación es clave, saber manejar personas de carácter poco conciliador y sin actitud proactiva.
- Darse cuenta que no es posible complacer a todos los implicados en todos los aspectos del proyecto. Siempre existirán diferentes puntos de vista.

- Los objetivos y metas del proyecto deben ser claros y establecidos al principio del proyecto.
- Involucrar a todos los implicados clave desde el principio del proyecto, haciéndoles participar en la toma de decisiones.
- Tome en cuenta las expectativas de los implicados claves. Identifique a los líderes de cada grupo.
- Asegurarse la transparencia en la forma de llevar el proyecto y evite agendas ocultas. Todo debe ser bien claro entre todas las partes, la documentación legal, los alcances de cada equipo debe estar pre establecido.
- Cuando modificaciones aceptables al proyecto eliminen las objeciones de ciertos implicados, realizar dichas modificaciones, de esta forma, podría transformarse su opinión negativa en neutral o positiva.
- Si es posible, alinear los objetivos y el valor proporcionado por el proyecto con los puntos de interés de los implicados, siempre y cuando no estén en conflicto. Buscar la integración.
- Estrategias para lidiar con implicados problemáticos no claves y de baja influencia: Aunque su participación no sea clave, las expectativas deben ser tomadas en cuenta para evitar resistencia. Si es posible, evite la participación de implicados negativos en actividades críticas del proyecto. Realizar alianzas con otros implicados que estén de acuerdo con el proyecto, ellos podrían ayudar a convencerlo de los beneficios del proyecto. La idea es siempre convencer de una manera adecuada los puntos de vista, evitar reuniones conflictivas ya que no benefician al proyecto.

- Hacer seguimiento y cumplir con los compromisos asumidos con los implicados. Ganar su confianza manteniéndoles informados de los avances del proyecto.

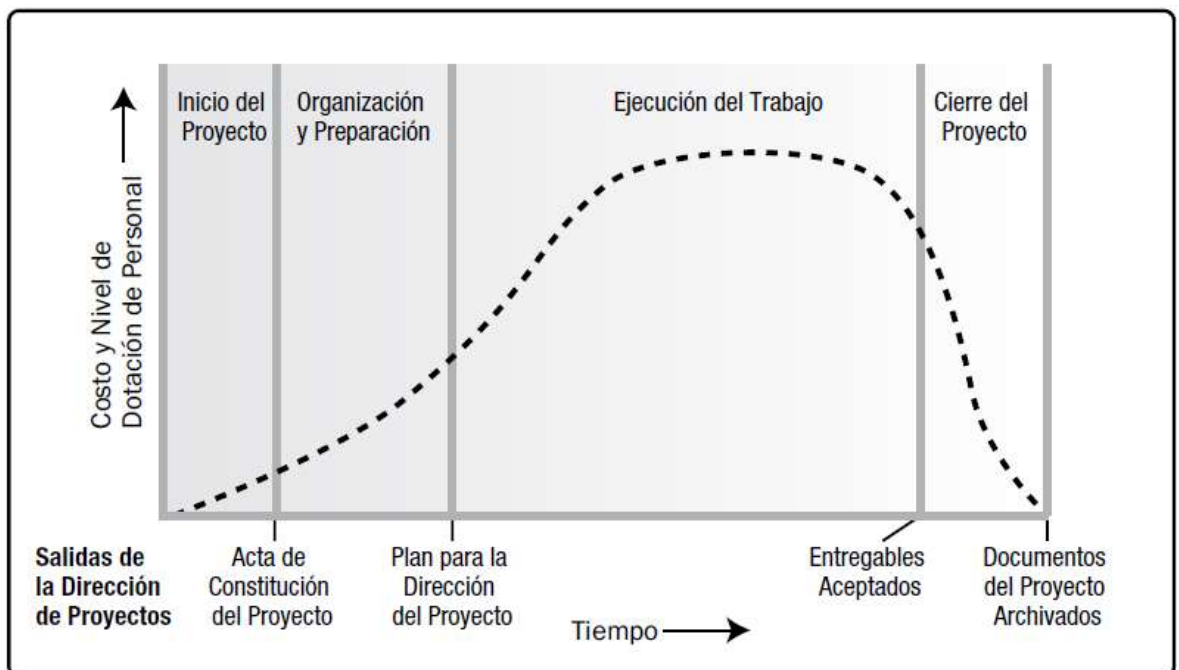
Los Stakeholders o involucrados que intervienen en un proyecto de construcción son:

- a) El propietario, quien puede ser un individuo, una empresa o el gobierno.
- b) El contratista principal con suficiente capacidad económica y de gestión para manejar el proyecto. Algunas veces contrata a subcontratistas, los cuales también son involucrados importantes.
- c) Los subcontratistas que suelen ser contratistas muy especializados, algunas veces con poca capacidad económica, que debe desarrollar una parte específica del proyecto por encargo del contratista principal.
- d) La supervisión que generalmente se encarga de la gerencia del proyecto representando al cliente desde el diseño hasta la liquidación de la construcción y entrega del producto al cliente.
- e) Diseñadores como arquitectos, ingenieros que definen lo que se va a construir y realizan las coordinaciones con el propietario.
- f) Proveedores de los insumos que serán usados en la obra.
- g) Entidades financieras, quienes apoyan económicamente al propietario o a los contratistas.

- h) Autoridades, quienes verifican el proyecto, autorizan la ejecución y hacen cumplir los reglamentos.
- i) Publico, quien es observador y en obras públicas, el usuario del proyecto.

### 2.4.7. Ciclo de Vida de un Proyecto

Conjunto de fases, generalmente secuenciales y ocasionalmente superpuestas. El número de fases está determinado por las necesidades de gestión y control de la organización, La naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación. Proporciona el marco de referencia básico para dirigir el proyecto. A continuación se muestra el gráfico N°6 que muestra el ciclo de vida de un proyecto.



**Gráfico N°6: Ciclo de vida de un Proyecto - Fuente PMBoK 5ta Edición**

### 2.4.8. Procesos de un Proyecto

La aplicación de conocimientos requiere de la dirección eficaz de los procesos apropiados. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las

herramientas y técnicas que pueden aplicarse y por las salidas que se obtienen. Sabemos que los proyectos varían en tamaño y complejidad. Pero todos pueden configurarse de acuerdo a la siguiente estructura genérica.

#### **2.4.8.1. Etapas de un proyecto:**

##### **a) Iniciación:**

Define y autoriza el proyecto o una fase del mismo. Está compuesto por aquellos procesos realizados para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto ya existente, mediante la obtención de la autorización para comenzar dicho proyecto o fase. Dentro de los procesos de iniciación se define el alcance inicial y se comprometen los recursos financieros iniciales.

Se identifican los interesados internos y externos que van a interactuar y ejercer alguna influencia sobre el resultado global del proyecto. Si aún no fue nombrado se seleccionará el director del proyecto. Esta información se plasma en el acta de constitución del proyecto y registro de interesados.

##### **b) Planificación:**

Define los objetivos y planifica el curso de acción requerido para lograr los objetivos y el alcance pretendido del proyecto. Está compuesto por aquellos procesos realizados para establecer el alcance total del esfuerzo, definir y refinar los objetivos, y desarrollar la línea de acción requerida para alcanzar dichos objetivos.

Los procesos de planificación desarrollan el plan para la dirección del proyecto y los documentos del proyecto que se utilizarán para llevarlo a cabo. La naturaleza multidimensional de la dirección de proyectos genera bucles de retroalimentación repetidos que permiten un análisis adicional.

### **c) Ejecución:**

Compuesto por aquellos procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan a fin de cumplir con las especificaciones del mismo. Implica coordinar personas y recursos, así como integrar y realizar actividades del proyecto en conformidad con el plan para la dirección del proyecto. Este grupo de proceso implica coordinar personas y recursos, así como integrar y realizar las actividades del proyecto de conformidad con el plan para la dirección del proyecto.

### **d) Control y Seguimiento**

El grupo de proceso de seguimiento y control está compuesto por aquellos procesos requeridos para supervisar, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes. El beneficio clave de este grupo de procesos radica en el desempeño del proyecto, se observa y se mide de manera sistemática y regular, a fin de identificar variaciones respecto del plan para la dirección del proyecto. El grupo de procesos de seguimiento y control también incluye:

- Controlar cambios y recomendar acciones preventivas para anticipar posibles problemas.
- Dar seguimiento a las actividades del proyecto, comparándolas con el plan para la dirección del proyecto y la línea base de desempeño de ejecución del proyecto.
- Influir en los factores que podrían eludir el control integrado de cambios, de modo que únicamente se implementan cambios apropiados.

### **e) Cierre:**

Está compuesto por aquellos procesos realizados para finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos de la dirección de proyectos, a fin de completar formalmente el proyecto, una fase del mismo u otras obligaciones contractuales. Este grupo de procesos, una vez completado, verifica que los procesos definidos se hayan completado dentro de todos los grupos de procesos a fin de cerrar el proyecto o una fase del mismo, según corresponda y establece formalmente que el proyecto o fase del mismo ha finalizado.

Los grupos de procesos no son secuenciales, necesariamente. Claramente, los grupos de Inicio y Cierre tendrán lugar al principio y final del proyecto o fase, respectivamente. Sin embargo, parte de las tareas de Planificación (estimación de tiempos, costos, recursos, riesgos) suelen mezclarse con las de Inicio (mientras se está decidiendo si el proyecto se realiza o no).

Algunas actividades del proyecto pueden comenzar su Ejecución (y Control) aun cuando no se ha completado la Planificación. La Planificación puede refinarse a medida que se conozcan mejor los detalles del proyecto (planificación progresiva). El Seguimiento y Control tiene lugar durante todo el proyecto, desde su inicio hasta su fin.

## **2.5. Project Management Institute (PMI)**

El Project Management Institute o Instituto de Administración de Proyectos (PMI) es un organismo fundado en el año 1969 con el objetivo de lograr mejoras significativas en la administración de proyectos.

Es una asociación sin fines de lucro, cuyo principal objetivo es fomentar la práctica, ciencia y profesión de la gerencia de proyectos en todo el mundo, de una manera proactiva y consciente, de tal forma que las organizaciones

donde quiera que se desarrollen, valoren y utilicen la gestión de proyecto, atribuyendo su éxito a este.

Desde principios de 2011, es la más grande del mundo en su rubro, dado que se encuentra integrada por más de 700.000 miembros en cerca de 170 países. La oficina central se encuentra en la localidad de Newtown Square, en la periferia de la ciudad de Filadelfia, en Pennsylvania (Estados Unidos). Sus principales objetivos son:

- Formular estándares profesionales en Gestión de Proyectos.
- Generar conocimiento a través de la investigación.
- Promover la Gestión de Proyectos como profesión a través de sus programas de certificación.

El PMI se fundó en 1969 por 40 voluntarios. Su primer seminario se celebró en Atlanta (Estados Unidos), al cual acudieron más de ochenta personas. En la década de los 70 se realizó el primer capítulo, lo que permitió realizar fuera de Estados Unidos el primer seminario. A finales de 1970, ya casi 2000 miembros formaban parte de la organización. En la década de los 80 se realizó la primera evaluación para la certificación como profesional en gestión de proyectos (PMP por sus siglas en inglés); además de esto, se implantó un código de ética para la profesión. A principios de los años 1990 se publicó la primera edición de la Guía del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), la cual se convirtió en un pilar básico para la gestión y dirección de proyectos. Ya en el año 2000, el PMI estaba integrado por más de 40.000 personas en calidad de miembros activos, 10.000 PMP certificados y casi 300.000 copias vendidas del PMBOK.

Actualmente el Project Management Institute ofrece seis tipos de certificación:



- a)** Asociado en Gestión de Proyectos Certificado (CAPM) es aquel que ha demostrado una base común de conocimientos y términos en el campo de la gestión de proyectos. Se requieren 1,500 horas de trabajo en un equipo de proyecto o 23 horas de educación formal en gestión de proyectos para conseguir esta certificación, además de un examen de 150 preguntas de las cuales 135 son válidas para el examinando y las otras 15 son preguntas de prueba del PMI «CAPM Handbook» (en inglés).
- b)** Profesional en Gestión de Proyectos (PMP) es aquel que ha experimentado una educación específica y requerimientos de experiencia, ha aceptado ceñirse a un código de conducta profesional y ha pasado un examen designado para determinar y medir objetivamente su conocimiento en gestión de proyectos. Se requieren 4,500 horas de trabajo en un equipo de proyectos y un examen de conocimientos de 200 preguntas. Adicionalmente, un PMP debe satisfacer requerimientos de certificación continuos, de lo contrario pierde la certificación.
- c)** Profesional en Gestión de Programas (PgMP) es aquel que ha experimentado una educación específica y posee vasta experiencia en dirección de proyectos y programas, también ha aceptado ceñirse al código de ética y conducta profesional del PMI. Se requieren de 8 años de experiencia de trabajo en equipos de proyectos, examen de conocimientos y entrevistas por parte del personal del PMI. Las credenciales de CAPM o del PMP no son requisitos previos para obtener la certificación de PgMP.
- d)** PMI Profesional en Programación (PMI-SP)SM
- e)** PMI Profesional en Gestión de Riesgos (PMI-RMP)SM

- f) PMI Practicante certificado de Agile (PMI-ACP) es un profesional que aplica en sus proyectos técnicas y metodologías Ágiles «PMI Agile Certified Practitioner» (en inglés).

En el 2006, el PMI reportó más de 220,000 miembros y cerca de 200,000 PMP en 175 países. Más de 40,000 certificaciones PMP expiran anualmente, ya que un PMP debe documentar experiencia en proyectos en curso y educación cada tres años.

Actualmente cuenta con más de 500000 miembros y certificados en 180 países, reconocidas mundialmente. Este Instituto tiene publicaciones mensuales que alientan la incorporación de nuevos aportes a la gestión de proyectos, reúne cada 4 años, las buenas prácticas más frecuentes en gestión de proyectos. Uno de sus productos más visibles es el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) el cual recoge el conocimiento, herramientas y técnicas que son aceptadas como las mejores prácticas para la administración de proyectos.

## **2.6. La Guía del Project Management Body of Knowledge (PMBok)**

El Pmbok es una guía de buenas prácticas, la cual puede ser retroalimentada en diferentes ediciones. Para resaltar que las buenas prácticas significan que se está de acuerdo en que su aplicación aumenta la probabilidad de éxito de un proyecto. No significa que esto deba aplicarse siempre y de la misma manera a todos los proyectos, esta puede ser mejorada de acuerdo a las necesidades.

Tiene como propósito proporcionar un vocabulario común el cual es considerado esencial en toda disciplina profesional. Es una guía útil para todos los interesados en la dirección de proyectos. El propósito de la guía del Pmbok es la aplicación de conocimientos, habilidades, procesos, procedimientos, herramientas y técnicas.

En el PMBOK se describen de manera general el subconjunto de fundamentos de la dirección de proyectos, aplicables a la mayoría de los proyectos (construcción, software, ingeniería), la mayor parte del tiempo, por lo que existe un amplio consenso sobre su valor y utilidad.

La Guía PMBOK comprende dos grandes secciones, la primera sobre los procesos y contextos de un proyecto, la segunda sobre las áreas de conocimientos específicos para la gestión de un proyecto.

El modelo propuesto por el PMI para la ejecución de proyectos plantea la aplicación de herramientas y técnicas (componentes base en la estructura seguida por el PMBOK a lo largo del ciclo de vida del proyecto), las cuales se encuentran enmarcadas en Procesos, que a su vez conforman Macro-procesos, estos Macro-procesos están conformados por: Inicio, Planificación, Ejecución, Seguimiento/Control y Cierre del Proyecto o una Fase del Proyecto.

Son 47 procesos en total, distribuidos en la siguiente tabla N°3 en los 5 Macro-procesos:

<b>Macro-Proceso</b>	<b>Cantidad Procesos que lo conforman</b>
<b>Inicio</b>	2
<b>Planificación</b>	24
<b>Ejecución</b>	8
<b>Seguimiento/Control</b>	11
<b>Cierre</b>	2

**Tabla N°3: Distribución de Macro-Procesos en un Proyecto**

Adicionalmente, en un proyecto existen una serie de aspectos o aristas a considerar, los cuales en su conjunto proporcionan una visión de 360° en la dirección del proyecto. Estos aspectos se agrupan y denominan Áreas de Conocimientos, incluyen: Integración, Alcance, Tiempo, Costo, Calidad, Recursos Humanos, Comunicación, Riesgo, Procura y Stakeholders.

El PMI en su última actualización a la norma incluyó la Atención a los Stakeholders como una nueva área de Conocimiento. En la versión anterior el manejo de los Stakeholders formaba parte del área de conocimiento "Comunicaciones".

Existe un cruce entre los Macro-procesos y las Áreas de Conocimiento, es decir, en cada Macro-proceso (Inicio, Planificación, Ejecución, Seguimiento/Control y Cierre) se encuentran aspectos relacionados con la Integración, Alcance, Tiempo, Costo, Calidad, Recursos Humanos, Comunicación, Riesgo, Procura y Stakeholders que deben ser atendidos.

### **2.6.1. Áreas de Conocimiento de la Guía del PMBoK**

PMBOK es una colección de procesos y áreas de conocimiento generalmente aceptadas como las mejores prácticas dentro de la gestión de proyectos. Las áreas de conocimiento describen el conocimiento, valga la redundancia, y la práctica de la gestión de proyectos en términos de sus procesos integrados. Estos procesos se han organizado en 9 áreas de conocimiento y 5 etapas que forman parte del ciclo de vida de un proyecto.

Las nueve áreas del conocimiento mencionadas en el PMBOK son:

#### **a) Gestión de la Integración del Proyecto:**

Incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de la

dirección de proyectos dentro de los grupos de procesos de dirección de proyectos.

- Gestión de integración del proyecto
- Acta de Constitución del Proyecto
- Planificar la Dirección del Proyecto
- Dirigir y Gestionar la Ejecución del Proyecto
- Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto
- Realizar el Control Integrado de Cambios
- Cerrar Proyecto o Fase

**b) Gestión del Alcance del Proyecto:**

Incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo requerido para completarla con éxito.

- Gestión del Alcance
- Plan de Gestión del Alcance
- Recopilar Requisitos
- Definir el Alcance
- Crear la EDT
- Validar el Alcance
- Controlar el Alcance

**c) Gestión del Tiempo del Proyecto:**

Incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo.

- Gestión del Tiempo
- Planificar la Gestión del Cronograma
- Definir las Actividades

- Secuenciar las Actividades
- Estimar los Recursos de las Actividades
- Estimar la Duración de las Actividades
- Desarrollar el Cronograma
- Controlar el Cronograma

**d) Gestión de los Costos del Proyecto:**

Incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.

- Gestión de los Costos
- Planificar la Gestión de Costos
- Estimar los Costos
- Determinar el Presupuesto
- Controlar los Costos

**e) Gestión de la Calidad del Proyecto:**

Incluye los procesos y actividades de la organización ejecutante que determinan responsabilidades, objetivos y políticas de calidad a fin de que el proyecto satisfaga las necesidades por la cuales fue emprendido.

- Gestión de la Calidad
- Plan de Gestión de Calidad
- Realizar el Aseguramiento de Calidad
- Controlar la Calidad

**f) Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto:**

Incluye los procesos que organizan, gestionan y conducen el equipo del proyecto.

- Gestión de los Recursos Humanos
- Planificar la Gestión de los Recursos Humanos
- Adquirir el Equipo del Proyecto
- Desarrollar el Equipo del Proyecto
- Dirigir el Equipo del Proyecto

**g) Gestión de las Comunicaciones del Proyecto:**

Incluye los procesos requeridos para garantizar que la generación, la recopilación, la distribución, el almacenamiento, la recuperación y la disposición final de la información del proyecto sean adecuados, oportunos y entregada a quien corresponda (interesados del proyecto o stakeholders).

- Gestión de las Comunicaciones
- Planificar la Gestión de las Comunicaciones
- Gestionar las Comunicaciones
- Controlar las Comunicaciones

**h) Gestión de los Riesgos del Proyecto:**

Incluye los procesos relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su monitoreo y control en un proyecto.

- Planificar la Gestión de Riesgos
- Identificar los Riesgos
- Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos

- Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos
- Planificar la Respuesta a los Riesgos
- Controlar los Riesgos
- Gestión de los Interesados
- Identificar a los Interesados
- Planificar la Gestión de los Interesados
- Gestionar el compromiso de los interesados
- Controlar el compromiso de los interesados

**i) Gestión de las Adquisiciones del Proyecto:**

Incluye los procesos de compra o adquisición de los productos, servicios o resultados que es necesario obtener fuera del equipo del proyecto.

- Gestión de las Adquisiciones
- Plan de Gestión de las Adquisiciones
- Efectuar las Adquisiciones
- Controlar las Adquisiciones
- Cerrar las Adquisiciones

**2.6.2. Extensión para la construcción en la 5ta edición**

Aparte de las 9 áreas de conocimiento en la extensión de la construcción se considera los siguientes puntos:

**a) Gestión de Seguridad del Proyecto:**

Todas las actividades del patrocinador o propietario del proyecto y de la organización que determinan las políticas de seguridad, objetivos y, responsabilidades, de tal manera que impidan accidentes, o que controlen una causa potencial de estos, lesiones personales, muertes o daño a la propiedad. Este ámbito de la seguridad incluye el tema de salud.



### **b) Gestión del Medio Ambiente del Proyecto:**

Todas las actividades del patrocinador o propietario del proyecto y de la organización que determinan las políticas ambientales, objetivos y responsabilidades, cuyo objetivo es reducir al mínimo el impacto sobre el medio ambiente y los recursos naturales y para operar dentro de los límites establecidos en los permisos legales.

### **c) Gestión Financiera del Proyecto:**

La gestión financiera incluye los procesos para adquirir y administrar los recursos para el proyecto y, en comparación con la gestión de costos, está más preocupada por las fuentes de ingresos y la supervisión de los flujos netos de efectivo para el proyecto de construcción que con la gestión cotidiana de los costos

### **d) Gestión de Reclamos del Proyecto:**

Describe los procesos necesarios para evitar los reclamos de la construcción, para mitigar los efectos de los que ocurren y manejar las reclamaciones rápida y eficazmente.

Los cambios en los documentos contractuales ocurren con frecuencia, y es casi común los conflictos entre las partes interesadas de un proyecto. Los reclamos se pueden ver desde dos perspectivas: la parte que formula la reclamación y la defensa en contra de ella.

## **2.7. Gestión de la Calidad**

La calidad a lo largo del tiempo ha tomado distintas perspectivas y definiciones que han ido mejorando en el transcurrir del tiempo. Como concepto básico una visión general de la calidad es un proceso de mejora y control de procesos para la obtención de un producto.

## 2.7.1. Sistemas de Gestión de Calidad

### a) Total Quality Management

Es una filosofía empresarial que se basa en la búsqueda de la satisfacción del cliente, la TQM implica una actitud por parte de la compañía en proporcionar valor agregado al producto o servicio destinado al consumidor. No solo basta que la alta dirección de una compañía de los lineamientos sobre la presentación de un producto, es necesario que transmita la filosofía del TQM hasta los niveles más bajos de la organización.

Para una adecuada gestión de la calidad se requiere de los siguientes pasos:

- **Planificación:** Inicio de toda actividad, implica el desarrollo de los procesos y productos que mejor vallan a satisfacer la necesidad del cliente. Etapas:
  - Determinar quiénes son los clientes y sus necesidades.
  - Proceder al diseño del producto o servicio teniendo en cuenta los resultados de la fase anterior en lo que a determinación de sus fases se refiere.
  - Llevar a cabo los procesos adecuados para lograr las características del producto que se hayan fijado en la etapa de diseño anterior.
  
- **Control de la calidad:** Evaluarlas desviaciones en calidad y tomar medidas necesarias para la corrección de dichas desviaciones.
  
- **Mejorar la calidad:** Es una actividad sistemática y organizada que trata de mejorar las deficiencias encontradas en la etapa de

planificación, para poder así elevar las cotas de calidad en futuras planificaciones. Los objetivos que se plantean cumplir son:

- Establecimiento de una infraestructura capaz de asegurar mejoras en el sistema de calidad.
- Elaboración de los proyecto de mejora: identificación y selección de las mejoras de calidad prioritarias y más significativas.
- Designación, formación y motivación del equipo de personas responsable de los proyectos de mejora.

### **b) Seis Sigma**

SEIS SIGMA es una metodología de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallos en la entrega de un producto o servicio al cliente. La meta de 6 Sigma es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente.

Seis sigma utiliza herramientas estadísticas para la caracterización y el estudio de los procesos, de ahí el nombre de la herramienta, ya que sigma es la desviación típica que da una idea de la variabilidad en un proceso y el objetivo de la metodología seis sigma es reducir ésta de modo que el proceso se encuentre siempre dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente.

### **c) Deming**

A diferencia de otros consultores y gurús de la administración, Deming nunca definió ni describió la calidad de manera precisa. Él la describe como:

“Un producto o servicio tiene calidad si ayuda a alguien y goza de un mercado sustentable”. Desde el punto de vista de Deming, la variación es la principal culpable de la mala calidad. En los ensambles mecánicos, por ejemplo, las variaciones en las especificaciones de las dimensiones de las partes dan lugar a un desempeño inconsistente y desgaste y fallas prematuras. De manera similar, las inconsistencias en el comportamiento humano en los servicios frustran a los clientes y afectan la reputación en las empresas. Para lograr una reducción en la variación, Deming recurrió a un ciclo permanente que consta de: diseño del producto o servicio, manufactura o prestación del servicio, pruebas y ventas, seguido por estudios de mercado y luego rediseño y mejora. Afirmando que una calidad más alta lleva a una mejor productividad que, a su vez, da lugar a una fuerza competitiva a largo plazo. Deming expuso la reacción en cadena que se describe a continuación: Mejor calidad Reducción de costos gracias a una disminución de reproceso, errores y demoras, así como, a un mejor uso del tiempo y el material La filosofía de Deming sufrió muchos cambios, puesto que el mismo siguió aprendiendo. En sus primeros trabajos en Estados Unidos, enseñó sus “14 puntos” los cuales provocaron cierta confusión y malos entendidos entre los empresarios, porque Deming no explicó con claridad sus razones. Sin embargo casi al final de su vida, resumió las bases subyacentes en lo que llamo “un sistema de profundos conocimientos”. El entendimiento de los elementos de este “sistema” ofrece las perspectivas críticas necesarias para diseñar prácticas administrativas eficaces y tomar decisiones en el complejo ambiente de negocios de hoy en día. Los 14 puntos de Deming:

- 1) Crear y dar a conocer a todos los empleados una declaración de los objetivos y propósitos de la empresa. La administración debe demostrar en forma constante su compromiso con esta declaración.
- 2) Aprender la nueva filosofía, desde los altos ejecutivos hasta las bases de la empresa.

- 3) Entender el propósito de la inspección, para la mejora de los procesos y reducción de los costos.
- 4) Terminar con la práctica de premiar los negocios basándose únicamente en el precio.
- 5) Mejorar el sistema de producción y servicio en forma continua y permanente.
- 6) Instituir la capacitación y el entrenamiento.
- 7) Aprender e instituir el liderazgo.
- 8) Eliminar el temor. Crear confianza. Crear el ambiente adecuado para la innovación.
- 9) Optimizar los procesos en busca del logro de los objetivos y propósitos de la empresa mediante el esfuerzo de equipos, grupos y áreas de personal. Mejora de la Productividad Captación de mercado con mayor calidad y menor precio Permanencia en el negocio Crecimiento de más empleos cada vez.
- 10) Eliminar las exhortaciones (instigaciones) en la fuerza laboral.
- 11) A) Eliminar las cuotas numéricas para la producción, en cambio, aprende a instituir métodos para mejora. B) Eliminar la administración por objetivos y en vez de ella aprender las capacidades de los procesos y como mejorarlos.
- 12) Eliminar las barreras que evitan que las personas se sientan orgullosas de su trabajo.
- 13) Fomentar la educación y la automejora en cada persona.
- 14) Aprender acciones para lograr la transformación. El sistema de conocimientos profundos de Deming consiste en 4 partes relacionadas entre sí 1. Valoración del sistema 2. Comprensión de la variación 3. Teoría del conocimiento 4. Psicología.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Evans, James y Lindsay, William (2005), Administración y Control de la Calidad

## **2.7.2. Norma ISO 9001**

La Norma ISO 9001:2008 hecha por la Organización Internacional para la Estandarización(ISO), determina los requisitos básicos para un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), que pueden utilizarse internamente para su aplicación en las organizaciones, sin importar si el producto o servicio lo brinda una organización pública o empresa privada, cualquiera que sea su tamaño, para su certificación o con fines contractuales.

Dependiendo del país, puede denominarse la misma norma "ISO 9001" de diferente forma agregándose la denominación del organismo que la representan dentro del país: UNE-EN-ISO 9001:2008 (España), IRAM-ISO 9001:2008, etc., acompañada del año de la última actualización de la norma.

- ISO 9001: Contiene los requisitos del modelo de gestión.
- ISO 9004: Contiene a la antigua ISO 9001, y además amplía cada uno de los puntos con más explicaciones y casos, e invita a los implantadores a ir más allá de los requisitos con nuevas ideas, ésta apunta a eficiencia del sistema.
- ISO 19011 en su nueva versión 2011: explica los requisitos para realizar las auditorías de un sistema de gestión ISO 9001 y también para el sistema de gestión medioambiental establecido en ISO 14001.

### **2.7.2.1. Estructura de ISO 9001:2008**

**a) Capítulo 1 al 3:** Guías y descripciones generales.

**b) Capítulo 4 Sistema de gestión:** contiene los requisitos generales y los requisitos para gestionar la documentación.

- c) **Capítulo 5 Responsabilidades de la Dirección:** contiene los requisitos que debe cumplir la dirección de la organización, tales como definir la política, asegurar que las responsabilidades y autoridades están definidas, aprobar objetivos, el compromiso de la dirección con la calidad, etc.
  
- d) **Capítulo 6 Gestión de los recursos:** la Norma distingue 3 tipos de recursos sobre los cuales se debe actuar: RRHH, infraestructura, y ambiente de trabajo. Aquí se contienen los requisitos exigidos en su gestión.
  
- e) **Capítulo 7 Realización del producto/servicio:** Aquí están contenidos los requisitos puramente de lo que se produce o brinda como servicio (la norma incluye servicio cuando denomina "producto"), desde la atención al cliente, hasta la entrega del producto o el servicio.
  
- f) **Capítulo 8 Medición, análisis y mejora:** Aquí se sitúan los requisitos para los procesos que recopilan información, la analizan, y que actúan en consecuencia. El objetivo es mejorar continuamente la capacidad de la organización para suministrar productos y/o servicios que cumplan con los requisitos. El objetivo declarado en la Norma, es que la organización busque sin descanso la satisfacción del cliente a través del cumplimiento de los requisitos.
  
- g) **ISO9001:2008:** tiene muchas semejanzas con el famoso "PDCA": acrónimo de Plan Do Check, Act( Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). La norma está estructurada en cuatro grandes bloques, completamente lógicos, y esto significa que con el modelo de sistema de gestión de calidad basado en ISO se puede desarrollar en cualquier actividad, sin importar si el producto o servicio lo brinda una organización pública o privada, cualquiera que sea su tamaño.

## 2.8. Casos de Proyectos de Interés:

### 2.8.1. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (Conferencia Internacional de Túneles y Desarrollo del Espacio Subterráneo 2014 – Expositor: Patricio Romero, Skava S.A Chile)

#### a) Características del Proyecto:

- Proyecto competitivo en comparación con otras alternativas
- Bajo impacto ambiental
- No considera embalses
- No se requiere relocalización de población
- Más del 90% de las obras son subterráneas
- Caudal ecológico en las cuencas de acuerdo a la regulación ambiental y sectorial

#### b) Características Técnicas del Proyecto:

A continuación se muestra la tabla N°4, con las características técnicas:

	Alfalfal II	Las Lajas
Potencia Instalada (MW)	264	267
Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /s)	27	65
Caudal promedio turbinado (m <sup>3</sup> /s)	13,4 (50%)	34,2 (53%)
Altura neta de caída (m)	1.150	486
Longitud de túneles (km)	39	28
Energía promedio Anual generada (GWh/año)	1.184	1.281
Sistema de Transmisión 220 – 110 kV	9 km	8 km



## Equipamiento Electromecánico

	Alfalfal II	Las Lajas
Número de unidades	2	2
Tipo de turbinas	Pelton	Pelton
Número de inyectores	5	6
Velocidad (rpm)	600	300
Generador (MVA)	162	154
Voltaje del Generador (kV)	15	15
Transformadores (MVA)	170	163
Voltaje de transmisión (kV)	15/220	15/110

**Tabla N°4: Características Técnica del Proyecto Alto Maipo**

### c) Obras Subterráneas:

Las Obras Incluyen:

- 67 Km de túneles
- 3 túneles principales
- Dos Cavernas de Maquinas
- Piques de Presión
- Chimeneas de Equilibrio
- Túneles largos sin accesos intermedios
- Gran distancia entre cada extremo
- Diferentes condiciones en terreno (Actividades a 2.500 y 800 msnm)
- Frente de Trabajo aislados
- Amplia gama de condiciones geológicas
- Complejidad tecnológica – centrales de gran altura de caída
- Restricciones ambientales

#### **d) Obras Superficiales:**

Las Obras Incluyen:

- 5 Bocatomas
- Acueductos
- 17 kilómetros de líneas de alta tensión en 110 kV y 220 kV.
- Caminos y Puentes (40 Km aprox.)

#### **e) Criterio de Diseño Hidráulico:**

Túneles de agua a presión sin revestimiento por consideraciones hidráulicas.

- Velocidad media menor a 2m/s

Bocatomas:

- Periodo de retorno de 100 años
- Medición de caudal desviado y caudal ecológico
- Dispositivos para asegurar el paso del caudal ecológico
- Información en línea de los caudales

Control de Sedimentos

Chimeneas de Equilibrio

- Absorbe las oscilaciones de flujo en las situaciones más desfavorables

#### **f) Criterio de Diseño de los Túneles:**

- Considera el macizo rocoso como un elemento de soporte.
- Se realizaron estudios geológicos y geotécnicos para llegar a la mejor estimación para el comportamiento de la roca, la caracterización de las

condiciones del macizo rocoso, así como las estructuras, presencia de agua, sobrecarga, entre otros.

- A partir de esto se estima la fortificación necesaria.
- Se consideran sondajes exploratorios sistemáticos en el frente de excavación.
- Si es necesario, se utilizará grouting para estabilizar el macizo rocoso antes de la excavación.
- Para evaluar la estabilidad del macizo en el largo plazo, se realizarán ensayos y monitoreo detrás del frente de excavación

#### **g) Esquema de Contrato para las Obras Subterráneas:**

- El Método Noruego de Tunelería.
- Más de 5.000 km de túneles han sido construidos sin conflictos significativos en Noruega.
- Principio: el Mandante es responsable de los riesgos geológicos / subterráneos, incluyendo los sobrecostos y retrasos en el programa.
- El Contratista toma los riesgos de la construcción y la responsabilidad por la seguridad de durante la construcción
- El Contratista define el soporte inicial
- Propietario define el soporte final.
- Sistema Precio Unitario
- Tiempo equivalentes

#### **h) Ventaja del Esquema de Contrato:**

- Precio fijo para los elementos que no tienen relación con la variación geológicas
- Mitigar el riesgo de sobrecostos relacionados con la geología a través del uso de los precios unitarios fijos
- Asignar el riesgo a la parte mejor posicionada para tomarlo
- Minimizar el riesgo de reclamos

**2.8.2. Túnel de Aducción de la Central Hidroeléctrica Chaglla  
(Conferencia Internacional de Túneles y Desarrollo del Espacio  
Subterráneo 2014 – Expositor: Ing. Iván Moreno Cuneo,  
Odebrecht Perú):**

**a) Introducción:**

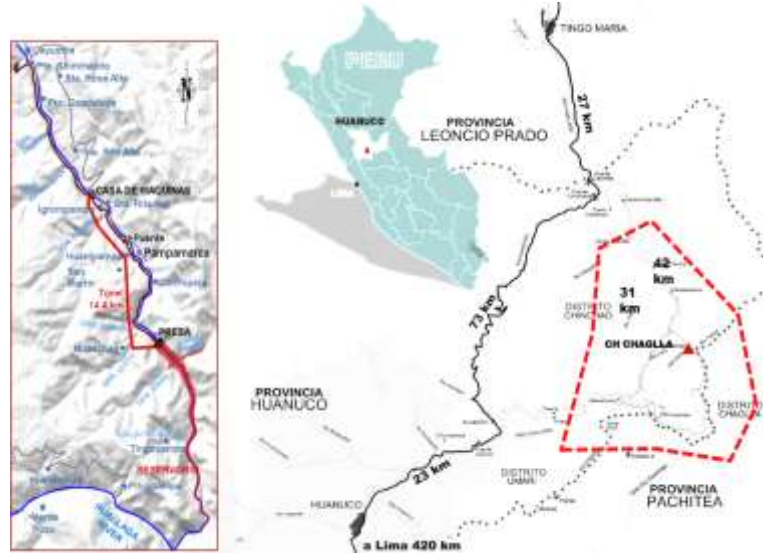
Odebrecht Infraestructura estuvo a cargo de la construcción de la C.H. Chaglla. Este proyecto se desarrolla con inversión 100% privada estimada en US\$ 1,200 millones. Su potencia instalada será de 456 megawatts (MW) y 2,749.19 Gwh / año.

La obra comprende la construcción y puesta en operación de la Central Generadora Principal, que albergará 2 unidades con una capacidad de 225 MW cada una; la construcción y puesta en operación de la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) de 6 MW al pie de la presa; y la construcción de la Línea de Transmisión de 220 kV que proveerá la energía generada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

La hidroeléctrica es alimentada por las aguas del río Huallaga. El avance físico económico de la obra es del 78.8 % acumulado al mes de Junio 2014. Actualmente emplea, de forma directa a tres mil cuarenta y nueve personas.

**b) Ubicación:**

A continuación en el gráfico N°7, se muestra la ubicación donde se encuentra ubicado el proyecto hidroeléctrico Chaglla



**Gráfico N°7: Ubicación del Proyecto Chaglla**

**c) Descripción General del Proyecto:**

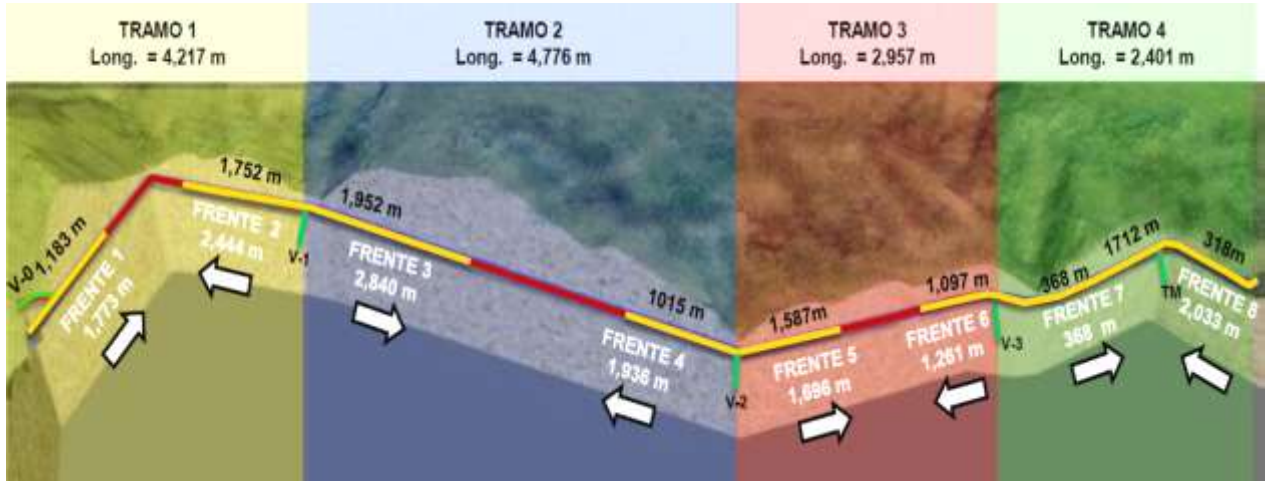
A continuación en el gráfico N°8, se muestra las características generales del proyecto Chaglla.



**Gráfico N°8: Características Generales del Proyecto Chaglla**

**d) Túnel de Aducción:**

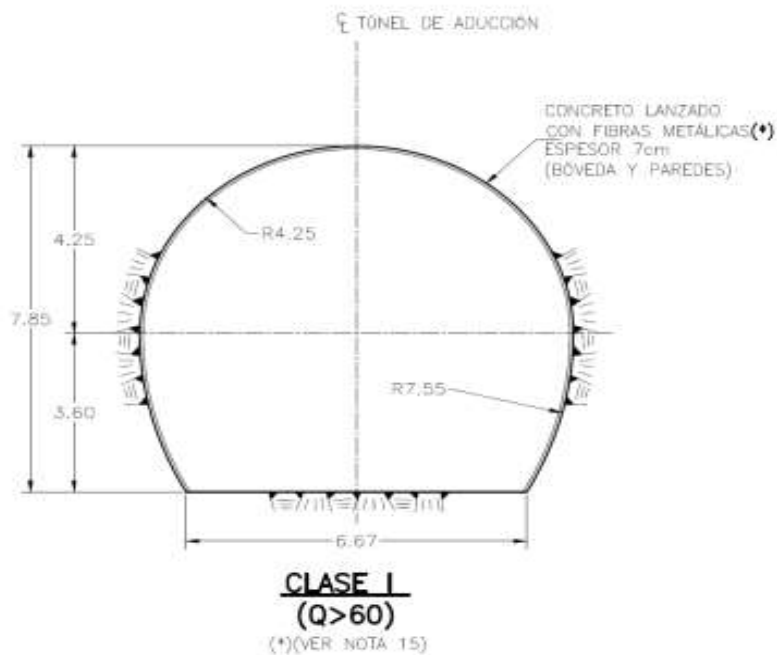
A continuación se muestra el gráfico N°9, con características del túnel.



**Gráfico N°9: Características del Túnel de Aducción - Proyecto Chaglla**

**e) Sostenimiento en Túnel de Aducción:**

A continuación se muestra el Gráfico N°10 y la Tabla N°5, con datos del sostenimiento del túnel de aducción:



**Gráfico N°10: Sostenimiento del Túnel para Roca Tipo I**

TÚNEL DE ADUCCIÓN - PROGRESIVAS DE LOS TRAMOS SEGÚN LA COBERTURA VERTICAL DEL TÚNEL					
	Cobertura (H)		Longitud (m)		
	H < 400m	H > 400m	H < 400m	H > 400m	Total
Frente 1	0 + 126,43 até 0 + 622,00		831,57 (44%)	1.042,00 (56%)	1,873.57
		0 + 622,00 até 1 + 664,00			
	1 + 664,00 até 2 + 0,00				
Frente 2	2 + 0,00 até 3 + 462,00		2.223,86 (95%)	120,00 (5%)	2,343.86
		3 + 462,00 até 3 + 582,00			
	3 + 582,00 até 4 + 343,86				
Frente 3	4 + 343,86 até 4 + 644,00		300,14 (12%)	2.283,86 (88%)	2,584.00
		4 + 644,00 até 6 + 927,86			
Frente 4		6 + 927,86 até 8 + 355,00	745,76 (34%)	1.427,14 (66%)	2,172.90
	8 + 355,00 até 9 + 100,76				
Frente 5	9 + 100,76 até 10 + 755,76		1.655,00 (100%)		1,655.00
Frente 6	10 + 755,76 até 12 + 313,52		1.557,76 (100%)		1,557.76
Frente 7	12 + 313,52 até 12 + 646,00		389,40 (29%)	948,00 (71%)	1,337.40
		12 + 646,00 até 13 + 594,00			
	13 + 594,00 até 13 + 650,92				
Frente 8	13 + 650,92 até 14 + 478,04		827,12 (100%)		827.12
<b>Total</b>	<b>8.530,61 (59%)</b>	<b>5.821,00 (41%)</b>	<b>8,530.61</b>	<b>5,821.00</b>	<b>14,351.61</b>

**Tabla N°5: Progresivas para el Túnel de Aducción – Proyecto Chaglla**

## 2.9. Formulación de Hipótesis

### 2.9.1. Hipótesis General

Planteando una propuesta de Gestión de Calidad en túneles, se mantendrá un adecuado proceso de Lanzado de Shotcrete mediante el uso de la guía del PMBoK.

### 2.9.2. Hipótesis Específico 1

Aplicando la guía del PMBoK en los Procesos Constructivos se logrará mitigar las deficiencias y fallas del Proceso de Shotcreteado.

### 2.9.3. Hipótesis Específico 2

Evaluando los procesos de Planificación y Aseguramiento de la Calidad en túneles, se logrará mitigar las causas que provocan un mal control de Shotcreteado.

### 2.9.4. Variables y Definición Conceptual

A continuación se presenta la tabla N°6, con las variables de la investigación, así como su definición conceptual.

Hipótesis	Variables	Definición
<b>Hipótesis General</b> Planteando una propuesta de Gestión de Calidad en túneles, se mantendrá un adecuado proceso de Lanzado de Shotcrete mediante el uso de la guía del PMBoK.	V.I: Gestión de Calidad	Conjunto de normas correspondientes a una organización, vinculadas entre sí, cuya misión siempre estará enfocada hacia la mejora continua.
	V.D: Lanzado de Shotcrete	Concreto Proyectado mediante aire a presión, y su uso es para sostenimiento en túneles.
<b>Hipótesis Específico 1</b> Aplicando la guía del PMBoK en los Procesos Constructivos se logrará mitigar las deficiencias y fallas del Proceso de Shotcreteado.	V.I: Procesos Constructivos	Procedimientos usados por cada etapa constructiva, definidos en las especificaciones técnicas del proyecto.
	V.D: Proceso de Shotcreteado	Procesos ligados a la etapa del lanzado de Shotcrete, que son la mano de obra, maquinarias y materiales.
<b>Hipótesis Específico 2</b> Evaluando los procesos de Planificación y Aseguramiento de la Calidad en túneles, se logrará mitigar las causas que provocan un mal control de Shotcreteado.	V.I: Planificación y Aseguramiento de la Calidad	Planificación: Donde se definen las características de los entregables (resultados de los procesos) y las normativas correspondientes. Aseguramiento: Es donde se define de qué forma se traspa la información a los involucrados para obtener una mejora continua.
	V.D: Control de Shotcreteado	Proceso por el cual se realiza un seguimiento o monitoreo a las actividades relacionadas con el Shotcreteado.

**Tabla N°6: Variables y Definición Conceptual**



### 2.9.5. Operacionalización de las Variables

A continuación se presenta la tabla N°7 con la Operacionalización de las variables.

Hipótesis	Variables	Indicador	Dimensión
<b>Hipótesis General</b> Planteando una propuesta de Gestión de Calidad en túneles, se mantendrá un adecuado proceso de Lanzado de Shotcrete mediante el uso de la guía del PMBoK.	V.I: Gestión de Calidad	PMBOK, Diagrama de Ishikawa	Flujogramas, análisis de causa raíz
	V.D: Lanzado de Shotcrete	Procedimientos	%, m3, \$, TIEMPO
<b>Hipótesis Especifico 1</b> Aplicando la guía del PMBoK en los Procesos Constructivos se logrará mitigar las deficiencias y fallas del Proceso de Shotcreteado.	V.I: Procesos constructivos	Limpieza, geología, presión.	Descripción
	V.D: Proceso de Shotcreteado	Procedimientos	%, m3
<b>Hipótesis Especifico 2</b> Evaluando los procesos de Planificación y Aseguramiento de la Calidad en túneles, se logrará mitigar las causas que provocan un mal control de Shotcreteado.	V.I: Planificación y Aseguramiento de la Calidad	Normas aplicables, auditorias, planos.	N°
	V.D: Control de Shotcreteado	Ensayos de rotura, ensayos de espesores, ensayos de vacíos.	N°, Protocolos

**Tabla N°7: Operacionalización de las Variables**

En el anexo N°1 se puede observar la matriz de consistencia.

### **3. CAPITULO III: CASO DE APLICACIÓN – PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEVES**

#### **3.1. Descripción General del Proyecto**

El proyecto considera el aprovechamiento hídrico de los ríos Huaura y Checras a través de un barraje sobre el río Huaura que derivará el agua por un túnel de aproximadamente 2,5 km hasta el río Checras. En el cauce de este se construirá una presa, que embalsará las aguas derivadas del río Huaura y las propias del río Checras.

Las aguas embalsadas serán conducidas a través de un túnel de aproximadamente 9,6 km hasta la casa de máquinas en caverna donde se generara una potencia de 168 MW y 761,86 GWh/año con dos turbinas de tipo Pelton, de 16,5 m<sup>3</sup>/s de capacidad, y 585 m de caída neta.

Las aguas turbinadas serán devueltas al río Huaura por un túnel de 3,2 km de longitud hacia la zona de Picunche. Unos metros aguas arriba de la confluencia del río Huaura con la quebrada Picunche se construirá un embalse de regulación sobre el cauce del río Huaura, aguas debajo de la descarga de las aguas turbinadas. Este embalse entregará en época de estiaje, un caudal que garantice las demandas de riego del valle En Sayán.

#### **3.2. Componentes Principales del Proyecto**

El Proyecto Hidroeléctrico Cheves consta de 8 componentes principales que son:

1. Toma Huaura
2. Túnel de Transferencia
3. Presa Checras
4. Túnel de Conducción con Chimenea de Equilibrio
5. Casa de Maquinas con Unidades de Generación

6. Túnel de Descarga
7. Reservorio de Compensación Picunche
8. Línea de Transmisión

Los 8 componentes principales del proyecto se encuentran distribuidos en el siguiente Grafico N°11:



**Gráfico N°11: Principales Componentes del Proyecto Cheves**

### **3.3. Características Técnicas del Proyecto**

#### **3.3.1. Toma de Huaura:**

La Toma de Huaura es una presa de concreto ubicada en el río Huaura, compuesta de una sección de rebose libre en la margen derecha, una sección con compuertas cerca de la margen izquierda, con dos (2) compuertas radiales, para facilitar la evacuación de sedimentos en la temporada de avenidas. La bocatoma está ubicada en la margen izquierda con una rejilla gruesa en la parte frontal.

El solado de la bocatoma está ubicado a 2.5 m sobre el nivel de los canales de limpia adyacentes para impedir el ingreso de sólidos. La bocatoma ha sido diseñada para un caudal de 20 m<sup>3</sup>/s. Inmediatamente aguas abajo de la bocatoma se ubican dos compuertas deslizantes que controlan el caudal a una cámara desgravadora en la margen izquierda de la presa.

La cámara está equipada con una compuerta deslizante para evacuar los sedimentos al río a través de una cuneta de concreto. En el extremo de la cámara al ingreso del túnel se ha instalado una rejilla y un limpiador de rejillas.

Se ha instalado protección contra la erosión inmediatamente aguas abajo y aguas arriba de la presa mediante una losa de concreto (solo aguas abajo) y empedrado.

A continuación se muestra la foto N°6, donde se refleja la presa Huaura ya culminada.



**Foto N°6: Presa Huaura – Proyecto Cheves**

### **3.3.2. Túnel de Transferencia:**

El túnel de transferencia se inicia con un solado en la cota 2167.5 msnm. Es un túnel a pelo libre de 2530 m de longitud y 15.9 m<sup>2</sup> de sección transversal. El túnel fue construido principalmente desde el extremo aguas abajo para facilitar el drenaje durante los trabajos de excavación y debido a la roca de mala calidad en el extremo aguas arriba.

La salida del túnel está ubicada en un talud rocoso en la margen derecha del reservorio y está equipada con una compuerta deslizante que normalmente estará en posición abierta, salvo cuando se realice la descarga del reservorio Checra y se conduzca agua directamente de Huaura al desarenador.

Se ha instalado un aliviadero lateral al final del túnel para ser utilizado durante la descarga del reservorio y cuando la compuerta del túnel esté en posición cerrada. El caudal es conducido a un canal de concreto, que conecta a una cuneta a través del cuerpo de la presa, y descargado al frente de las cámaras del desarenador de la bocatoma Checra.

A continuación se muestra la foto N°7, donde se refleja la entrada al túnel de transferencia.



**Foto N°7: Entrada del Túnel de Transferencia – Proyecto Cheves**

### **3.3.3. Presa de Checras:**

La Presa Checras es una presa de concreto en el río Checras, cuyo lecho se encuentra en la cota 2149 msnm. Tres compuertas radiales se ubican en la margen izquierda de la presa, adyacente a la bocatoma, para la descarga del reservorio. Se ha instalado una compuerta abatible a la mano izquierda de las compuertas de limpia, adyacente a un vertedero de demasías fijo.

Aguas arriba de la presa y bocatoma se ha instalado un muro de tablestacas, anclado en el terreno, para facilitar la excavación y reducir las filtraciones por debajo de la presa.

En la parte central de la sección transversal de la presa se ha instalado una cuneta de concreto para conducir el agua a baja presión desde el río Huaura durante la operación de descarga del reservorio Checras.

El lecho del río aguas abajo ha sido protegido contra la erosión mediante una losa de concreto y empedrado. También se ha utilizado protección contra la erosión utilizando empedrado aguas arriba de la presa. Adicionalmente, se ha instalado protección contra la erosión a ambos lados del reservorio. El Nivel de Agua Máximo del reservorio es 2168 msnm, la misma cota de la cresta del vertedero. El Nivel de Agua Mínimo es de 2159 msnm, alcanzándose así un volumen útil de almacenamiento de 616,000 m<sup>3</sup>.

El ancho del puente en la cresta de la presa permite el paso de pequeños vehículos para los trabajos de mantenimiento. A continuación se muestra la foto N°8, donde se refleja la presa Checras ya culminada.



**Foto N°8: Presa Checras – Proyecto Cheves**

#### **3.3.4. Túnel de Conducción:**

El Túnel de conducción tiene 9800 m de longitud y una chimenea de equilibrio de 700 m de longitud. Los últimos 100 m del túnel tiene revestimiento de acero con dos tuberías metálicas de 2.0 m que conducen a las turbinas Pelton que tienen un diámetro de 2.84m.



Aproximadamente en la progresiva 5700 m, una ventana intermedia (Ventana 1) de 900 m de longitud conecta con el túnel de aducción. La Ventana 1 se inicia en la cota 2007.5 m y asciende hasta la cota 2090 msnm cuando se conecta al túnel de aducción. El túnel de aducción es casi horizontal (1% de inclinación) aguas arriba de la Ventana 1 e inclinado (14%) aguas abajo.

Una chimenea de equilibrio se bifurca del túnel de aducción a una distancia de aproximadamente 3940 m aguas arriba del revestimiento metálico.

El túnel de conducción está diseñado con un solado de concreto. En el extremo aguas abajo del túnel de conducción, justo frente al revestimiento metálico, se ha excavado una trampa de roca para atrapar los fragmentos de roca/piedra que puedan desprenderse de la superficie del túnel.

Se ha instalado un mamparo de alta presión en el túnel de conducción, con una escotilla que permite el acceso para inspección y mantenimiento. El drenado del túnel de conducción y la chimenea de equilibrio se realizará a través de las turbinas. Se muestra a continuación la foto N°9, donde se refleja el túnel de conducción.



**Foto N°9: Túnel de Conducción – Proyecto Cheves**



### **3.3.5. Casa de Máquinas y Caverna de Transformadores:**

La casa de máquinas está ubicada en una caverna subterránea con las siguientes dimensiones  $W \times H \times L = 15.5 \times 31.5 \times 60$  m.

La casa de máquinas está equipada con dos turbinas Pelton con una potencia nominal de 168 MW (84 MW cada una) con una descarga nominal de  $2 \times 16.5$  m<sup>3</sup> y una caída bruta de 602 m. La producción anual promedio es de 818 GWh. La distancia entre las dos turbinas es de 20 m.

El túnel de acceso ingresa de manera perpendicular al eje longitudinal de la caverna. En un extremo de la caverna, a poca distancia del ingreso del túnel de acceso se ha dispuesto una sección para la sala de control, incluyendo una sala de rescate de emergencia.

El aire para la ventilación y aire acondicionado proviene del túnel de descarga y es evacuado a través del túnel de acceso. Se ha instalado una compuerta hermética en el túnel de construcción entre el túnel de acceso y el túnel de descarga.

La caverna de transformadores está ubicada en paralelo a la casa de máquinas, aproximadamente 20 m de la caverna principal y al mismo nivel que el piso de la sala de máquinas. Ésta contiene 2 transformadores trifásicos y la subestación aislada en SF<sub>6</sub>.

El acceso a la caverna de transformadores se obtiene a través de una bifurcación del túnel de acceso. El tendido de los cables de los generadores a la caverna es a través de dos túneles independientes desde la caverna de la casa de máquinas. A continuación se muestra la foto N°10, donde se refleja la casa de máquinas.



**Foto N°10: Casa de Máquinas – Proyecto Cheves**

### **3.3.6. Túnel de Descarga:**

El túnel de descarga trabajará a pelo libre. Sus dimensiones son  $W \times H = 4.8 \times 5.7$  m, con una longitud de 3350 m y un solado de concreto en los primeros 500 m aguas abajo de la casa de máquinas.

El túnel cruza por debajo de la quebrada Paccho. La estructura de salida se ubica por debajo de la vía Sayán-Churín.

### **3.3.7. Reservorio de Compensación Picunche:**

El objetivo del reservorio de compensación Picunche es recrear un régimen de caudal natural en el río aguas abajo de la central eléctrica Cheves. El reservorio está ubicado inmediatamente aguas arriba de la confluencia de la quebrada Picunche con el río Huaura. Se trata de una presa de aproximadamente 155 m de longitud y 11 m de altura, equipada con tres compuertas radiales para la limpieza y descarga de caudal y dos compuertas deslizantes para la descarga de caudal del reservorio. A continuación se muestra la foto N°11, donde se refleja el reservorio.



**Foto N°11: Reservorio de Compensación de Picunche**

### **3.3.8. Sistema de Transmisión de 220kV:**

Una línea de transmisión en 220 kV que conecta la Casa de Máquinas con la Subestación Huacho. A continuación se muestra la foto N°12, donde se muestra las torres y líneas de transmisión.



**Foto N°12: Torres y Líneas de Transmisión – Proyecto Cheves**

### 3.3.9. Sistema de Transmisión Interno de 13.8kV:

Una línea de transmisión en 13.8kV que conecta la Casa de Máquinas con las Presas Checra y Picunche.

### 3.3.10. Hidrología:

Los datos hidráulicos para el proyecto son como se indica a continuación en la tabla N°8:

Zona	Área de Captación (Km <sup>2</sup> )	Caudal Anual Medio (m <sup>3</sup> /s)
Huaura	890	10.20
Checra	820	11.65
<b>TOTAL</b>	<b>1710 Km<sup>2</sup></b>	<b>21.85 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabla N°8: Datos Hidráulicos del Proyecto Cheves

### 3.4. Contratos de Construcción

A continuación se muestra la tabla N°9 donde se indica los diferentes contratos que se tuvieron en el Proyecto Cheves así como sus respectivos contratistas y sus actividades en cada etapa constructiva del proyecto.

CONTRATO	CONTRATISTA	ALCANCE	ESTRUCTURAS
<b>OBRAS CIVILES</b>	CONSTRUCTORA CHEVES conformada por: HOCHTIEF (Alemania) TECSA (Chile) ICCGSA (Perú)	Obras Civiles (Diseño por el Propietario).	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presa &amp; Tomas</li><li>• Túneles</li></ul>
<b>ELECTROMECAÁNICO</b>	Conformado por: ABB – RAINPOWER - JEUMONT	Diseño, Procura, Fabricación y Transporte a Callao Transporte Interno, Montaje, Pruebas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• ABB: Generador, Transformador</li><li>• RAINPOWER: Turbinas</li><li>• JEUMONT. Equipos Eléctricos</li></ul>

<b>OBRAS HIDROMECÁNICAS</b>	CEMPRO TECH	Diseño, Procura, Fabricación, Transporte Interno, Montaje, Pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compuertas para Presas y Tomas</li> </ul>
<b>OBRAS DE TRANSMISION</b>	ABENGOA PERU	Diseño, Procura, Fabricación, Transporte Interno, Montaje, Pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea Transmisión 220 kV, 75 Km.</li> <li>• Obras de Conexión a la SE Huacho</li> </ul>
<b>INGENIERO</b>	NORCONSULT PERU	Desarrollo y Diseño de Obras Civiles para Construcción y Supervisión de las Obras.	-

**Tabla N°9: Contratos de Construcción del Proyecto Cheves**

### **3.5. Organización General del Proyecto Cheves**

A continuación se muestra el Grafico N°12, donde se muestra la organización general del Proyecto Cheves, que incluye la empresa Empleadora (SN Power), la empresa de Ingeniería y Diseño (Norconsult) y los diferentes Contratistas del Proyecto.

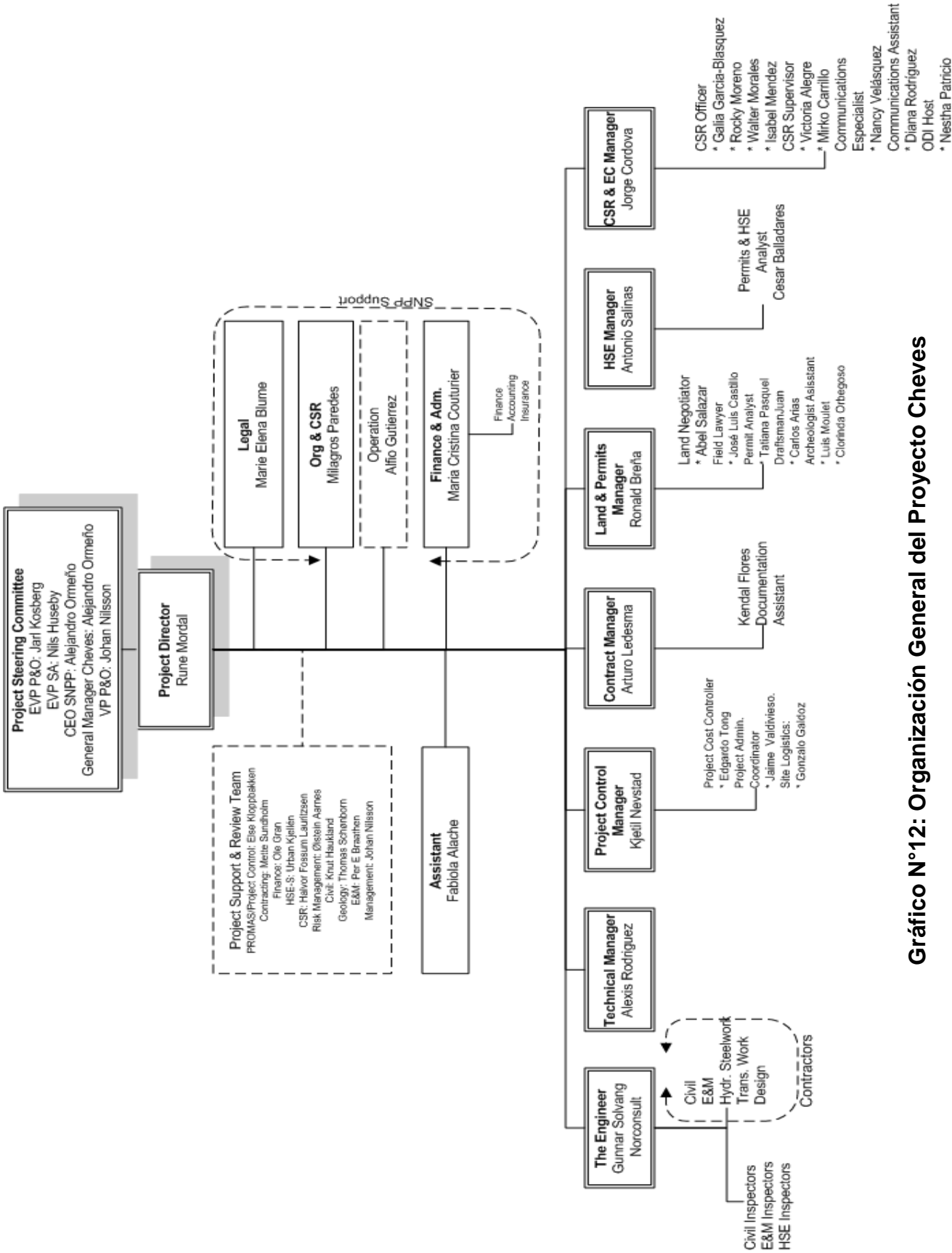


Gráfico N°12: Organización General del Proyecto Cheves

### 3.6. Caso de Estudio: Túnel de Conducción

El túnel de conducción cuenta con una longitud de 9800m y un área de sección de túnel de 22.6m<sup>2</sup> (Aguas Arriba) y 30.1m<sup>2</sup> (Aguas abajo), y en todo su tramo cuenta con una losa de concreto, a continuación en la tabla N°10 se muestra con más detalle algunas de las características de este túnel.

Túnel de Conducción - Secciones					
Secciones	Punto de Referencia Inicial	Punto de Referencia Final	Longitud (m)	Área de Sección (m <sup>2</sup> )	Inclinación (%)
Parte 1	H 01	H 18	5,668	22.6	-0.5
Parte 2	H 18	H 20	376	30.1	-0.5
Parte 3	H 20	H 29	3,718	30.1	-14
Parte 4	H 29	H 31	101	-	-0.3 / 14

Tabla N°10: Longitud y Sección del Túnel de Conducción

En la Tabla N°10, se observa que el Túnel de Conducción se ha dividido en Partes, desde el 1 hasta el 4, las cuales tienen diferentes longitudes y áreas de sección del túnel, por lo que para el caso de estudio de la presente tesis se ha tomado un tramo de la Parte 1 (resaltado de amarillo). En el siguiente Gráfico N°13, se muestra las dimensiones y la sección del Túnel de Conducción en el Tramo Parte 1.

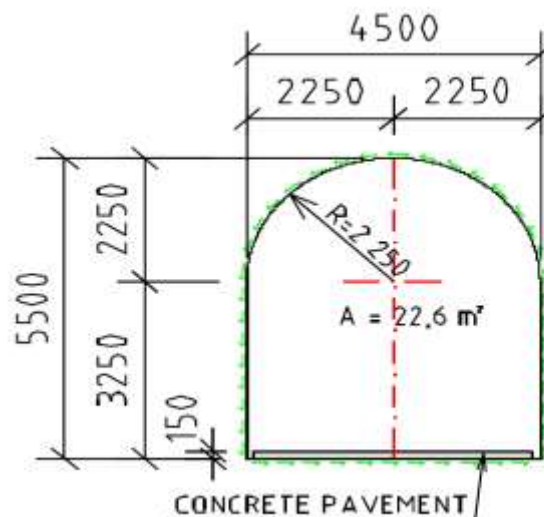


Gráfico N°13: Dimensión y Sección del Túnel de Conducción

En la Tabla N°10 También se observa puntos de referencia iniciales y Finales como H 01 hasta H 18, que son puntos localizados en los avances de los túneles que son tomados como referenciales para las etapas de construcción de las mismas, estos puntos referenciales se pueden observar con más detalle en el siguiente Grafico N°14.



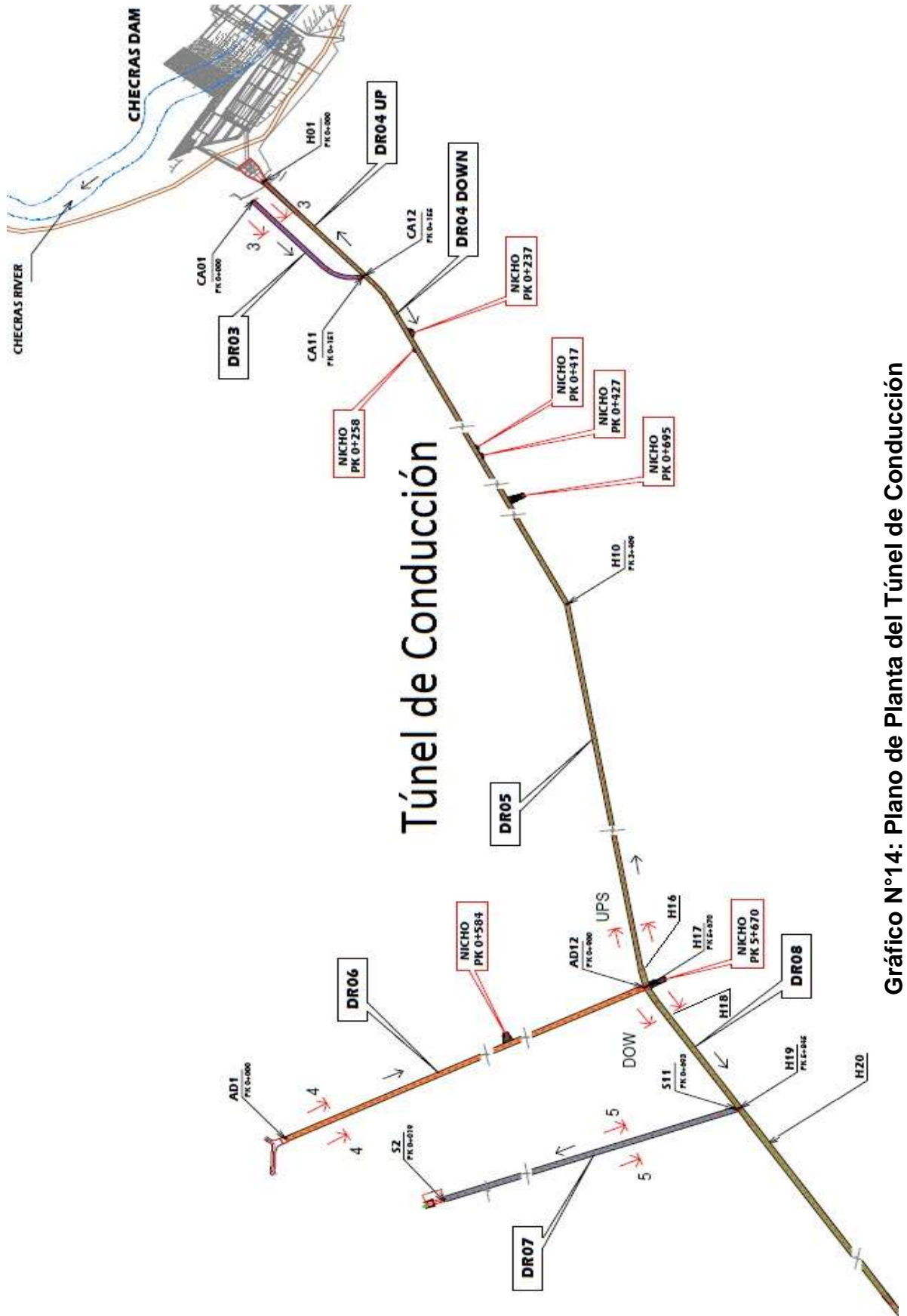


Gráfico N°14: Plano de Planta del Túnel de Conducción

### 3.6.1. Equipos Utilizados para la Excavación y Sostenimiento del Túnel

Los equipos utilizados para el túnel de conducción son los que se muestran a continuación en la tabla N°11:

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Comentarios</b>
1	Jumbo Electro-Hidraulico	Sandvik DT 720	Sistema de Perforación controlado Hidráulicamente, cuenta con dos Brazos de perforación.
1	Excavador/Cargador de Túnel	ITC 312	Equipo Cargador de desmonte con faja transportadora
1	Shotcrete Robot	Semmco Alpha 20	Capacidad 18m <sup>3</sup> /min
1	Excavador Móvil	TW 110 / CAT M313	10t, 0.4m <sup>3</sup>
1	Telescopic Handler	Manitou MT 1030	3t, 10m
3-4	Tunnel Dumper	DUX NT 22	Capacidad 10.8m <sup>3</sup> ; 20 ton de carga útil
2	Truck Mixer	Dieci L4700	3.5m <sup>5</sup>
2	Bombas de Grout	MAI M400	6-35 l/min
1	Bomba de Concreto	Putzmeister BSA 1405E	55m <sup>3</sup> /h, 75kW

**Tabla N°11: Equipos Utilizados en Túnel de Conducción**

### 3.6.2. Metodología usada para la Excavación del Túnel de Conducción

Para el Túnel de Conducción, se usó el Método de Excavación “Drilling & Blasting” (Perforación y Voladura) que es una práctica estándar.

Si el tipo de roca es mala, se reemplazara el método de “Drilling & Blasting” por la de Excavación Mecánica, que conllevara a un rango de progreso diferente.

El ciclo de avance en túneles, es representado mediante fases de trabajos las cuales se describen a continuación:

- Perforación
- Carguío con Material Explosivo (Cartuchos Explosivos o Emulsión)
- Voladura y Ventilación
- Desatado o Desquinche de Roca Suelta
- Retiro del desmonte de Roca.

Adicional a este ciclo de avance, se presenta el sostenimiento del túnel que depende del Tipo de Roca y otros factores que están ligados al material rocoso, este sistema de sostenimiento se presenta a continuación:

- Pernos Anclados en Roca.
- Instalación de Malla de Acero.
- Lattice Girders (Cimbras) o Marco Noruego.
- Shotcrete.
- Grouting.
- Perforación de agujeros exploratorios.

Se puede observar en el Anexo N°3, la secuencia de la excavación del túnel de conducción así como el lanzamiento del Shotcrete.

### **3.6.3. Tramo para el análisis del Proceso de Lanzado de Shotcrete**

Para la presente Tesis se ha tomado un tramo de 1km de longitud del túnel de conducción, y a este tramo se ha analizado la cantidad, costo y tiempo del Shotcrete utilizado, se identificaron las deficiencias de calidad que se presentaron con mayor frecuencia, se sistematizó las deficiencias, se identificó las causas y se mencionó las soluciones técnicas que se dieron a las fallas de Shotcrete en este tramo. El Tramo que se analizó se encuentra entre las progresivas 3+501.20 hasta 4+503.20.

### 3.6.4. Diseño del Shotcrete para el Túnel de Conducción

En la tabla N°12, se muestra los materiales usados para la producción de Shotcrete en el túnel de conducción, así como sus respectivas proporciones y/o cantidades por cada componente de la mezcla:

<b>Componentes de la Mezcla</b>	<b>%</b>	<b>Kg/m3</b>	<b>Volumen (m3)</b>
<b>Cemento Atlas IP</b>	-	425	0147
<b>Agua del Rio Checra</b>	-	170	0.170
<b>Contenido de Agua de Absorción</b>	-	35	0.000
<b>Arena Triturada y Lavada</b>	-	1681	0.634
<b>Sika Viscocrete 1110</b>	1.9%	8.1	0.008
<b>Sika Tard PE</b>	0.2%	0.9	0.001
<b>Contenido de Aire</b>	3.5%		0.035
<b>Fibra Metálica LHO 45/35</b>	-	45	0.006
<b>Sika Fiber PE*</b>	600 g	0.60	0.001
<b>Acelerante libre de Alcalis SIGUNIT L50 AF</b>	6.9%	29.3	-
<b>Peso Unitario (Kg/m3) / Volumen (m3)</b>		2365	1.000
<b>Slump Inicial (ASTM C 143)</b>		20 +/- 3 cm	
<b>Temperatura de la Mezcla</b>		23°C	
<b>Razón a/c</b>		0.40	

**Tabla N°12: Componentes y Proporciones para la Producción de Shotcrete**

### 3.6.5. Programación Contractual y Real de la Construcción del Túnel de Conducción

Se muestra una comparación de los tiempos de construcción del Túnel de Conducción entre la Parte Contractual y la Parte Real, para que se tenga una referencia de cuantos días más se demoró la etapa constructiva del Túnel de Conducción debido a falencias en el proceso constructivo, equipos defectuosos y otros factores que retrasaron la obra. Se muestra a continuación las tablas N°13, 14 y 15, que es el resultado de un procesamiento de la base de datos del túnel de conducción del proyecto Cheves, y organizados para la presente investigación.

<b>Programación Contractual Túnel de Conducción</b>				
<b>Sección</b>	<b>Etapas Constructivas</b>	<b>Fecha de Inicio</b>	<b>Fecha de Finalización</b>	<b>Duración (Días)</b>
<b>Túnel de Conducción de H 01 a H 18</b>	Excavación del Túnel más Soporte Inicial	22 Junio 2011	09 Abril 2013	639
<b>Túnel de Conducción de H 18 a H 01</b>	Excavación del Túnel más Soporte Inicial	03 Noviembre 2011	08 Abril 2013	508

**Tabla N°13: Programación Contractual del Túnel de Conducción**

<b>Programación Real Túnel de Conducción</b>				
<b>Sección</b>	<b>Etapas Constructivas</b>	<b>Fecha de Inicio</b>	<b>Fecha de Finalización</b>	<b>Duración (Días)</b>
<b>Túnel de Conducción de H 01 a H 18</b>	Excavación del Túnel más Soporte Inicial	01 Agosto 2011	08 Enero 2014	865
<b>Túnel de Conducción de H 18 a H 01</b>	Excavación del Túnel más Soporte Inicial	14 Noviembre 2011	08 Enero 2014	764

**Tabla N°14: Programación Real del Túnel de Conducción**

<b>Programación Contractual Vs. Real</b>		
<b>Sección</b>	<b>Diferencia de Días entre Contractual y Real (Días)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Túnel de Conducción de H 01 a H 18</b>	226	135.4%
<b>Túnel de Conducción de H 18 a H 01</b>	256	150.4%

**Tabla N°15: Programación Contractual Vs. Real**

### **3.6.6. Análisis de Costos del Shotcrete**

Para el análisis de costos en Shotcrete se ha tomado desde la progresiva 3+501.20 hasta 4+503.20, se hizo un comparativo de costos entre la longitud total del túnel de conducción (Parte 1 según Tabla N°10) que es desde 0+000 hasta 5+668, y la longitud tomada como muestra.

Para el análisis de costos de Shotcrete, se tiene como dato del Proyecto Cheves, el precio por metro cubico de Shotcrete instalado, que incluye mano de obra, equipo y materiales, dependiendo del tipo de Shotcrete que es instalado, ya sea reforzada o no reforzada y también del lugar donde es instalado, es decir si ha sido instalado en el frente del Túnel (At The Facel) tiene un precio y otro si ha sido instalado en un tramo anterior al frente del Túnel (Behind the Face), por lo que se muestra la tabla N°16 para conocer los costos por metro cubico de Shotcrete en el túnel de conducción del Proyecto Cheves:

B&Q CONTRACT					
Item	Description	Unit	Quantity	Unit Price USD	Total Price USD
5.3.03.00	<b>ROCK SUPPORT</b>				
5.3.03.26	Shotcrete. Plain. At the face.	m3	500.00	300.41	150,205.00
5.3.03.27	Shotcrete. Plain. Behind the face.	m3	500.00	260.72	130,360.00
5.3.03.28	Shotcrete. Fibre-reinforced. At the face.	m3	5,700.00	363.79	2,073,603.00
5.3.03.29	Shotcrete. Fibre-reinforced. Behind the face.	m3	3,000.00	315.64	946,920.00

**Tabla N°16: Precio Unitario del Shotcrete - Fuente: Base de Datos del Proyecto Cheves**

Teniendo los precios unitarios del Shotcrete en el túnel de conducción el siguiente paso a realizar es describir las cantidades en metros cúbicos de Shotcrete como Soporte Inicial según contrato y reales, por avance diario en el túnel, por lo que se muestra en el anexo N°2 los avances diarios desde la progresiva 3+501.20 hasta 4+503.20 con sus características técnicas de la roca, tomados de la base de datos del Proyecto Cheves y organizados para la presente Tesis.

De los datos del anexo N°2, se toma los valores totales de las cantidades y precios del Shotcrete y se obtiene como resultado las siguientes tablas N°17 y 18.

Tramo Inicial	Tramo Final	Longitud (m)	Cantidad de Shotcrete Contractual (m3)	Cantidad de Shotcrete Real (m3)	Precio de Shotcrete Contractual (US \$)	Precio de Shotcrete Real (US \$)
0+000	5+668	5,668	9,700	20,913.05	3,301,088	7,293,794.51
3+501.20	4+503.20	1,002	1,240.12	2,696.50	451,142.40	980,959.73

**Tabla N°17: Cantidades y Costos de Shotcrete Contractual y Real**

Longitud (m)	Cantidad de Shotcrete Contractual (m3)	Cantidad de Shotcrete Real (m3)	Porcentaje (%)	Precio de Shotcrete Contractual (US \$)	Precio de Shotcrete Real (US \$)	Porcentaje (%)
5,668	9,700	20,913.05	216%	3,301,088	7,293,794.51	221%
1,002	1,240.12	2,696.50	217%	451,142.40	980,959.73	217%

**Tabla N°18: Porcentajes de Cantidades y Costos de Shotcrete Contractual Vs. Real**

En la Tabla N°17, se muestra las Cantidades y Precios Iniciales del Shotcrete de acuerdo al Contrato, así como las Cantidades y Precios Reales con lo que se culminó el Túnel de Conducción, se muestra en la primera fila un tramo del túnel de conducción (Se tomó la Parte 1 según Tabla N°10) y en la segunda fila se muestra el tramo tomado como análisis para la presente Tesis.

En la Tabla N°18, se muestra los porcentajes que indican en cuanto ha aumentado las cantidades de Shotcrete y los precios del Shotcrete, se observa que tanto las cantidades como los precios han aumentado en el doble de su cantidad y valor respectivamente.

### **3.6.7. Identificación y Caracterización de las Deficiencias y Fallas en el Proceso de Lanzado de Shotcrete que se Presentan con Mayor Frecuencia**

Se identificaron las deficiencias y fallas más frecuentes que ocurrieron en el túnel de conducción del tramo 3+501.20 hasta 4+503.20, las cuales fueron identificadas entre el contratista y la supervisión del Proyecto Cheves, esta información fue procesada y caracterizada para la presente tesis, dando como resultado la tabla N°19.



<b>Fallas Localizadas</b>	<b>Caracterización 1</b>	<b>Caracterización 2</b>	<b>Caracterización 3</b>
<b>Desprendimiento del Shotcrete</b>	Mala Instalación y Colocación del Shotcrete	Equipos Defectuosos: -Shotcrete Robot -Truck Mixer -Planta de Concreto	Mala Dosificación del Shotcrete en Planta
<b>Agrietamiento del Shotcrete</b>	Condiciones Geológicas por Tipo de Roca	Convergencia de la Roca	Mala Dosificación del Shotcrete en Planta
<b>Falta de Espesor Indicado del Shotcrete</b>	Mala Cubicación	Equipo Defectuoso	Excesivo Rebote del Shotcrete

**Tabla N°19: Caracterización de las Fallas Localizadas del Shotcrete**

En el anexo N°4 se puede observar las deficiencias y fallas encontradas en el proceso del lanzado de Shotcrete en el túnel de conducción.

### **3.6.8. Sistematización de las Deficiencias y Fallas en el Lanzado de Shotcrete**

En este punto se indica el proceso del Shotcreteado, desde el momento que es despachado en la Planta de Concreto, hasta el momento de la instalación del Shotcrete dentro del túnel, con esto se identifica los puntos críticos en la cual el Shotcrete sufre deficiencias, por lo que se muestra a continuación la tabla N°20.

<b>Etapas</b>	<b>Descripción 1</b>	<b>Descripción 2</b>	<b>Punto Critico</b>
<b>Geología indica el Tipo de sostenimiento después de la Voladura y Limpieza de la Roca.</b>	Se establece el espesor de Shotcrete, como Soporte Inicial, ya sea 5, 10 o 15 cm.	En Base al espesor, el contratista cubica el Shotcrete requerido para ser lanzado en el túnel.	Este punto es fundamental, ya que si el contratista no realiza un buen cubicaje, se estará lanzando un exceso de Shotcrete.
<b>La Planta de Concreto, empieza con la producción del Shotcrete.</b>	Si la Planta tiene fallas en su funcionamiento, produciría un Shotcrete con una mala dosificación.	Si se diera una mala dosificación, Control de Calidad del contratista deberá corregirlo dentro del túnel.	En este punto se realiza los respectivos controles de Calidad, para un buen Shotcrete, Caso contrario con el tiempo se presenta deficiencias en el Shotcrete que tendrán que ser rectificadas.

<b>El Shotcrete es trasladado en el Mixer hacia el Túnel.</b>	El Mixer debe estar en óptimas condiciones para el traslado del Shotcrete.	De presentarse Fallas en el Mixer, No podrá llegar al punto donde será lanzado o no realizara un buen batido del Shotcrete.	En este punto se debe de haber realizado un buen traslado y batido del Shotcrete, caso contrario el Shotcrete no será lanzado dentro del Túnel.
<b>Control de Calidad del Contratista, verifica que el Shotcrete se encuentre en condiciones de ser instalado</b>	Control de Calidad del Contratista en conjunto con la supervisión, revisan que se cumpla con todos los requerimientos para el lanzado del Shotcrete.	Se verifica la Trabajabilidad, Fluidez, Segregación y Temperatura del Shotcrete, y así como las condiciones y Especificaciones Técnicas.	De no cumplirse estos requerimientos, no se podrá lanzar el Shotcrete.
<b>Equipo Robot Alpha 20 se encarga de lanzar el Shotcrete.</b>	Se debe verificar que el equipo se encuentre operativo y funcional	Verificar los Manómetros del Equipo	En este caso, depende mucho de la habilidad del operador, ya que si no tiene la habilidad necesaria, el Shotcrete no tendría una adecuada instalación y se tendrá excesivo uso de Shotcrete o fallas de estas con el tiempo.
<b>Realizar Pruebas de Laboratorio para el Shotcrete</b>	Resistencia a la Compresión del Shotcrete	Resistencia a la Flexión del Shotcrete	Se realizara un monitoreo y seguimiento a los resultados de estas pruebas y así cumplan con los requerimientos indicados en el diseño del Shotcrete.

**Tabla N°20: Sistematización del Proceso de Lanzado de Shotcrete.**

### **3.6.9. Identificación de Causas usando el Método de Ishikawa**

Se aplica el diagrama de Ishikawa, para determinar las causas principales de la deficiencia del lanzamiento de Shotcrete, se utilizó las categorías de método, máquinas, materiales y mano de obra en el cual se verificó que uno de los orígenes de mayor importancia es el ineficiente control de lanzamiento de Shotcrete y falta de revisión de los procesos, se muestra a continuación el gráfico N°15 que contiene el diagrama de Ishikawa aplicado al proceso del lanzamiento de Shotcrete.

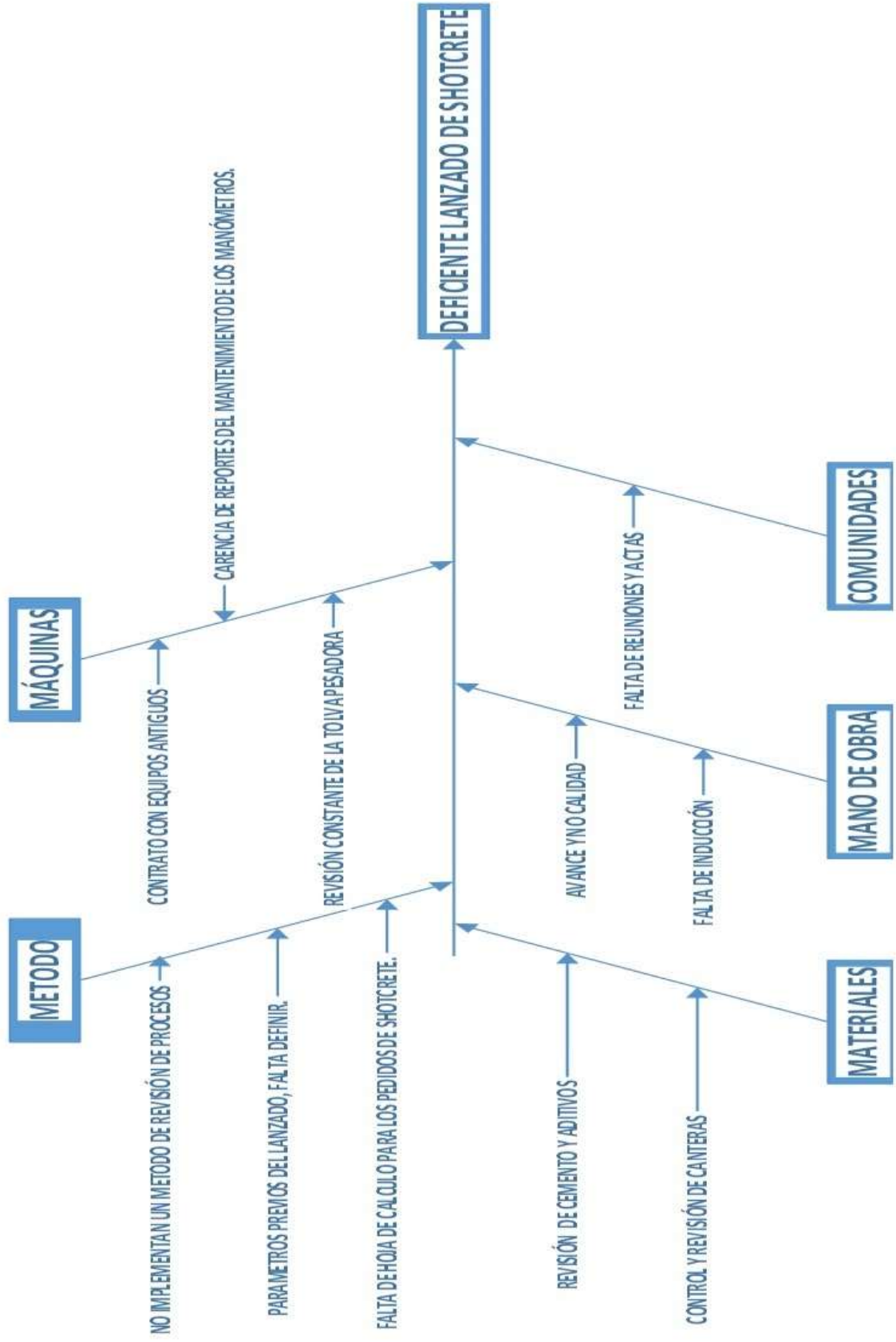


Gráfico N°15: Diagrama de Ishikawa aplicado al Proceso de Lanzado de Shotcrete

Previamente se uso el método de los cinco porqué, que consta con el uso de cinco preguntas se descubre la causa del problema, ver los siguientes cuadros donde se describe cada etapa de la deficiencia en el Lanzado de Shotcrete y otros factores que influyen en su ciclo normal del proceso:

#### **El Procedimiento no es el Adecuado:**

- 1) Porqué el Procedimiento no es el adecuado?**
- 2) Porqué no existe una nueva Revisión?**
- 3) Porqué los responsables de obra no toman en cuenta la mejora de los procesos?**
- 4) No implementan un método de revisión de procesos.**

#### **Maquina y Equipos Defectuosos:**

- 1) Porqué las Maquinas y Equipos son defectuosos?**
- 2) Porqué el contratista, tenia esas maquinas para la ejecución de la obra?**
- 3) Contrato con Equipos Usados**
- 4) Por ser más económicos en comparación con equipos modernos.**

#### **Obreros Enfocados en el Avance de la Obra:**

- 1) Porqué los obreros estaban más enfocados en el avance de la obra?**
- 2) Porqué les exigían tener un disparo para los avances del túnel al finalizar el turno?**
- 3) Se Prioriza la Producción**

### **Las Comunidades interrumpen constantemente las Labores:**

- 1) Porqué las comunidades interrumpen constantemente las labores?
- 2) Porqué exigen al cliente cupos de trabajo y obras para ellos?
- 3) Porqué en las reuniones no concretan bien los puntos para un consenso?
- 4) No se agenda reuniones y actas para cerrar temas con la comunidad.

### **Recapeo en Zonas de Espesor de Shotcrete Faltante:**

- 1) Porqué hay que recapear en zonas de Shotcrete con espesor faltante?
- 2) Porqué el pedido de Shotcrete es empírico?
- 3) Porqué el pedido de Shotcrete lo hace el capataz y luego lo transmite al ingeniero de turno?
- 4) Falta de hoja de cálculo para los pedidos de Shotcrete.

### **Revisión de Manómetros de Presión del Equipo Lanzador de Shotcrete, caso contrario conllevaría a un mayor rebote de Shotcrete:**

- 1) Porqué hay que tener una revisión constante de los manómetros de presión?
- 2) Porqué su manipulación es diaria y su uso constante?
- 3) Carencia de reportes del mantenimiento de los manómetros?

### **Desprendimiento y Fisuras de Shotcrete:**

- 1) Porqué se desprende el Shotcrete del macizo rocoso?
- 2) Porqué no se hace una adecuada limpieza del área a sostener?
- 3) Porqué no se verifica la zona a sostener?
- 4) Parámetros previos del lanzado, falta definir.

### **Revisión de Equipos, Materiales, Aditivos en Planta de Concreto:**

- 1) Porqué es necesario la revisión de equipos, materiales y aditivos para la instalación y producción de Shotcrete?**
- 2) Porqué es de suma importancia la calibración de la tolva pesadora, certificados de cemento, aditivos y canteras aprobadas?**
- 3) Falta de revisión constante de la tolva pesadora, certificados vigentes de cementos y aditivos además de aprobación de canteras por parte de la supervisión.**

### **Capacitación en Limpieza del Área de Lanzado de Shotcrete:**

- 1) Porqué es importante la capacitación en la limpieza del área de lanzado de Shotcrete?**
- 2) Porqué los grupos de trabajo tienen una pobre limpieza previa al lanzado de Shotcrete?**
- 3) Porqué no existen los fundamentos básicos del sostenimiento en túneles con Shotcrete?**
- 4) Falta de inducción a la línea de mando (Capataces, líderes de Grupo)**

Finalmente se elaboró la siguiente tabla, con puntajes del uno al tres, y se escoge dos causas de acuerdo a los parámetros establecidos, y tomando como criterios los que se muestran en la tabla N°21, que se basan en la importancia que tienes estos con el proceso del Lanzado de Shotcrete, donde el numero 3 indica el puntaje de mayor importancia.

DESCRIPCIÓN		CRITERIOS										TOTALES
CAUSAS		SOLUCIONES										
METODO		ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN DIRECTA	SOLUCIÓN FACTIBLE	ES MEDIBLE	BAJO COSTO					
NO IMPLEMENTAN UN METODO DE REVISIÓN DE PROCESOS	REUNIONES SEMANALES DONDE SE EVALUAN LOS PROCESOS	3	1	3	3	2	3					15
REALIZAR UNA HOJA DE CALCULO MAS EXACTA PARA LOS PEDIDOS DE SHOTCRETE.	ELABORAR HOJA DE CALCULO DONDE SE INCLUYAN OQUEADES, REBOTE Y ESPESOR DE GEOLOGÍA.	2	3	2	2	2	3					14
EL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD DEBE DEFINIR LOS PARAMETROS PREVIOS DEL LANZADO.	PROTOCOLO DE LANZADO DE SHOTCRETE CON CHECK LIST PREVIO LANZADO CON AUTORIZACIÓN DE SUPERVISIÓN	3	3	2	3	1	3					15
MANO DE OBRA		ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN DIRECTA	SOLUCIÓN FACTIBLE	ES MEDIBLE	BAJO COSTO					
SE PRIORIZA LA PRODUCCIÓN	REUNIONES CON ACTAS DE COMPROMISO SEMANALES, CON LAS ÁREAS A CORREGIR	2	2	2	3	2	3					14
SE DEBE INDUCIR A LA LÍNEA DE MANDO (CAPATADES, HIDRES DE GRUPO) Y HACER UN SEGUIMIENTO DE SU DESEMPEÑO.	INDUCCIÓN A CAPATADES Y SEGUIMIENTO EN FRENTES DE TRABAJO SOBRE LA ZONA PREVIO SHOTCRETEO	2	3	1	2	2	2					12
MÁQUINAS		ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN DIRECTA	SOLUCIÓN FACTIBLE	ES MEDIBLE	BAJO COSTO					
EN EL CONTRATO EL CUENTE ACEPTO UTILIZAR ESTOS EQUIPOS	REVISAR LAS CLAUSULAS DEL CONTRATO Y LLEGAR AL ACUERDO DE TRAER EQUIPOS NUEVOS PARA LOS FRENTES CON MAYOR DEMANDA DE TIEMPO DE ENTREGA	2	2	1	2	1	1					9
TENER UNA PROGRAMACIÓN CON REPORTES DEL MANTENIMIENTO DE LOS MANÓMETROS.	ELABORAR HOJA DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS INDICANDO FRECUENCIA Y REQUERIMIENTOS	1	1	2	2	3	2					11
MANTENER REVISIÓN CONSTANTE DE LA TOLVA PESADORA, CERTIFICADOS VIGENTES DE CEMENTO Y ADITIVOS	REVISIÓN PERIÓDICA DE LA TOLVA PESADORA, CERTIFICACIÓN VIGENTE DE LOTES DE CEMENTO Y ADITIVOS, ADEMAS DE ALMACENAMIENTO ADECUADO.	1	2	2	2	3	3					13
ADEMAS DE APROBACIÓN DE CANTERAS POR PARTE DE LA SUPERVISIÓN.	PERSONAL CAPACITADO EN LA SELECCIÓN DE CANTERAS, PARA AGREGADO DE PRODUCCIÓN DE SHOTCRETE	1	1	1	2	1	1					7
COMUNIDADES		ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN DIRECTA	SOLUCIÓN FACTIBLE	ES MEDIBLE	BAJO COSTO					
NO SE AGENDA REUNIONES Y ACTAS PARA CERRAR TEMAS CON LA COMUNIDAD	REUNIONES CON ACTAS DE COMPROMISO PERIÓDICAS, SEGUIMIENTO Y APOYO CONSTANTE EN TODOS LOS REQUERIMIENTOS Y/O SOLICITUDES DE LA COMUNIDAD	2	1	1	2	2	1					9

**Tabla N°21: Aplicación de Criterios mediante Puntajes de las Causas Determinadas por el Diagrama de Ishikawa**



### **3.6.10. Soluciones Técnicas a las Deficiencias y Fallas del Lanzado de Shotcrete**

A continuación se presenta los pasos que se sigue para las reparaciones del Shotcrete y las soluciones técnicas que se dan a estas fallas, estas soluciones conllevan un costo adicional, ya que requieren de trabajos adicionales lo que implica el uso de mano de obra, maquinarias, y materiales, a continuación se presenta los diferentes soluciones técnicas:

- a) Re-evaluación por Geología.
- b) Inspecciones del área con la participación del Contratista y la Supervisión.
- c) Se evalúa los costos adicionales que implicaría rectificar el Shotcrete dañado.
- d) Se acuerda el proceso para la rectificación de los daños del Shotcrete dentro del túnel, y se presenta a continuación algunas soluciones para la reparación del Shotcrete:
  - Desquinche o Desatado (Acción que consiste en retirar el Shotcrete dañado) y un Recapeo de Shotcrete hasta alcanzar un espesor adecuado.
  - Solo se realiza un Recapeo de Shotcrete hasta alcanzar un espesor adecuado.

Se muestra en la siguiente tabla, las diferentes fallas que se encontraron en el Tramo 3+501.20 hasta 4+503.20, y también se muestra las acciones que se tomaron para la rectificación de las fallas así como la cantidad de Shotcrete teórico versus la real, así como también los costos de Shotcrete teórico versus la real, la tabla N°22 se muestra a continuación:

Reparaciones para el Soporte Inicial													
Fecha	Progresiva		Distancia (m)	Findings	Repair Actions	Sección	Fibra	AT/ Behind The Face	Espesor (Cm)	Volumen de Shotcrete Teórico (m³)	Volumen de Shotcrete Real (m³)	Precio Teórico de Shotcrete US \$	Precio Real de Shotcrete US \$
	Inicial	Final											
18/02/2014	3-540.00	3-555.00	15.00	Shotcrete desprendido	Recapeo de Shotcrete	Only Crown	Con	BEHD	4.00	6.10	10.00	1924.35	3156.40
21/02/2014	3-590.00	3-613.00	23.00	Shotcrete insuficiente	Recapeo de Shotcrete	Whole Section	Con	BEHD	2.00	8.97	12.00	2831.99	3787.68
31/05/2014	3-668.00	3-679.00	11.00	Shotcrete insuficiente en Lado Izq. Z. Horaria 10-11 hrs	Desquinche y Recapeo en Zona Horaria 10-11 hrs	Only Crown	Con	BEHD	5.00	5.59	10.00	1763.99	3156.40
25/03/2014	3-705.00	3-706.00	3.00	Shotcrete dañado por agua en Lado Izq. y Zona Horaria 10-11 hrs	Desquinche y Recapeo en Zona Horaria 10-11 hrs	Only Crown	Con	BEHD	3.00	0.91	4.00	288.65	1262.56
26/03/2014	3-775.00	3-810.00	35.00	Shotcrete dañado por agua en Lado Izq. y Zona Horaria 10-11 hrs	Desquinche y Recapeo en Zona Horaria 10-11 hrs	Only Crown	Con	BEHD	3.00	10.67	13.00	3367.61	4103.32
27/03/2014	3-830.00	3-850.00	20.00	Shotcrete insuficiente en Boveda	Recapeo solo Boveda	Only Crown	Con	BEHD	4.00	8.13	10.00	2565.80	3156.40
15/05/2014	3-875.00	3-877.00	2.00	Shotcrete Dañado por fisuras en Lado Izq. y Z. Horaria 10-11 hrs	Desquinche y Recapeo en Zona Horaria 10-11 hrs	Only Crown	Con	BEHD	4.00	0.81	4.00	256.58	1262.56
17/05/2014	3-878.00	3-880.00	2.00	Shotcrete Dañado por fisuras en Lado izquierdo	Desquinche y Recapeo	1 Wall	Con	BEHD	4.00	0.37	2.00	117.97	631.28
19/05/2014	3-880.00	3-890.00	10.00	Shotcrete insuficiente en Lado izquierdo	Recapeo	1 Wall	Con	BEHD	3.00	1.40	5.00	442.39	1578.20
22/07/2014	3-900.00	3-930.00	30.00	Shotcrete insuficiente en Boveda izquierda	Desquinche y Recapeo	Only Crown	Con	BEHD	3.00	9.14	10.00	2886.52	3156.40
27/03/2014	3-900.00	3-907.00	7.00	Shotcrete insuficiente en Boveda	Recapeo solo Boveda	Only Crown	Con	BEHD	4.00	2.85	6.00	898.03	1893.84
25/07/2014	3-975.00	4-000.00	25.00	Shotcrete insuficiente y Dañado en Lado izquierdo	Desquinche y Recapeo	1 Wall	Con	BEHD	4.00	4.67	6.00	1474.63	1893.84
15/02/2014	4-052.00	4-053.00	1.00	Shotcrete insuficiente; Dañado lado izquierdo	Desquinche y Recapeo	1 Wall	Con	BEHD	5.00	0.23	3.00	73.73	946.92
15/02/2014	4-060.00	4-070.00	10.00	Shotcrete Dañado por filtraciones	Desquinche y Recapeo Sección Completa, Colocar Drenaje	Whole Section	Con	BEHD	4.00	7.80	7.00	2462.60	2209.48
07/03/2014	4-310.00	4-320.00	10.00	Shotcrete Dañado en Boveda y Pared Lado izquierdo	Desquinche y Recapeo	Half section	Con	BEHD	4.00	3.90	7.00	1231.30	2209.48
08/03/2014	4-370.00	4-392.00	22.00	Falta Espesor de Shotcrete y Presencia de Agua Lado derecho	Recapeo y Drenaje	1 Wall	Con	BEHD	4.00	4.11	8.00	1297.67	2525.12
09/07/2014	4-438.00	4-440.00	2.00	Shotcrete insuficiente Lado Derecho	Desquinche y Recapeo	1 Wall	Con	BEHD	3.00	0.28	2.00	88.48	631.28
<b>Total</b>										<b>75.95</b>	<b>119.00</b>	<b>23,972.29</b>	<b>37,561.16</b>
<b>Porcentaje</b>										<b>157%</b>	<b>157%</b>		

**Tabla N°22: Reparaciones a las Fallas del Shotcrete**

### 3.6.11. Cuantificación de los Costos Adicionales por la Reparación del Shotcrete

Con la tabla N°22 se obtiene cantidades y costos adicionales por las reparaciones del Shotcrete, por lo que estos valores serán adicionados en nuevas tablas que son las Tablas N°23, 24 y 25, se toma como referencia la Tabla N°17.

<b>Cantidades y Costos Contractuales y Teóricos</b>						
Tramo Inicial	Tramo Final	Longitud (m)	Cantidad de Shotcrete Contractual (m3)	Cantidad de Shotcrete por Reparaciones Teórico (m3)	Cantidad Total de Shotcrete Contractual mas Reparaciones (m3)	Costo Total de Shotcrete Contractual mas Reparaciones (US \$)
3+501.20	4+503.20	1,002	1,240.12	75.95	1,316.07	475,114.69

**Tabla N°23: Cantidades y Costos Contractuales con las Reparaciones**

<b>Cantidades y Costos Reales</b>						
Tramo Inicial	Tramo Final	Longitud (m)	Cantidad de Shotcrete Real (m3)	Cantidad de Shotcrete por Reparaciones Real (m3)	Cantidad Total de Shotcrete Real mas Reparaciones (m3)	Costo Total de Shotcrete Real mas Reparaciones (US \$)
3+501.20	4+503.20	1,002	2,696.50	119	2,815.5	1,018,520.89

**Tabla N°24: Cantidades y Costos Reales con las Reparaciones**

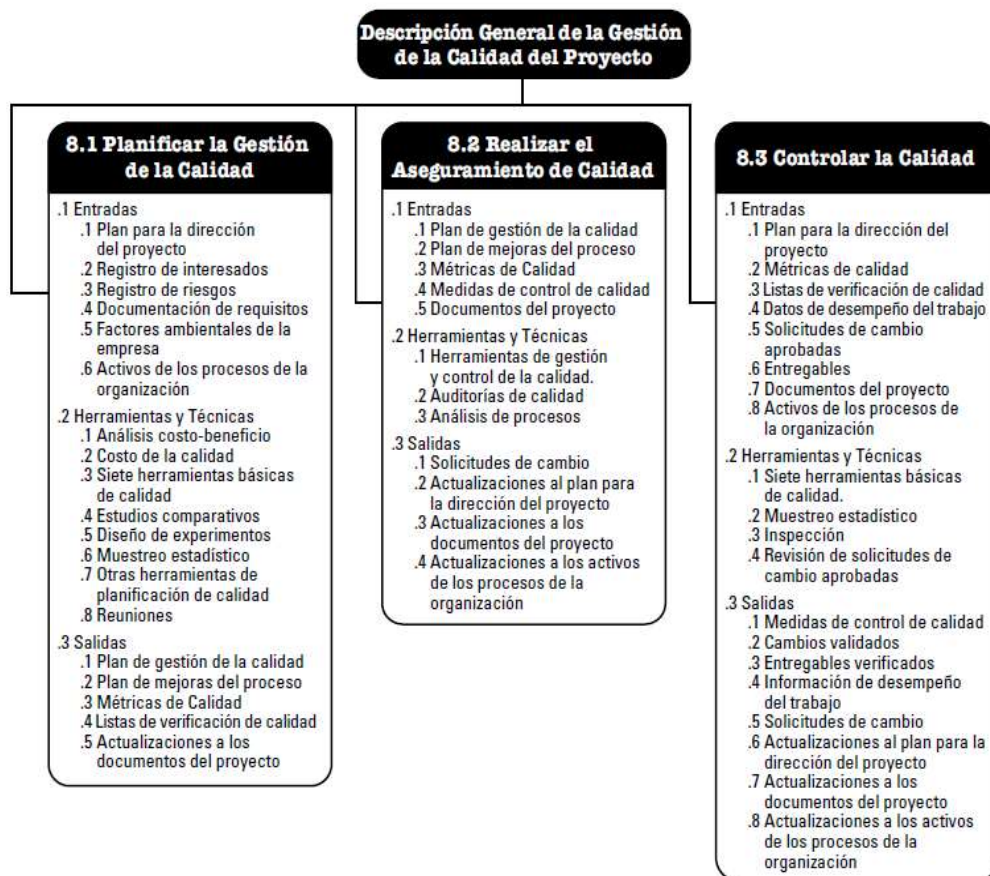
<b>Porcentajes Contractuales Vs Reales</b>						
Tramo Inicial	Tramo Final	Longitud (m)	(%)	(%)	(%)	(%)
3+501.20	4+503.20	1,002	217.4%	156.7%	213.9%	214.4%

**Tabla N°25: Porcentajes de las Cantidades y Costos del Shotcrete Contractual Vs. Real**

## 4. CAPITULO IV: PLANTEAMIENTO DE PROPUESTA DE GESTIÓN DE CALIDAD BAJO LOS LINEAMIENTOS DEL PMBOK

### 4.1. Descripción de la Propuesta de Gestión de Calidad con la Guía del PMBoK.

Analizamos sistemáticamente los tres parámetros detallados en la gestión de calidad, planificación, aseguramiento y control, examinando cada proceso del Lanzado de Shotcrete en el túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico Cheves, luego revisando el flujo de información detallado en el punto de la planificación para derivarlo a las áreas respectivas y finalmente aplicando los controles necesarios, siguiendo lo recomendado por el PMBoK, mediante el grafico N°16.



**Gráfico N°16: Descripciones Generales de la Gestión de Calidad de un Proyecto - Fuente: PMBoK 5ta Edición**

## **4.2. Planificación de la Gestión de la Calidad en el Proceso del Lanzado del Shotcrete en Túneles**

En la Planificación de la Gestión de la Calidad se realizó una lista de los procesos del lanzado de Shotcrete, detallando las características a medir y la normativa que se aplica a estos trabajos, además de definir los responsables o involucrados de las tareas y qué funciones cumplen.

### **4.2.1. Lista de Procesos de Lanzado de Shotcrete**

- a) Evaluación Geológica por parte del Contratista.
- b) Limpieza del Área de Trabajo.
- c) Preparación del Shotcrete.
- d) Instalación de Equipos en el área de Lanzado el Shotcrete.
- e) Lanzado de Shotcrete.
- f) Pruebas de Campo y Laboratorio que se realizarán posteriormente.

### **4.2.2. Características Medibles en el Proceso de Lanzado de Shotcrete**

- a) **Evaluación geológica:** En este punto la geología del contratista y de la supervisión llegan a un acuerdo, sobre el sostenimiento que se va a aplicar de acuerdo a las características del macizo rocoso, estos parámetros se toman del convenio entre el análisis de los geólogos y se anotan en el cuaderno de obra por tal motivo, solo nos ceñiremos a lo que indica geología. (Ver Anexo N°5 - indicación geológica)
- b) **Limpieza del área de Trabajo:** Luego se limpia el área de lanzado con agua a presión dejando el macizo rocoso o zona de lanzado libre de cualquier material suelto, líquido extraño o combustible, dióxido de carbono generado por los equipos, etc. El área debe quedar húmeda

para el lanzado, mojar el área previo lanzado, luego de la limpieza masiva. En este punto la inspección será netamente visual.

**c) Preparación del Shotcrete:** La preparación del Shotcrete o el hormigón lanzado, tiene un sumo cuidado desde el almacenaje de los lotes de cemento, fibras metálicas, cilindros de aditivos, canteras para la obtención del hormigón y la calibración de la planta de concreto; aquí tenemos que evaluar los parámetros de almacenaje de lotes de cemento los cuales deben estar sobre parihuelas, tapadas con bolsas plásticas, además de tener vigente los certificados de calidad de cada lote de cemento de igual manera se revisara los lotes de fibra metálica y los cilindros que contienen los distintos aditivos para la preparación del Shotcrete, las plantas de concreto en este proyecto fueron Meka I y Meka II las cuales tenían una capacidad de producción de concreto o Shotcrete de 50 m<sup>3</sup>/h y la Planta Adit solo de producción de Shotcrete con capacidad de 10 m<sup>3</sup>/h. También es necesario revisar las canteras de agregados, para este proyecto se utilizó la cantera de Checra de 8.6 ha y Pincuche 8.14 ha. (Revisar PE-CHP\_PLN\_QM-002, Quality Plan for Concrete, Aggregates and Shotcrete Production, Ver anexo N°6)

En este punto se verificará:

- Calibraciones de la planta de concreto.
- Insumos para la preparación deben cumplir especificaciones técnicas, tanto como en su almacenaje, preparación y el producto obtenido (consistencia, temperatura, etc.).

**d) Instalación de equipos:** Los equipos de lanzado de Shotcrete deben estar correctamente instalados y en completa operatividad, en este proyecto se utilizó el equipo Robot Alpha 20 o Putzmeister, camiones mixer de 3 m<sup>3</sup> o 7 m<sup>3</sup> y las líneas de servicios (agua y aire comprimido).

En este punto se verificará:

- Calibración de robot Shotcretero.
- Mantenimiento de camiones Mixer.
- Líneas de servicios en correcto estado.

**e) Lanzado de Shotcrete:** En este punto es clave las técnicas para evitar el rebote del Shotcrete, desprendimiento y otros factores claves durante la actividad, es importante revisar las especificaciones técnicas y los procedimientos aprobados.

En este punto se verificará:

- La forma del lanzado (ángulo de la boquilla, distancia de la boquilla, movimiento de la boquilla).
- Shotcrete sobre elementos de acero (cimbras, marcos o acero de refuerzo).
- Progreso del trabajo (Juntas de construcción, capas múltiples, límites de tiempo o vida del Shotcrete fresco, control de aditivos).

**f) Pruebas posteriores:** Aquí evaluaremos las pruebas que se realizan posterior al trabajo de lanzado de Shotcrete, revisando los parámetros y especificaciones técnicas del proyecto.

En este punto se verificará:

- Espesores de Shotcrete
- Vacíos de Shotcrete
- Resistencia a la Compresión y Flexión del Shotcrete.

En el anexo N°7, se puede observar las pruebas y/o ensayos realizados al Shotcrete durante y después de su instalación.

### 4.2.3. Involucrados en el Proceso de Lanzado de Shotcrete

Identificaremos cada uno de los involucrados en el proceso de lanzado de Shotcrete, indicando las responsabilidades de cada una además de las funciones que tienen que cumplir, desde el Gerente de obra, jefe de zona hasta capataces de frente.

- **Gerente de obras subterráneas:** Dirigir, liderar y gestionar los procesos de excavación y sostenimientos de las obras subterráneas.
- **Jefes de zona:** Dirigen, lideran, gestionan los procesos de excavación y sostenimiento de determinada área de trabajo, teniendo que remitir los avances, problemática a la gerencia de obras subterráneas.
- **Ingenieros de campo:** Lideran los procesos de excavación y sostenimiento de las obras subterráneas en constante coordinación diaria con los capataces. Gestionando los materiales, personal, equipos y todo lo necesario para el constante avance del túnel. Además de remitir los avances diarios al jefe de zona.
- **Capataces:** Dirigen el proceso de excavación y sostenimiento de las obras subterráneas, delegando labores al personal obrero, coordinando las tareas específicas, limpieza, lanzado de Shotcrete, colocación de pernos, etc.
- **Geólogos:** Instruyen el sostenimiento del macizo rocoso de acuerdo a las características de la zona, instruyéndolas en el cuaderno de obra e indicándole al ingeniero de campo lo descrito.
- **Ingeniero de calidad:** Encargado que se cumplan todas las especificaciones técnicas desde la correcta sección del túnel, características de los elementos de sostenimiento, indicaciones de



geología, etc. Además de tener los procedimientos en el campo para la difusión de estos y el adecuado trabajo en el frente.

- **Ingeniero de seguridad:** Encargado de supervisar la seguridad de todos los procesos de excavación y sostenimiento de las obras subterráneas.

#### **4.2.4. Normativa del Proceso de Lanzado de Shotcrete**

Definimos las normativas nacionales e internacionales a las cuales se aplican al proceso de lanzado de Shotcrete y nos ayudan a elaborar la planificación de la gestión de calidad, estandarizando cada paso del lanzado.

- a) ACI 506R, Guía para Shotcrete
- b) ACI 506 \_3R, Guía de certificación para la boquilla del Shotcrete
- c) EM 1110 – 2 – 2005, Práctica estándar para Shotcrete – US Army Corps of Engineers Army.
- d) Norma Española UNE 93-608-94 Hormigón y mortero proyectados. Determinación del rechazo.

#### **4.3. Aseguramiento de la Calidad en el Proceso del Lanzado de Shotcrete en Túneles.**

En esta etapa nos orientaremos a comunicar y verificar que las personas a cargo de los trabajos en el Lanzado de Shotcrete y aquellas personas relacionadas a esta actividad, cuenten con la información y los medios para la correcta realización del trabajo de Lanzado de Shotcrete, ya sea esta información como procedimientos de trabajo, Planes de Inspección y Test,

Especificaciones Técnicas, Materiales Aprobados, Formatos de Campo, Planes y Manuales de Calidad, Estado de Equipos etc.

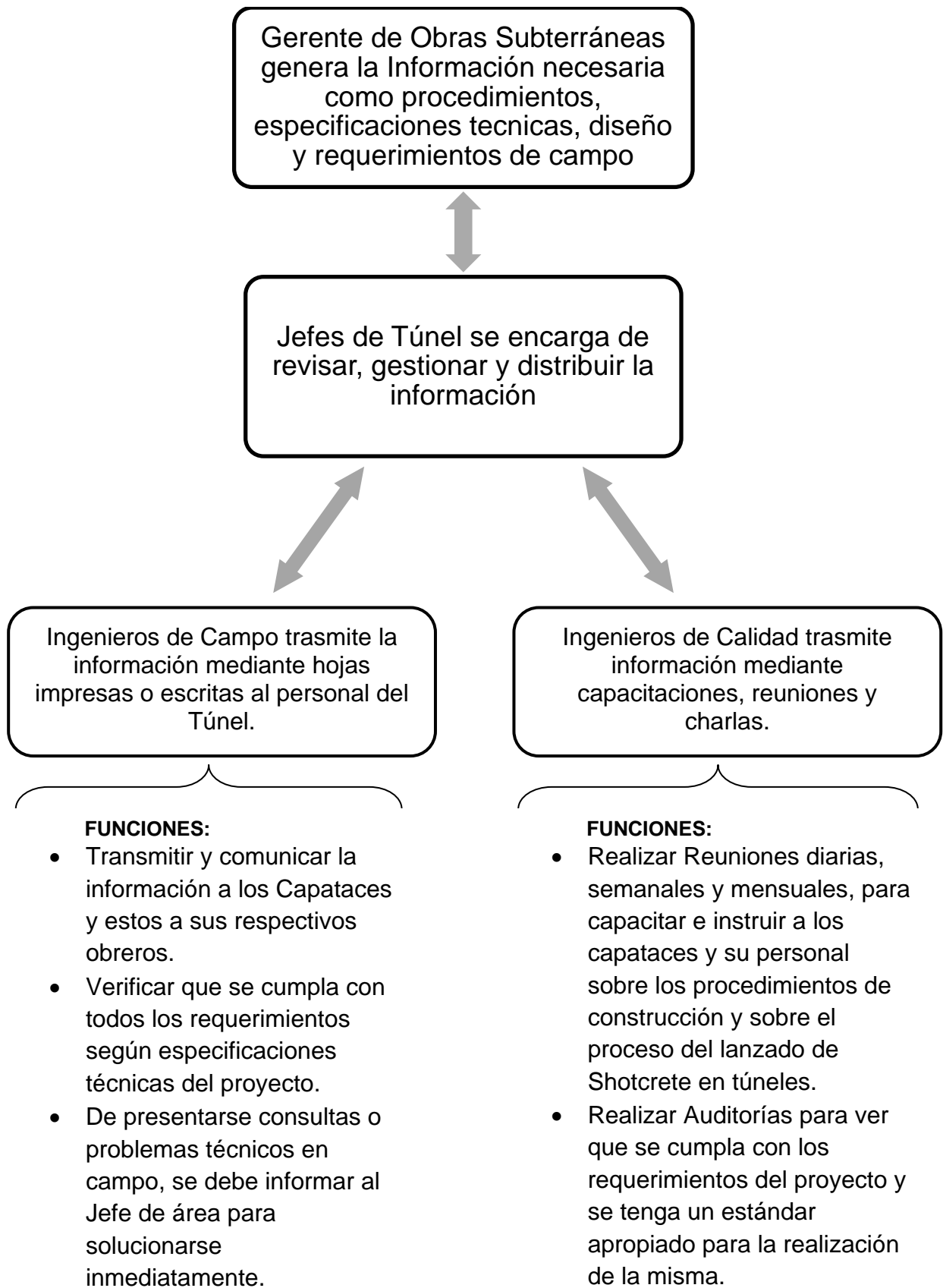
El proceso de comunicación de la información hacia el personal será descrito en forma de un flujograma para ver la secuencia de la organización.

De manera adicional, también se propone considerar auditorías realizadas interna y externamente.

#### **4.3.1. Transmisión de Información a las áreas Relacionadas con el Lanzado de Shotcrete.**

- a) Área de Personal en Túneles:** Transmitir información al personal relacionado con las actividades del lanzado de Shotcrete mediante charlas, reuniones, capacitaciones técnicas, entrega de procedimientos y especificaciones técnicas, esto se hace con la finalidad que el personal sepa que hacer en todo el proceso del lanzado de Shotcrete.

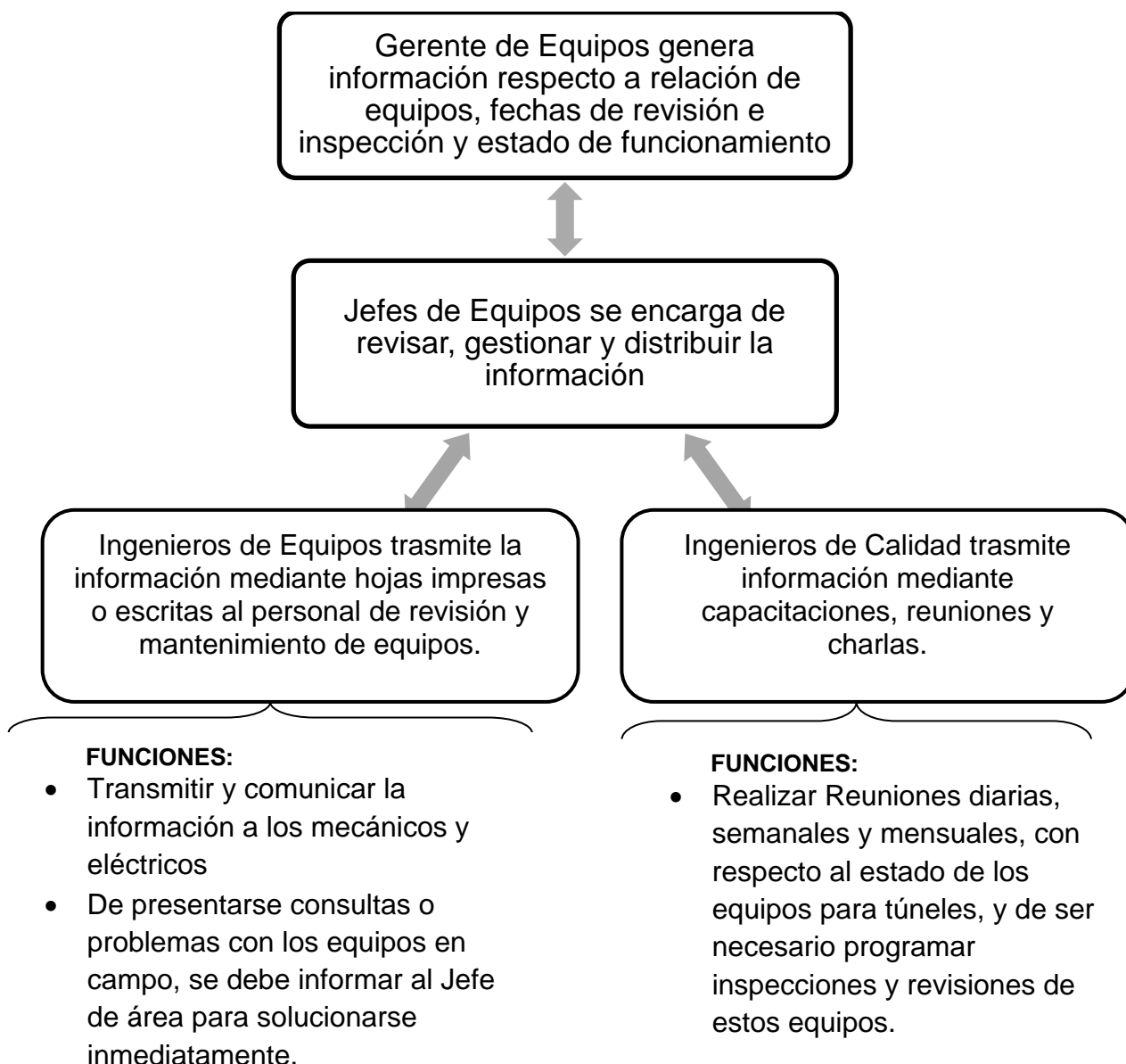
Para este caso se realiza un flujograma donde se muestra la secuencia del traspaso de información fundamental para el proceso del lanzado de Shotcrete hacia el personal. Se muestra el siguiente gráfico N°17:



**Gráfico N°17: Transmisión de Información hacia el Área de Personal**

**b) Área de Equipos para Túneles:** Transmitir información al área de equipos, para que cuenten con un proceso o flujo de información necesaria relacionada con el Lanzado de Shotcrete, sus funciones de esta área son la de revisión e inspección de equipos para que tengan un adecuado funcionamiento.

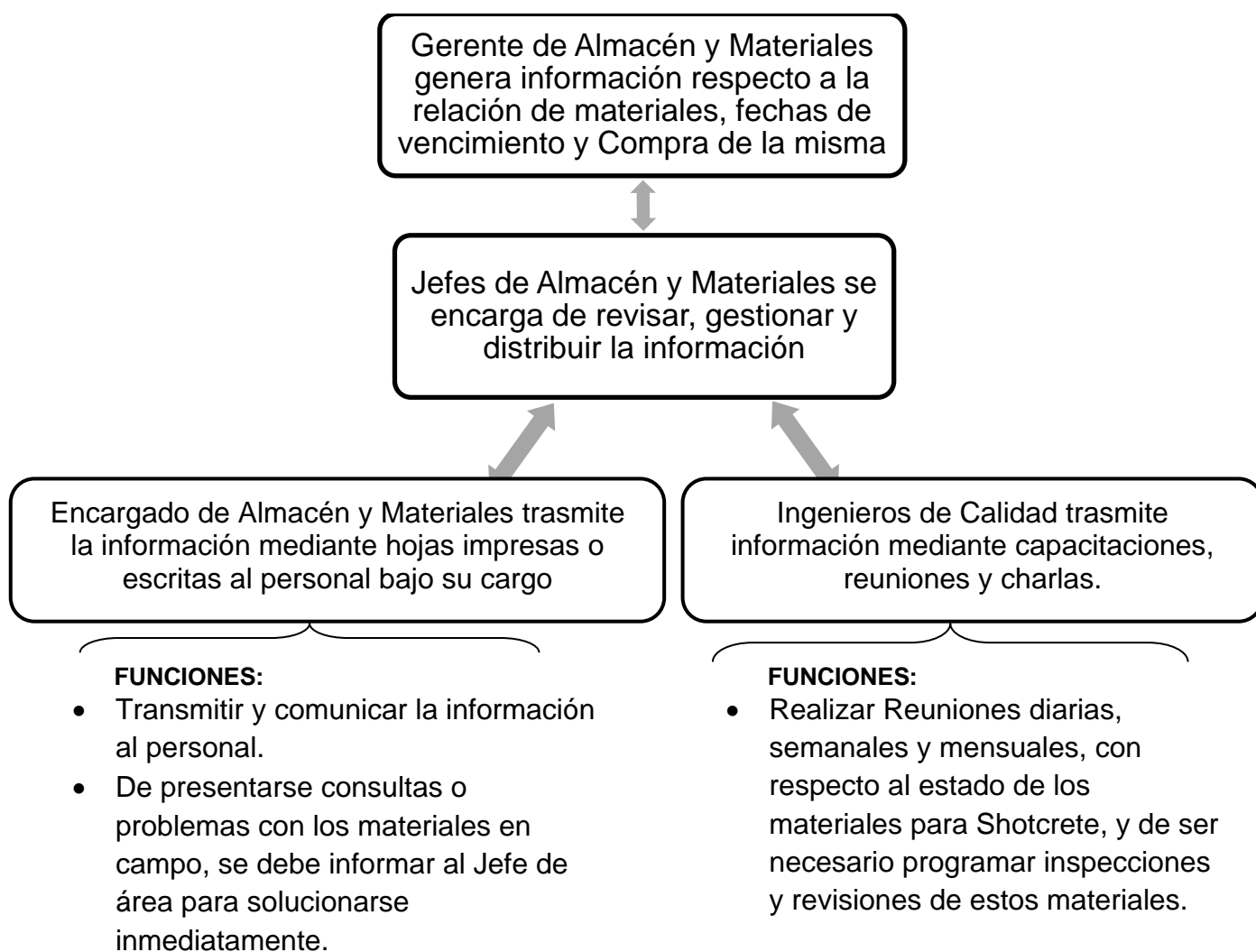
Para este caso se realiza un flujograma en el gráfico N°18, donde se muestra la secuencia del traspaso de información fundamental para el proceso del lanzado de Shotcrete hacia el área de equipos.



**Grafico N°18: Transmisión de Información hacia el Área de Equipos**

- c) **Área de Materiales para Túneles:** Transmitir información al área de almacén de materiales, para que cuenten con un proceso o flujo de información necesaria relacionada con el Shotcrete, sus funciones de esta área son las de un correcto almacenaje de materiales o insumos, control de fechas de vencimiento, y compra de materiales que sirvan para la preparación de Shotcrete y que cumplan con los requerimientos de diseño y especificaciones técnicas.

Para este caso se realiza un flujograma en el gráfico N°19 donde se muestra la secuencia del traspaso de información fundamental para el proceso del lanzado de Shotcrete hacia el área de materiales.



**Gráfico N°19: Transmisión de Información hacia el Área de Materiales**

#### **4.3.2. Auditorías Internas y Externas**

Las auditorías se realizan como un medio de aseguramiento y control del proyecto, ya que mediante éstas se detectan problemas y deficiencias en las diferentes actividades relacionadas con el proyecto, a estas deficiencias se las llaman de ahora en adelante como No Conformidades, las cuales tienen que ser superadas y levantadas con rapidez para que no se tenga problemas con las próximas auditorías, el Proyecto Cheves contaba con un procedimiento en Auditorías de Calidad, pero no es muy específico en relación a cronogramas y controles en cada área.

Para nuestro caso en particular veremos auditorías internas y externas relacionadas con el túnel de conducción y el proceso de Lanzado de Shotcrete. En el caso de estudio no contó con un programa de auditorías internas, y se realizaban solo cuando se presentaban algunas deficiencias en los avances del túnel de conducción.

Por tal motivo se plantea seguir un cronograma de auditorías a las diferentes áreas involucradas en el proceso de lanzado de Shotcrete, ya sea internas, realizadas por el mismo contratista, o externas, realizadas por la supervisión o cliente, conforme se visualiza en las tablas N°26 y 27.

Auditorías Internas para el Contratista													
Área	Ítem	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PERSONAL	Informes actualizados	✓						✓					
	Acta de Reuniones y capacitaciones			✓						✓			
EQUIPOS	Informe de Revisión e Inspección	✓						✓					
	Informe de Funcionamiento			✓						✓			
	Programación de Mantenimiento					✓						✓	
MATERIALES	Relación de Materiales	✓						✓					✓
	Fechas de Vencimiento						✓						✓
	Registro de Compras					✓						✓	

Tabla N° 26: Auditorías Internas

Auditorías Externas por parte de la Supervisión y/o el Cliente													
Área	Ítem	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PERSONAL	Informes actualizados			✓								✓	
	Acta de Reuniones y capacitaciones			✓								✓	
EQUIPOS	Informe de Revisión e Inspección			✓								✓	
	Informe de Funcionamiento			✓				✓				✓	
	Programación de Mantenimiento							✓				✓	
MATERIALES	Relación de Materiales			✓				✓				✓	
	Fechas de Vencimiento							✓				✓	
	Registro de Compras							✓				✓	

Tabla N° 27: Auditorías Externas

#### **4.4. Control de Calidad en el Proceso de Lanzado de Shotcrete en Túneles**

Para el control de la calidad nos ceñiremos a las medidas encontradas en el punto **4.2.2 Características medibles en el proceso de lanzado de Shotcrete**, identificando las acciones y herramientas implementadas en el control de cada proceso del lanzado de Shotcrete además de señalar los responsables de contrastar lo ejecutado versus lo planeado.

##### **4.4.1. Herramientas para el control de cada proceso del lanzado**

Se detalla la forma de evaluación de cada proceso del lanzado de Shotcrete señalando las mediciones a tomar para su mejor control.

##### **1. Evaluación geológica**

En este punto no se realizara alguna medición, debido a que esta evaluación es elaborada por un grupo de geólogos (contratista y supervisión), los cuales designan un sostenimiento de acuerdo a la estructura del macizo rocoso, solo nos guiaremos de su instrucción.

##### **2. Limpieza del área de trabajo:**

Primero se evaluará en conjunto con topografía la sección del túnel si cumple con los requisitos teóricos. Revisaremos con cautela una adecuada limpieza del frente o área del lanzado, inspeccionando que no exista detritos sueltos, aceites, materiales extraños, etc, además de colocar mangueritas si existieran flujos de agua por el macizo rocoso.

Checklist visual previo al lanzado de Shotcrete:

- Verificación de la Sección del túnel.



- Limpieza adecuada con agua a presión.
- Colocación de mangueritas

### **3. Preparación del Shotcrete:**

Aquí las mediciones de Shotcrete comprenden a las plantas de concreto y Shotcrete y los insumos de para la preparación del Shotcrete.

Medidas de control:

- Verificaciones de plantas trimestralmente, además presentar una certificación de la planta de concreto mensual.
- Checklist de almacenaje en los lotes cemento o bolsas big-bag, cuidando temperatura, apilación, distancia del suelo.
- Checklist de almacenaje de aditivos plastificante, retardantes, expansor, incorporador de aire, etc, fibra metálica.
- Certificados actualizados, de la obtención de agua del rio Checras y Huara.
- Pruebas de granulometría, ensayo de abrasión los ángeles, límites de Atteberg y ensayos geológicos para el estudio de las canteras

### **4. Instalación de equipos de Lanzado**

Evaluamos las medidas más óptimas para el control en la instalación de equipos para el Lanzado de Shotcrete. Analizando una mejora en el reporte de revisión.

Medidas de control:

- Revisión semanal de los equipos de lanzado con entrega de hoja de reporte.

- Camiones mixer, revisado diariamente luego y después del uso, identificando las posibles causas en una hoja de reporte.

## **5. Lanzado de Shotcrete:**

Se realiza una inspección visual y se detalla en un formato checklist para la etapa de lanzado de shotcrete donde se identifican las mejoras para optimización.

- La forma del lanzado:
  - ángulo de la boquilla, 90°.
  - distancia de la boquilla, 1 m.
  - movimiento de la boquilla, circular.
- Shotcrete sobre elementos de acero (cimbras, marcos o acero de refuerzo):
  - Lanzamiento perpendicular al elemento de acero.
- Progreso del trabajo (Juntas de construcción, capas múltiples, límites de tiempo o vida del Shotcrete fresco).
  - Lanzar 1.50 metros en la zona de Shotcrete “antiguo” (turno pasado), a manera de traslape.
  - 1 hora en de vida útil de Shotcrete.

## **6. Pruebas posteriores**

Se identifican los controles para la medición de espesores y la prueba de vacíos. La medición de espesores es importante debido a que con esta

constatamos lo instruido por geología, y la prueba de vacíos encontramos las partes sueltas o de lanzado deficiente.

Medidas de control:

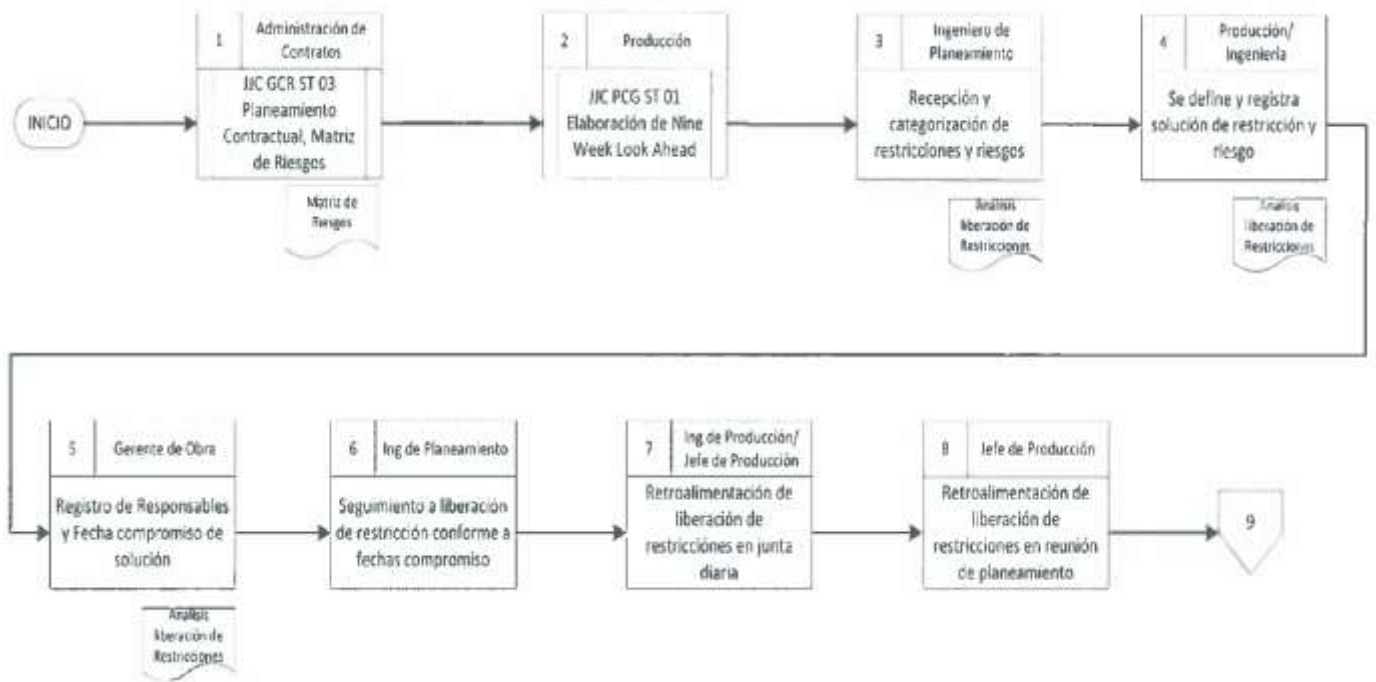
- En la medición de espesores se hacen agujeros en Shotcrete con una pistola Hilti, cada 1.25 metros con una malla de 3-4, primero dos agujeros en hastiales (Izquierdo y derecho) y un agujero en bóveda, luego 2 agujeros en hastiales (Izquierdo y derecho) y dos en bóveda (bóveda izquierda y bóveda derecha). Ver protocolo de liberación de Shotcrete.
- En la prueba de vacios, se golpea con un martillo la sección del túnel identificando los sonidos “huecos” o “bombos” para su posterior análisis por el área de geología. Ver protocolo prueba de vacios.

#### **4.4.2. Responsables de Planificación y Ejecución del Lanzado de Shotcrete**

Los responsables del lanzado de Shotcrete en el túnel de conducción, son el área de producción los cuales planifican también las actividades a desarrollar, evaluando las necesidades del proyecto, previa aprobación de los trabajos planeados por el área de planeamiento y luego por gerencia de obra.

Luego si los cumplimientos no son los esperados el área de producción debe remitir los resultados con una debida justificación al área de planeamiento para su mejor control y en una reunión con gerencia mostrar los puntos en los cuales no cumplen con las metas trazadas.

A continuación se muestra un flujograma en el gráfico N°20, el cual muestra la liberación de riesgos y restricciones el cual nos sirve como ejemplo aplicativo:



**Gráfico N°20: Flujograma de Liberación de Riesgos y Restricciones**

## Conclusiones

1. En el proceso de Shotcreteado en túneles es muy conveniente seguir los lineamientos del PMBoK, habiéndose formulado propuestas específicas que se presentan en el capítulo IV.
2. En la investigación se identificaron los procesos constructivos para el Lanzado de Shotcrete en el sostenimiento del túnel que se tomo como caso de estudio, evaluando las distintas fases de trabajo, hallándose mediante un análisis de causa raíz distintas falencias en el ciclo de trabajo, conllevando a retrasos en los cronogramas y elevando los costos.
3. Los costos de Shotcrete instalado en el túnel mas el costo de las reparaciones que se hicieron por una mala instalación, del caso de estudio fueron contractualmente 475,114,69 US\$ y el monto real ejecutado fue de 1'018,520.89 US\$, donde se puede apreciar un incremento de 214.4%, estos incrementos en los costos se debieron a una mala instalación del Shotcrete, incumplimiento de procedimientos de trabajo en el túnel, excesiva cantidad de Shotcrete instalado en el túnel, por lo que se concluye que mediante la aplicación de la guía del PMBoK, y usando sus procesos de planificación, aseguramiento y control de calidad se puede reducir este excesivo costo, ya que conllevaría a un proceso de lanzado de Shotcrete mas optimo.
4. Los inadecuados procedimientos en el Lanzado de Shotcrete, las constantes fallas mecánicas en los equipos de proyección de Shotcrete como es el caso del Robot Alpha 20 y un inadecuado flujo de información hacia el personal, provocaron que las fechas de finalización de la construcción del túnel se extendieran en 232 días, por lo que se concluye que usando la planificación y el aseguramiento de la gestión de la calidad de la guía del PMBoK, se puede obtener un control más optimo de los avances en los túneles, y que realizando auditorías internas y externas constantemente se puede detectar los errores en cada fase del proceso de Shotcreteado, pudiendo de esta manera superar estos errores, esto conllevaría a aplicar una mejora continua

en cada etapa del proceso de Shotcreteado, por lo que quedaría registrado, pudiéndose usar para futuros proyectos tuneleros.

5. En base a los resultados de la investigación, señalamos que el cubicaje colocado en el sostenimiento con Shotcrete del caso de estudio, ha generado un incremento en los costos y en el tiempo de los cronogramas de avances en los túneles, por lo que se concluye que usando el sistema de gestión de calidad de la guía del PMBoK, se podrá planificar las actividades, asegurar y revisar lo proyectado y mejorar el buen control de los procedimientos de construcción en la etapa previa, durante y después del lanzamiento de Shotcrete, revisando y mejorando lo planificado de acuerdo al avance del proyecto.
6. Con el método de Aplicación del PMBOK, en el área de conocimiento de gestión de calidad se encontraron falencias claves en el caso del proyecto estudiado que provocaron los retrasos en tiempo y costos:
  - Check list, pre y durante el vaciado de Shotcrete.
  - Falta de conocimiento de los procedimientos por los ejecutores del proceso constructivo.
  - Revisiones de los equipos para la operación de lanzamiento de Shotcrete.
7. Mediante el correcto aseguramiento en el proceso de lanzamiento de Shotcrete bajo la guía del PMKBoK, se logrará obtener resultados al momento de la instalación del Shotcrete, esto se debe a que el personal a cargo en los túneles contará con los planes de calidad y procedimientos, adicionalmente se contará con auditorías periódicas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y poder hacer un seguimiento a las no conformidades que se presenten en las etapas del lanzamiento de Shotcrete, y con esto realizar un análisis de mejora continua.
8. Para una adecuada planificación de la calidad en el sostenimiento de los túneles, mediante el Shotcrete, es importante el control de los materiales y

equipos que se usan para la producción e instalación de Shotcrete, la identificación de óptimos materiales mediante pruebas de suelos y geológicas en el caso de agregados y certificados de calidad para los lotes de cemento son de menester para la elaboración de concreto proyectado, además de lograr que las maquinarias y equipos tengan un mantenimiento semanal o mensual, con esto se ayudara al correcto funcionamiento de los equipos y no retrasen los avances en los túneles.

## Recomendaciones

1. En el proceso de Shotcreteado de túneles es recomendable seguir los lineamientos del PMBOK según se establece las propuestas específicas que se presentan en el capítulo IV.
2. Se recomienda tener una planificación en gestión de calidad usando la guía del PMBoK, bien estructurada, es decir que tenga alcances claramente definidos, que se presenten estándares y normativas que ayuden a un proceso del lanzado de Shotcrete, y como resultado nos da los entregables que son el producto de la culminación de una fase del proyecto o el proyecto en sí. La planificación se realiza en la etapa previa al inicio de construcción, pero se controla durante la etapa constructiva.
3. Se recomienda realizar el aseguramiento de gestión de calidad usando la guía del PMBoK, mediante charlas y capacitaciones informativas, hacia las áreas involucradas al lanzado de Shotcrete, que son el área de personal, maquinarias y equipos, ya que si estas áreas cuentan con la información necesaria como los procedimientos, especificaciones técnicas y plantillas que ayuden con su labor, estos realizarán una labor de lanzado de Shotcrete optima, reduciendo así los excesos de costos y tiempos.
4. Se recomienda realizar el aseguramiento de gestión de calidad usando la guía del PMBoK, mediante auditorías internas y externas, ya que esto permite determinar si las actividades del lanzado de Shotcrete cumplen con los procesos y procedimientos ya establecidos en el proyecto, caso contrario si se encontrara actividades que no cumplen con las procedimientos, se realizaría una no conformidad, debiéndose rectificar lo antes posible, estas auditorías permiten implementar los procesos y a su vez incrementar la productividad del lanzado de Shotcrete.
5. Se recomienda realizar un flujo de información que englobe a todas las áreas involucradas en el Lanzado de Shotcrete, este flujograma debe



contener el traslado de información desde su creación y aprobación, así como las nuevas revisiones que tenga, y su difusión y distribución hacia los frentes de trabajo, mejorando de esta manera los envíos y recepción de información en todo el proyecto.

6. Se recomienda realizar un control de gestión de calidad usando la guía del PMBoK, mediante pruebas medibles que indiquen el proceso de las actividades del lanzamiento de Shotcrete, en este caso estas pruebas son indicadas por normas y estándares internacionales, pero en lo que se tiene que tener énfasis es en la de indicar a responsables que se encarguen de comprar lo ejecutado versus lo planeado, ya que con esto se tendrá un control de como se está realizando cada fase del lanzamiento de Shotcrete y poderlo corregir rápida y adecuadamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Abad, A. y Huissa, F. (2011):** Procedimientos de excavación y sostenimiento de túneles proyecto derivación Huascacocha-Rímac. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma.
2. **Espejo, A. (2013):** Aplicación de la extensión para la construcción de la guía del PMBOK – Tercera edición, en la Gerencia de proyecto de una presa de relaves en la unidad operativa Arcata-Arequipa. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú.
3. **ETSIM Madrid (2003):** Manual de túneles y obras subterráneas, Editorial UPM 4ta edición.
4. **Melbye, T. (2000):** Shotcrete para Soporte de Roca, 1ra Edición
5. **Meza, M.J. (1989):** Sistemas de sostenimiento en excavaciones de túneles
6. **Perri, G. (2004):** Túneles Excavados Convencionalmente: Geomecánica Soportes y Revestimientos
7. **Project Management Body of Knowledge PMBOK (2013):** PMI, 5ta edition.
8. **Romana, M. (2000):** Recomendaciones de Sostenimiento para Túneles
9. **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía:** Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea
10. **Tamez, E. (2000):** Diseño Geotécnico de Túneles

**11.** Conferencia Internacional de Túneles y Desarrollo del Espacio Subterráneo 2014. Desarrollado en Lima, Perú.

**12.** Base de Datos del Proyecto Hidroeléctrico Cheves (2011-2015).

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de Consistencia

Tema: Gestión de Calidad en el Proceso de Lanzado de Shotcrete en Túneles

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología	Tipo y Diseño
<p><b>Problema general</b> De qué manera la aplicación del sistema de <b>Gestión de Calidad</b>, influye en el adecuado proceso de <b>Lanzado de Shotcrete</b> en túneles, usando la guía del PMBoK.</p>	<p><b>Objetivo general</b> Elaborar una propuesta de <b>Gestión de Calidad</b> para optimizar el proceso de <b>Lanzado de Shotcrete</b> en túneles, usando la guía del PMBoK y se use para futuros proyectos.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Plantear una propuesta de <b>Gestión de Calidad</b> en túneles, se mantendrá un adecuado proceso de <b>Lanzado de Shotcrete</b> mediante el uso de la guía del PMBoK.</p>	<p>VI. <b>Gestión de Calidad</b></p> <p>VD. <b>Lanzado de Shotcrete</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación de información.</li> <li>Estudiar y aplicar el área de conocimiento de la Gestión de Calidad de la guía del PMBoK.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La investigación no es experimental y de enfoque cualitativo en su mayor parte y cuantitativo en los que resta.</li> </ul>
<p><b>Problema específico 1</b> Se cree que los <b>Procesos constructivos</b> en túneles, influyen en la determinación de deficiencias y fallas del <b>Proceso de Shotcreteado</b>.</p>	<p><b>Objetivo específico 1</b> Evaluar los <b>Procesos constructivos</b> en túneles con la finalidad de rectificar las deficiencias y fallas del <b>Proceso de Shotcreteado</b>.</p>	<p><b>Hipótesis específico 1</b> Aplicando la guía del PMBoK en los <b>Procesos constructivos</b> se logrará mitigar las deficiencias y fallas del <b>Proceso de Shotcreteado</b>.</p>	<p>VI. <b>Procesos constructivos</b></p> <p>VD. <b>Proceso de Shotcreteado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar las cantidades de Shotcrete usado en el caso de estudio, para analizar los costos y tiempos, y poder discutir los resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El diseño de la investigación es longitudinal ya que se toma como referencia el inicio del caso de estudio que es del 2011 hasta la fecha.</li> </ul>
<p><b>Problema específico 2</b> Se piensa que la <b>Planificación y Aseguramiento de la Calidad</b> en túneles, influye en el correcto <b>Control de Shotcreteado</b>.</p>	<p><b>Objetivo específico 2</b> Mejorar los procesos de <b>Planificación y Aseguramiento de la Calidad</b> en túneles, para optimizar las actividades relacionadas con el <b>Control de Shotcreteado</b>.</p>	<p><b>Hipótesis específico 2</b> Evaluando los procesos de <b>Planificación y Aseguramiento de la Calidad</b> en túneles, se logrará mitigar las causas que provocan un mal <b>Control de Shotcreteado</b>.</p>	<p>VI. <b>Planificación y Aseguramiento de la Calidad</b></p> <p>VD. <b>Control de Shotcreteado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar los diferentes procesos que están relacionados con el sistema de Shotcreteado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El tipo de investigación es de alcance descriptivo y explicativo.</li> </ul>

## Anexo 2: Avances Diarios en Túnel de Conducción

Se muestran a continuación los avances diarios en el túnel de conducción entre las progresivas 3+501.20 hasta 4+503.20, conteniendo el tipo de roca, espesor de Shotcrete en centímetros, así como cantidades de Shotcrete y su costo de instalación teórica y real.

Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
jul	11/07/2013	3+501.20	3+504.40	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
jul	10/07/2013	3+504.40	3+507.90	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	9.00	1,862.61	3,274.11
jul	10/07/2013	3+507.90	3+510.80	2.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.83	7.00	1,028.87	2,546.53
jul	09/07/2013	3+510.80	3+514.80	4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.85	7.00	2,128.70	2,546.53
jul	07/07/2013	3+514.80	3+518.30	3.5	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	7.00	1,241.74	2,546.53
jul	06/07/2013	3+518.30	3+521.60	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	7.00	1,170.78	2,546.53
jul	05/07/2013	3+521.60	3+525.30	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	7.00	1,312.70	2,546.53

Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
jul	05/07/2013	3+525.30	3+528.20	2.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.83	7.00	1,028.87	2,546.53
jul	04/07/2013	3+528.20	3+531.20	3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	7.00	1,064.35	2,546.53
jul	03/07/2013	3+531.20	3+533.90	2.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.63	7.00	957.91	2,546.53
jul	02/07/2013	3+533.90	3+537.30	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	7.00	1,809.39	2,546.53
jul	02/07/2013	3+537.30	3+540.60	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	7.00	1,170.78	2,546.53
jul	01/07/2013	3+540.60	3+544.10	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	7.00	1,241.74	2,546.53
jul	01/07/2013	3+544.10	3+547.60	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	7.00	1,241.74	2,546.53
jun	30/06/2013	3+547.60	3+551.50	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	7.00	1,383.65	2,546.53
jun	29/06/2013	3+551.50	3+554.70	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
jun	29/06/2013	3+554.70	3+558.30	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	7.00	1,277.22	2,546.53
jun	28/06/2013	3+558.30	3+561.50	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
jun	28/06/2013	3+561.50	3+564.70	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
jun	27/06/2013	3+564.70	3+568.10	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	7.00	1,206.26	2,546.53
jun	25/06/2013	3+568.10	3+571.30	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
jun	25/06/2013	3+571.30	3+574.80	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	7.00	1,241.74	2,546.53
jun	24/06/2013	3+574.80	3+578.10	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	7.00	1,170.78	2,546.53
jun	24/06/2013	3+578.10	3+581.80	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	7.00	1,312.70	2,546.53
jun	23/06/2013	3+581.80	3+585.00	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	7.00	1,702.96	2,546.53
jun	22/06/2013	3+585.00	3+588.00	3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	7.00	1,064.35	2,546.53
jun	22/06/2013	3+588.00	3+591.20	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	7.00	1,702.96	2,546.53
jun	21/06/2013	3+591.20	3+594.60	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	7.00	1,809.39	2,546.53
jun	21/06/2013	3+594.60	3+597.70	3.1	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.53	9.00	1,649.74	3,274.11
jun	20/06/2013	3+597.70	3+600.60	2.9	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.24	8.50	1,543.31	3,092.22
jun	20/06/2013	3+600.60	3+603.90	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	9.00	1,756.18	3,274.11
jun	19/06/2013	3+603.90	3+607.70	3.8	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	10.50	2,022.26	3,819.80
jun	19/06/2013	3+607.70	3+610.90	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	9.00	1,702.96	3,274.11
jun	18/06/2013	3+610.90	3+614.50	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	6.50	1,915.83	2,364.64
jun	18/06/2013	3+614.50	3+617.10	2.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	3.80	8.00	1,383.65	2,910.32
jun	17/06/2013	3+617.10	3+620.50	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	9.50	1,809.39	3,456.01
jun	17/06/2013	3+620.50	3+623.70	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	7.00	1,702.96	2,546.53
jun	15/06/2013	3+623.70	3+627.20	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	10.00	1,862.61	3,637.90
jun	15/06/2013	3+627.20	3+630.70	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	7.00	1,862.61	2,546.53
jun	14/06/2013	3+630.70	3+633.30	2.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	3.80	9.00	1,383.65	3,274.11
jun	14/06/2013	3+633.30	3+636.30	3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	7.00	1,596.52	2,546.53
jun	12/06/2013	3+636.30	3+639.30	3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	7.00	1,596.52	2,546.53
jun	10/06/2013	3+639.30	3+642.30	3	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	9.00	1,596.52	3,274.11
jun	09/06/2013	3+642.30	3+645.70	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	9.00	1,809.39	3,274.11
jun	08/06/2013	3+645.70	3+648.70	3	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	8.00	1,596.52	2,910.32
jun	07/06/2013	3+648.70	3+652.20	3.5	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	10.00	1,862.61	3,637.90
may	30/05/2013	3+652.20	3+656.30	4.1	III	7.50	Whole Section	Con	AT	6.00	8.00	2,181.92	2,910.32
may	30/05/2013	3+656.30	3+659.50	3.2	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	7.00	1,702.96	2,546.53
may	29/05/2013	3+659.50	3+662.30	2.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.10	8.00	1,490.09	2,910.32
may	28/05/2013	3+662.30	3+664.60	2.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	3.36	7.00	1,224.00	2,546.53
may	28/05/2013	3+664.60	3+667.20	2.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.54	7.00	922.44	2,546.53
may	27/05/2013	3+667.20	3+670.00	2.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.10	9.00	1,490.09	3,274.11
may	27/05/2013	3+670.00	3+673.20	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	7.00	1,702.96	2,546.53
may	26/05/2013	3+673.20	3+676.20	3	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	9.00	1,596.52	3,274.11
may	25/05/2013	3+676.20	3+679.70	3.5	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	8.00	1,862.61	2,910.32
may	25/05/2013	3+679.70	3+683.80	4.1	III	7.50	Whole Section	Con	AT	6.00	7.00	2,181.92	2,546.53
may	24/05/2013	3+683.80	3+687.00	3.2	IV	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	8.00	1,702.96	2,910.32
may	23/05/2013	3+687.00	3+690.00	3	III	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	8.00	1,064.35	2,910.32

Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
may	23/05/2013	3+690.00	3+693.50	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
may	22/05/2013	3+693.50	3+697.10	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
may	21/05/2013	3+697.10	3+700.50	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	8.00	1,206.26	2,910.32
may	20/05/2013	3+700.50	3+703.70	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
may	20/05/2013	3+703.70	3+707.60	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	7.50	1,383.65	2,728.43
may	19/05/2013	3+707.60	3+711.20	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
may	18/05/2013	3+711.20	3+714.30	3.1	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.02	9.00	1,099.83	3,274.11
may	18/05/2013	3+714.30	3+717.80	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	8.00	1,241.74	2,910.32
may	17/05/2013	3+717.80	3+721.40	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	8.00	1,277.22	2,910.32
may	16/05/2013	3+721.40	3+724.60	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	6.00	1,135.31	2,182.74
may	16/05/2013	3+724.60	3+728.00	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	7.50	1,206.26	2,728.43
may	15/05/2013	3+728.00	3+731.70	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	8.00	1,312.70	2,910.32
may	15/05/2013	3+731.70	3+735.40	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	7.00	1,312.70	2,546.53
may	14/05/2013	3+735.40	3+739.30	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	7.00	1,383.65	2,546.53
may	14/05/2013	3+739.30	3+742.80	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
may	13/05/2013	3+742.80	3+746.20	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	7.00	1,206.26	2,546.53
may	11/05/2013	3+746.20	3+749.90	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	7.00	1,312.70	2,546.53
may	10/05/2013	3+749.90	3+752.90	3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	9.00	1,064.35	3,274.11
may	10/05/2013	3+752.90	3+756.40	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
may	09/05/2013	3+756.40	3+760.30	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	6.50	1,383.65	2,364.64
may	08/05/2013	3+760.30	3+764.40	4.1	II	5.00	Whole Section	Con	AT	4.00	9.00	1,454.61	3,274.11
may	07/05/2013	3+764.40	3+767.90	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
may	07/05/2013	3+767.90	3+771.90	4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.90	9.00	1,419.13	3,274.11
may	05/05/2013	3+771.90	3+775.80	3.9	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.71	7.00	2,075.48	2,546.53
may	04/05/2013	3+775.80	3+779.30	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
may	03/05/2013	3+779.30	3+782.60	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	6.00	1,756.18	2,182.74
may	02/05/2013	3+782.60	3+786.20	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
abr	30/04/2013	3+786.20	3+789.40	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	7.00	1,702.96	2,546.53
abr	30/04/2013	3+789.40	3+792.80	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	9.00	1,809.39	3,274.11
abr	29/04/2013	3+792.80	3+796.10	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	8.00	1,756.18	2,910.32
abr	29/04/2013	3+796.10	3+799.70	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	9.00	1,915.83	3,274.11
abr	27/04/2013	3+799.70	3+803.50	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	9.00	2,022.26	3,274.11
abr	27/04/2013	3+803.50	3+807.20	3.7	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	8.00	1,312.70	2,910.32
abr	26/04/2013	3+807.20	3+810.60	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	10.00	1,206.26	3,637.90
abr	25/04/2013	3+810.60	3+814.30	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
abr	24/04/2013	3+814.30	3+818.00	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	8.00	1,312.70	2,910.32
abr	24/04/2013	3+818.00	3+821.80	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	8.00	1,348.18	2,910.32
abr	23/04/2013	3+821.80	3+825.30	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	8.00	1,241.74	2,910.32
abr	22/04/2013	3+825.30	3+829.00	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	8.00	1,312.70	2,910.32
abr	22/04/2013	3+829.00	3+832.20	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	10.00	1,702.96	3,637.90
abr	21/04/2013	3+832.20	3+836.00	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	9.00	2,022.26	3,274.11
abr	20/04/2013	3+836.00	3+839.30	3.3	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	9.00	1,756.18	3,274.11
abr	19/04/2013	3+839.30	3+842.70	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	9.00	1,809.39	3,274.11
abr	18/04/2013	3+842.70	3+846.30	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
abr	17/04/2013	3+846.30	3+850.20	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	9.00	1,383.65	3,274.11
abr	16/04/2013	3+850.20	3+853.70	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	12.00	1,241.74	4,365.48
abr	16/04/2013	3+853.70	3+856.90	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	9.00	1,702.96	3,274.11
abr	15/04/2013	3+856.90	3+860.10	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	9.00	1,135.31	3,274.11
abr	14/04/2013	3+860.10	3+863.80	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
abr	13/04/2013	3+863.80	3+867.60	3.8	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	15.00	1,348.18	5,456.85
abr	12/04/2013	3+867.60	3+871.10	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11

Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
abr	12/04/2013	3+871.10	3+874.70	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	15.00	1,277.22	5,456.85
abr	11/04/2013	3+874.70	3+878.30	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
abr	10/04/2013	3+878.30	3+881.80	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
abr	09/04/2013	3+881.80	3+885.60	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	9.00	1,348.18	3,274.11
abr	09/04/2013	3+885.60	3+888.50	2.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.83	9.00	1,028.87	3,274.11
abr	08/04/2013	3+888.50	3+892.10	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
abr	07/04/2013	3+892.10	3+895.80	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
abr	02/04/2013	3+895.80	3+899.30	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	7.00	1,241.74	2,546.53
abr	02/04/2013	3+899.30	3+903.10	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	9.00	1,348.18	3,274.11
abr	01/04/2013	3+903.10	3+906.60	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
mar	31/03/2013	3+906.60	3+910.00	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	7.00	1,206.26	2,546.53
mar	30/03/2013	3+910.00	3+913.00	3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	7.00	1,064.35	2,546.53
mar	29/03/2013	3+913.00	3+916.90	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	9.00	1,383.65	3,274.11
mar	29/03/2013	3+916.90	3+920.20	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	7.00	1,170.78	2,546.53
mar	28/03/2013	3+920.20	3+923.40	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	7.00	1,135.31	2,546.53
mar	27/03/2013	3+923.40	3+926.20	2.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.73	9.00	993.39	3,274.11
mar	27/03/2013	3+926.20	3+929.30	3.1	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.02	9.00	1,099.83	3,274.11
mar	26/03/2013	3+929.30	3+932.70	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	10.00	1,206.26	3,637.90
mar	25/03/2013	3+932.70	3+935.40	2.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.63	9.00	957.91	3,274.11
mar	25/03/2013	3+935.40	3+939.10	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
mar	24/03/2013	3+939.10	3+942.70	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
mar	23/03/2013	3+942.70	3+945.90	3.2	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	9.00	1,135.31	3,274.11
mar	23/03/2013	3+945.90	3+949.60	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
mar	22/03/2013	3+949.60	3+953.20	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
mar	21/03/2013	3+953.20	3+956.80	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
mar	21/03/2013	3+956.80	3+960.10	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	9.00	1,170.78	3,274.11
mar	20/03/2013	3+960.10	3+963.50	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	9.00	1,206.26	3,274.11
mar	19/03/2013	3+963.50	3+967.00	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	9.00	1,241.74	3,274.11
mar	18/03/2013	3+967.00	3+970.40	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	9.00	1,206.26	3,274.11
mar	18/03/2013	3+970.40	3+974.10	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	12.00	1,312.70	4,365.48
mar	16/03/2013	3+974.10	3+977.80	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
mar	15/03/2013	3+977.80	3+981.40	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
mar	15/03/2013	3+981.40	3+984.70	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	9.00	1,170.78	3,274.11
mar	14/03/2013	3+984.70	3+988.30	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
mar	14/03/2013	3+988.30	3+991.70	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	9.00	1,206.26	3,274.11
mar	13/03/2013	3+991.70	3+995.50	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	9.00	1,348.18	3,274.11
mar	12/03/2013	3+995.50	3+999.10	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
mar	11/03/2013	3+999.10	4+002.70	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	9.00	1,277.22	3,274.11
mar	11/03/2013	4+002.70	4+006.50	3.8	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	12.00	1,348.18	4,365.48
mar	09/03/2013	4+006.50	4+010.40	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	15.00	1,383.65	5,456.85
mar	08/03/2013	4+010.40	4+014.50	4.1	II	5.00	Whole Section	Con	AT	4.00	12.00	1,454.61	4,365.48
mar	07/03/2013	4+014.50	4+018.30	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	12.00	1,348.18	4,365.48
mar	07/03/2013	4+018.30	4+021.80	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	10.00	1,241.74	3,637.90
mar	06/03/2013	4+021.80	4+025.50	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
mar	06/03/2013	4+025.50	4+029.30	3.8	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
mar	05/03/2013	4+029.30	4+032.90	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	9.00	1,915.83	3,274.11
mar	04/03/2013	4+032.90	4+036.70	3.8	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
mar	03/03/2013	4+036.70	4+040.40	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
mar	02/03/2013	4+040.40	4+043.90	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	12.00	1,862.61	4,365.48
mar	01/03/2013	4+043.90	4+047.20	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	12.00	1,756.18	4,365.48
mar	01/03/2013	4+047.20	4+050.20	3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	12.00	1,596.52	4,365.48



Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
feb	28/02/2013	4+050.20	4+053.60	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	9.00	1,809.39	3,274.11
feb	27/02/2013	4+053.60	4+057.00	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	26/02/2013	4+057.00	4+060.60	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
feb	26/02/2013	4+060.60	4+064.20	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
feb	25/02/2013	4+064.20	4+067.60	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	23/02/2013	4+067.60	4+071.10	3.5	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	9.00	1,862.61	3,274.11
feb	23/02/2013	4+071.10	4+074.60	3.5	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	12.00	1,862.61	4,365.48
feb	22/02/2013	4+074.60	4+078.40	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
feb	21/02/2013	4+078.40	4+081.50	3.1	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.53	12.00	1,649.74	4,365.48
feb	20/02/2013	4+081.50	4+084.80	3.3	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	12.00	1,756.18	4,365.48
feb	19/02/2013	4+084.80	4+088.20	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	18/02/2013	4+088.20	4+091.60	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	16/02/2013	4+091.60	4+095.40	3.8	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
feb	16/02/2013	4+095.40	4+098.80	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	15/02/2013	4+098.80	4+102.60	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
feb	14/02/2013	4+102.60	4+106.40	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
feb	13/02/2013	4+106.40	4+109.80	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	13/02/2013	4+109.80	4+113.50	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
feb	12/02/2013	4+113.50	4+116.60	3.1	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.53	12.00	1,649.74	4,365.48
feb	12/02/2013	4+116.60	4+120.20	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
feb	11/02/2013	4+120.20	4+123.60	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	10/02/2013	4+123.60	4+127.20	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
feb	09/02/2013	4+127.20	4+130.60	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
feb	08/02/2013	4+130.60	4+134.30	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
ene	29/01/2013	4+134.30	4+137.80	3.5	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	12.00	1,862.61	4,365.48
ene	28/01/2013	4+137.80	4+141.40	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	14.00	1,915.83	5,093.06
ene	25/01/2013	4+141.40	4+145.30	3.9	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.71	12.00	2,075.48	4,365.48
ene	24/01/2013	4+145.30	4+148.60	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	12.00	1,756.18	4,365.48
ene	23/01/2013	4+148.60	4+152.20	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	15.00	1,915.83	5,456.85
ene	22/01/2013	4+152.20	4+156.10	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	12.00	1,383.65	4,365.48
ene	22/01/2013	4+156.10	4+159.80	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
ene	21/01/2013	4+159.80	4+163.50	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	14.00	1,969.05	5,093.06
ene	20/01/2013	4+163.50	4+166.70	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	14.00	1,702.96	5,093.06
ene	19/01/2013	4+166.70	4+170.30	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
ene	18/01/2013	4+170.30	4+173.50	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	14.00	1,702.96	5,093.06
ene	17/01/2013	4+173.50	4+177.10	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
ene	17/01/2013	4+177.10	4+180.60	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	9.50	1,862.61	3,456.01
ene	16/01/2013	4+180.60	4+184.00	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
ene	15/01/2013	4+184.00	4+187.10	3.1	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.53	15.00	1,649.74	5,456.85
ene	15/01/2013	4+187.10	4+190.80	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	14.00	1,969.05	5,093.06
ene	14/01/2013	4+190.80	4+194.50	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	14.00	1,969.05	5,093.06
ene	12/01/2013	4+194.50	4+197.60	3.1	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.53	14.00	1,649.74	5,093.06
ene	12/01/2013	4+197.60	4+201.40	3.8	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	14.00	2,022.26	5,093.06
ene	10/01/2013	4+201.40	4+205.10	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	14.00	1,969.05	5,093.06
ene	09/01/2013	4+205.10	4+208.10	3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	14.00	1,596.52	5,093.06
ene	08/01/2013	4+208.10	4+211.00	2.9	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.24	14.00	1,543.31	5,093.06
ene	08/01/2013	4+211.00	4+214.60	3.6	II	10.00	Whole Section	Con	AT	7.02	14.00	2,554.44	5,093.06
ene	07/01/2013	4+214.60	4+218.00	3.4	III	10.00	Whole Section	Con	AT	6.63	12.00	2,412.53	4,365.48
ene	05/01/2013	4+218.00	4+221.50	3.5	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	12.00	1,862.61	4,365.48
ene	04/01/2013	4+221.50	4+225.20	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
dic	21/12/2012	4+225.20	4+228.70	3.5	III	10.00	Whole Section	Con	AT	6.83	12.00	2,483.48	4,365.48

Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
dic	20/12/2012	4+228.70	4+232.40	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
dic	20/12/2012	4+232.40	4+235.80	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
dic	19/12/2012	4+235.80	4+239.60	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	12.00	2,022.26	4,365.48
dic	18/12/2012	4+239.60	4+242.80	3.2	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	10.00	1,702.96	3,637.90
dic	17/12/2012	4+242.80	4+246.70	3.9	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.71	12.00	2,075.48	4,365.48
dic	15/12/2012	4+246.70	4+250.10	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	12.00	1,809.39	4,365.48
dic	14/12/2012	4+250.10	4+253.30	3.2	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	12.00	1,702.96	4,365.48
dic	13/12/2012	4+253.30	4+256.60	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	15.00	1,756.18	5,456.85
dic	12/12/2012	4+256.60	4+260.20	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	12.00	1,915.83	4,365.48
dic	12/12/2012	4+260.20	4+263.70	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	9.00	1,862.61	3,274.11
dic	11/12/2012	4+263.70	4+267.00	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	15.00	1,756.18	5,456.85
dic	10/12/2012	4+267.00	4+270.60	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	10.00	1,915.83	3,637.90
dic	09/12/2012	4+270.60	4+273.90	3.3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.83	9.50	1,756.18	3,456.01
dic	08/12/2012	4+273.90	4+277.10	3.2	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.68	8.00	1,702.96	2,910.32
dic	07/12/2012	4+277.10	4+280.90	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	11.00	2,022.26	4,001.69
dic	06/12/2012	4+280.90	4+283.40	2.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	3.66	12.00	1,330.44	4,365.48
dic	06/12/2012	4+283.40	4+287.00	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	8.00	1,915.83	2,910.32
dic	05/12/2012	4+287.00	4+290.50	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	8.00	1,862.61	2,910.32
dic	04/12/2012	4+290.50	4+294.10	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	8.00	1,915.83	2,910.32
dic	03/12/2012	4+294.10	4+297.80	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	9.00	1,969.05	3,274.11
dic	02/12/2012	4+297.80	4+301.50	3.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	12.00	1,969.05	4,365.48
dic	01/12/2012	4+301.50	4+305.20	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	11.00	1,969.05	4,001.69
nov	30/11/2012	4+305.20	4+308.80	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	7.50	1,915.83	2,728.43
nov	24/11/2012	4+308.80	4+312.50	3.7	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
nov	24/11/2012	4+312.50	4+316.20	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	9.00	1,312.70	3,274.11
nov	23/11/2012	4+316.20	4+319.80	3.6	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	9.00	1,915.83	3,274.11
nov	22/11/2012	4+319.80	4+322.70	2.9	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.24	9.00	1,543.31	3,274.11
nov	22/11/2012	4+322.70	4+325.80	3.1	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.53	9.00	1,649.74	3,274.11
nov	21/11/2012	4+325.80	4+328.80	3	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	9.00	1,596.52	3,274.11
nov	20/11/2012	4+328.80	4+331.80	3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	9.00	1,596.52	3,274.11
nov	20/11/2012	4+331.80	4+334.30	2.5	III	10.00	Whole Section	Con	AT	4.88	9.00	1,773.92	3,274.11
nov	19/11/2012	4+334.30	4+337.20	2.9	III	10.00	Whole Section	Con	AT	5.66	9.00	2,057.74	3,274.11
nov	17/11/2012	4+337.20	4+340.00	2.8	III	10.00	Whole Section	Con	AT	5.46	12.00	1,986.79	4,365.48
nov	16/11/2012	4+340.00	4+343.30	3.3	III	10.00	Whole Section	Con	AT	6.44	12.00	2,341.57	4,365.48
nov	16/11/2012	4+343.30	4+346.50	3.2	III	10.00	Whole Section	Con	AT	6.24	12.00	2,270.61	4,365.48
nov	15/11/2012	4+346.50	4+349.20	2.7	III	7.50	Whole Section	Con	AT	3.95	8.00	1,436.87	2,910.32
nov	14/11/2012	4+349.20	4+352.90	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	18.00	1,969.05	6,548.22
nov	13/11/2012	4+352.90	4+356.40	3.5	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.12	8.00	1,862.61	2,910.32
nov	12/11/2012	4+356.40	4+360.10	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	8.00	1,969.05	2,910.32
nov	11/11/2012	4+360.10	4+364.00	3.9	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.71	7.00	2,075.48	2,546.53
nov	10/11/2012	4+364.00	4+367.80	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	7.00	2,022.26	2,546.53
nov	09/11/2012	4+367.80	4+371.60	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	9.50	1,348.18	3,456.01
nov	09/11/2012	4+371.60	4+375.70	4.1	II	5.00	Whole Section	Con	AT	4.00	7.00	1,454.61	2,546.53
nov	08/11/2012	4+375.70	4+379.60	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	6.00	1,383.65	2,182.74
nov	07/11/2012	4+379.60	4+383.00	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	7.00	1,206.26	2,546.53
nov	06/11/2012	4+383.00	4+386.50	3.5	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	11.00	1,241.74	4,001.69
nov	05/11/2012	4+386.50	4+389.50	3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	13.00	1,064.35	4,729.27
nov	04/11/2012	4+389.50	4+393.20	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	5.00	1,312.70	1,818.95
nov	03/11/2012	4+393.20	4+396.80	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	6.00	1,277.22	2,182.74
nov	03/11/2012	4+396.80	4+400.40	3.6	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	6.00	1,277.22	2,182.74
nov	02/11/2012	4+400.40	4+404.20	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	6.00	1,348.18	2,182.74

Soporte Inicial													
Mes	Fecha	Progresiva		Longitud de Avance	Clase de Roca	Espesor del Shotcrete (cm)	Seccion	Fibra	At / Behind The Face	Volumen de Shotcrete Teorico (m3)	Volumen de Shotcrete Real (m3)	Precio Teorico de Shotcrete	Precio Real de Shotcrete
		Inicial	Final									US \$	US \$
nov	02/11/2012	4+404.20	4+407.80	3.6	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	6.00	1,277.22	2,182.74
nov	01/11/2012	4+407.80	4+411.50	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	6.00	1,312.70	2,182.74
oct	31/10/2012	4+411.50	4+415.20	3.7	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.61	5.00	1,312.70	1,818.95
oct	31/10/2012	4+415.20	4+419.20	4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.90	6.00	1,419.13	2,182.74
oct	30/10/2012	4+419.20	4+422.80	3.6	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.27	6.00	1,915.83	2,182.74
oct	30/10/2012	4+422.80	4+426.50	3.7	II	7.50	Whole Section	Con	AT	5.41	7.50	1,969.05	2,728.43
oct	29/10/2012	4+426.50	4+429.80	3.3	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	6.00	1,170.78	2,182.74
oct	29/10/2012	4+429.80	4+433.40	3.6	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	6.00	1,277.22	2,182.74
oct	27/10/2012	4+433.40	4+437.30	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	6.00	1,383.65	2,182.74
oct	27/10/2012	4+437.30	4+441.10	3.8	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.71	6.00	1,348.18	2,182.74
oct	26/10/2012	4+441.10	4+444.60	3.5	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	6.00	1,241.74	2,182.74
oct	26/10/2012	4+444.60	4+447.90	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	6.00	1,170.78	2,182.74
oct	24/10/2012	4+447.90	4+451.40	3.5	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.41	6.00	1,241.74	2,182.74
oct	23/10/2012	4+451.40	4+453.80	2.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.34	6.00	851.48	2,182.74
oct	19/10/2012	4+453.80	4+457.70	3.9	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.80	3.50	1,383.65	1,273.27
oct	18/10/2012	4+457.70	4+460.70	3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	9.00	1,064.35	3,274.11
oct	18/10/2012	4+460.70	4+464.30	3.6	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.51	6.00	1,277.22	2,182.74
oct	17/10/2012	4+464.30	4+467.40	3.1	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.02	6.00	1,099.83	2,182.74
oct	16/10/2012	4+467.40	4+470.40	3	III	5.00	Whole Section	Con	AT	2.93	6.00	1,064.35	2,182.74
oct	11/10/2012	4+470.40	4+473.80	3.4	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.32	6.00	1,206.26	2,182.74
oct	10/10/2012	4+473.80	4+476.80	3	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.39	7.50	1,596.52	2,728.43
oct	10/10/2012	4+476.80	4+480.00	3.2	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.12	6.00	1,135.31	2,182.74
oct	09/10/2012	4+480.00	4+483.10	3.1	III	5.00	Whole Section	Con	AT	3.02	6.00	1,099.83	2,182.74
oct	08/10/2012	4+483.10	4+486.90	3.8	III	7.50	Whole Section	Con	AT	5.56	7.00	2,022.26	2,546.53
oct	08/10/2012	4+486.90	4+490.30	3.4	III	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	8.50	1,809.39	3,092.22
oct	06/10/2012	4+490.30	4+493.60	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	8.00	1,170.78	2,910.32
oct	06/10/2012	4+493.60	4+497.00	3.4	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.97	8.00	1,809.39	2,910.32
oct	05/10/2012	4+497.00	4+500.30	3.3	II	5.00	Whole Section	Con	AT	3.22	7.00	1,170.78	2,546.53
oct	04/10/2012	4+500.30	4+503.20	2.9	II	7.50	Whole Section	Con	AT	4.24	10.00	1,543.31	3,637.90
<b>Total</b>										<b>1,240.12</b>	<b>2,696.50</b>	<b>451,142.40</b>	<b>980,959.73</b>
<b>Porcentaje</b>										<b>217%</b>	<b>217%</b>	<b>217%</b>	<b>217%</b>

### Anexo 3: Secuencia del Avance en el Túnel de Conducción

- Perforación del Frente del Túnel



- Carguío con material explosivo, voladura y ventilación del Túnel



- **Desatado o Desquinche de Roca Suelta después de la Voladura**



- **Retiro del Desmorte de Roca con Equipo ITC**



- Retiro del Desmonte de Roca hacia del túnel con Dumpers



- Frente del Túnel después de la Voladura y Retiro de Desmonte





- Evaluación Geológica por parte del Contratista y la Supervisión



- Producción de Shotcrete en la Planta de Concreto



- **Sostenimiento con Shotcrete, y se reinicia con la secuencia de avance en el túnel de conducción.**





#### Anexo 4: Fallas y Deficiencias en el Proceso del Lanzado de Shotcrete

- Filtraciones de Agua provocan que el Shotcrete se dañe



- Presencia de Fisura en el Shotcrete, debido a un mal proceso en el lanzado del Shotcrete.



- Desprendimiento del Shotcrete



- Desprendimiento del Shotcrete



- Falta de Adherencia entre la Roca y el Shotcrete, y Falta de Espesor



- Componentes del Shotcrete en mal estado de conservación





- **Materiales en Mal estado de Conservación**




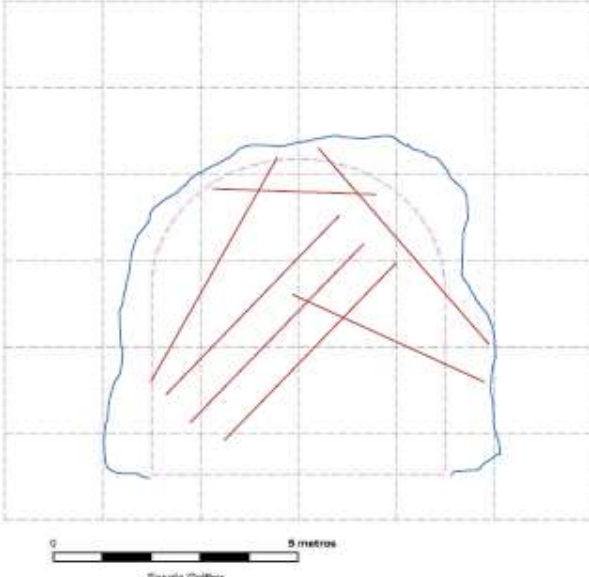


- **Problemas Mecánicos con el Equipo Proyector de Shotcrete**



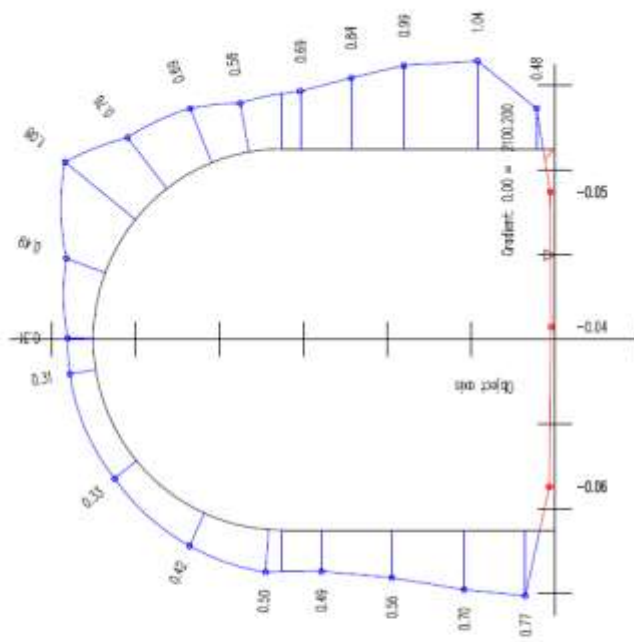
- **Problemas Mecánicos con el Equipo Proyector de Shotcrete**



## Anexo 5: Indicación Geológica por Avance del Túnel

	HYDROPOWER CHEVES			DATE
	ADIT TUNEL DR-05			23-sep-12
	OVERBREAK REPORT			
IDENTIFICATION	FACE	CH	4+557,50	TO
				4+554,40
LITHOLOGY	Tonalite			
	CROSS SECTION		FEATURES OVERBREAK	
		LOCATION OVERBREAK	RIGHT AND LEFT WALL AND VAULT	
		CAUSES (geological, mechanical, other)	Joints System, oxides and clays	
		ACTIONS	Increase the rock support	
RECOMMENDED INITIAL SUPPORT	SHOTCRETE	ROCK BOLTS	STEEL REINFORCE	
	7.5 cm with fiber. Whole section	CT bolts, rows 7-8, D=19 mm, @ 1.5 x 1.5 m. L=3.0 m,	_____	
SUPPORT	TYPE III			
CCH Remarks		NPE Remarks		
				
PHOTOS				
.....	.....	.....	.....	.....
CCH REPRESENTATIVE	DATE	NPE REPRESENTATIVE	DATE	

Drive 05 - TAR  
 Drive 05-TAR-Road-Bath  
 S = 1 : 50  
 Chainage = 4555.015  
 TM = 4547.015  
 Sta. Cross Section 0102608  
 Points transformed on file 1  
 Drawn in axis direction  
 Point range P42N00550148 - P42N00550171



Overbreak : 8.643  
 Underbreak : -1.282  
 Projection : 30.936  
 Thor. area : 22.577

CCH CONSULTORES CHEVES		HYDROPOWER CHEVES		DATE																																																																					
		HEADRACE UPSTREAM DR05		23-sep-12																																																																					
IDENTIFICATION		GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION																																																																							
FACE	CH	4+557,50	TO	4+554,40																																																																					
LITHOLOGY		Tonallite																																																																							
VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 5.1.2.2)		GEOMECHANICAL CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)																																																																							
A1	Very Good	Jv < 5/m <sup>3</sup>																																																																							
A2	Good	5 < Jv < 10	RQD = 115	- 3.3 Jv																																																																					
A3	Fair	10 < Jv < 20																																																																							
A4	Poor	Jv > 20	RQD = 51	%																																																																					
A5	Ext. Poor	Jv > 20																																																																							
GEOMECHANICS CLASIFICACION "Q" (Barton), PARAMETERS																																																																									
RQD	51	Jn	6	8,50																																																																					
Jr	1,5	Ja	2	0,75																																																																					
Jw	1	SRF	25	0,04																																																																					
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		0,26																																																																							
		RMR																																																																							
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)		ASSESSMENT	RATING																																																																					
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	6	28																																																																					
		D2	4																																																																						
		D3	3																																																																						
		AVERAGE	4																																																																						
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	3-10m	2																																																																					
		Aperture	0.1-3 mm	3																																																																					
		Roughness	S.Rough	3																																																																					
		Infilling	H>5mm	2																																																																					
		Weathering	Moderately	3																																																																					
TOTAL		51																																																																							
RMR(5)	GROUNDWATER STATE		Dry	15																																																																					
FRACTURE ORIENTATION				-7																																																																					
RMR RATING				59																																																																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">SYSTEM</th> <th colspan="6">STRUCTURE/JOINTS</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>6</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TYPE</td> <td>J</td> <td>J</td> <td>J</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIP DIRECTION</td> <td>180</td> <td>20</td> <td>220</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIP</td> <td>60</td> <td></td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>THICKNESS (cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>INFILLING</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FILTRATION</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>J</td> <td>Joint</td> <td>Zfault</td> <td>Zona de Falla</td> <td>C</td> <td>Contact</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hd</td> <td colspan="2">Humid a few drippings</td> <td colspan="3">Hs</td> <td>Many drippings</td> </tr> </tbody> </table>			SYSTEM	STRUCTURE/JOINTS						1	2	3	4	6	8	TYPE	J	J	J				DIP DIRECTION	180	20	220				DIP	60		50				THICKNESS (cm)							INFILLING							FILTRATION							J	Joint	Zfault	Zona de Falla	C	Contact		Hd	Humid a few drippings		Hs			Many drippings
SYSTEM	STRUCTURE/JOINTS																																																																								
	1	2	3	4	6	8																																																																			
TYPE	J	J	J																																																																						
DIP DIRECTION	180	20	220																																																																						
DIP	60		50																																																																						
THICKNESS (cm)																																																																									
INFILLING																																																																									
FILTRATION																																																																									
J	Joint	Zfault	Zona de Falla	C	Contact																																																																				
Hd	Humid a few drippings		Hs			Many drippings																																																																			
		PHOTOGRAPHY																																																																							
INITIAL SUPPORT RECOMMENDED																																																																									
Rock support type III																																																																									
7.5 cm shotcrete whole section																																																																									
Systematic CT-bolts, Rows 7-9@1.5x1.5 m, L=3.0 m. D=19 mm																																																																									
CCH REPRESENTATIVE	LAE	DATE	NPE REPRESENTATIVE	DATE																																																																					



# Anexo 6: Front Page de los Procedimientos de Calidad en el Lanzado de Shotcrete



## Quality Management PE-CHP\_PLN\_QM-002 Quality Plan for Concrete, Aggregates and Shotcrete Production. *Plan de Calidad de producción de concreto, agregados y shotcrete*

CHEVES  
Hydro Power Project

Quality Department

PE-CHP\_PLN\_QM-002  
Quality Plan for Concrete,  
Aggregates and Shotcrete  
Production / Plan de  
Calidad de producción de  
concreto, agregados y  
shotcrete

Scope, Validity / Alcance, Validez	El presente documento establece los sistemas de organización, producción y control de concreto, shotcrete y agregados para el presente proyecto. / The following document establishes the organizational, concrete, shotcrete and aggregates production and control in this project.		Page 1 of 20 26.05.2013 Versión 02 Sign: CLL												
Responsible for implementation / Responsable por su implementación	Materials Expert Engineer / Ingeniero Experto en Materiales														
Distribution list / Lista de Distribución	Construction Manager, Plant & Machinery Manager, Quality Manager, Material Expert Engineer, QA/QC Supervisors, Chief of Laboratory / Gerente de Construcción, Gerente de Planta y Maquinaria, Gerente de Calidad, Ingeniero Experto en Materiales, Supervisores de Calidad, Jefe de Laboratorio														
02	26.05.2013	Batching and mixing details added / Se agregan detalles de producción y mezclado													
01	29.11.2012	Issued for Approval / Emitido para Aprobación													
00	14.11.2012	Issued for Review / Emitido para Revisión													
Rev.	Date	Description / Descripción													
			<b>DOCUMENT REVIEW Cheves Project</b>												
			<table border="1"> <tr> <th>Category</th> <th>Technical Review</th> <th>HSE Review</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;"> <b>APPROVED BY</b>                  Approved by                  Construction Manager             </td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> </tr> </table>	Category	Technical Review	HSE Review	A	<b>APPROVED BY</b> Approved by Construction Manager		B		C			
Category	Technical Review	HSE Review													
A	<b>APPROVED BY</b> Approved by Construction Manager														
B															
C															
<table border="1"> <tr> <td></td> <td> <b>PREPARED BY</b>                  Elaborado por                  Material Expert /                  Plant Superintendent             </td> <td> <b>REVIEWED BY</b>                  Revisado por                  QM Manager             </td> </tr> <tr> <td>Name / Nombre</td> <td>J. Cortés</td> <td>C. Leal</td> </tr> <tr> <td>Date / Fecha</td> <td>26.05.2013</td> <td>27.07.13</td> </tr> <tr> <td>Signature / Firma</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				<b>PREPARED BY</b> Elaborado por Material Expert / Plant Superintendent	<b>REVIEWED BY</b> Revisado por QM Manager	Name / Nombre	J. Cortés	C. Leal	Date / Fecha	26.05.2013	27.07.13	Signature / Firma			C. Reitschel  27.07.13
	<b>PREPARED BY</b> Elaborado por Material Expert / Plant Superintendent	<b>REVIEWED BY</b> Revisado por QM Manager													
Name / Nombre	J. Cortés	C. Leal													
Date / Fecha	26.05.2013	27.07.13													
Signature / Firma															

# Quality Management

## PE-CHP\_PLN\_QM-001

### Project Quality Plan / Plan de Calidad del Proyecto

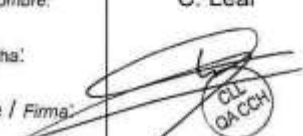


CHEVES  
Hydro Power Project

PE-CHP\_PLN\_QM-001  
Project Quality Plan / Plan  
de Calidad del Proyecto

Page 1 of 29  
10.02.2012  
Index 03  
Sign CLL

Scope, Validity / <i>Alcance, Validez</i>	The following document sets out the Quality Assurance System for the Project. / <i>El presente documento establece el Sistema para el Aseguramiento de Calidad en el Proyecto.</i>
Responsible for implementation / <i>Responsable por su Implementación</i>	Project Management, Department Managements and all people involved in the projects execution. / <i>Gerencia del Proyecto, Gerencias de los Departamentos y todas las personas participando en la ejecución del proyecto.</i>
Distribution list / <i>Lista de Distribución</i>	Department Managers, Subcontractors / <i>Gerentes de los Departamentos, Subcontratistas</i>

<b>03</b>	10.02.2012	Chapter 4. Contract Management added/ <i>Capitulo 4 agregado "Contract Management"</i>  Changes to Chapter 19. Internal Audits./ <i>Cambios al capitulo 19 Auditorias internas</i>
<b>02</b>	28.02.2011	Spanish Translation Added / <i>Traducción al Español añadida</i> Structura updated under chapter 3.2 / <i>Actualización de la estructura del capitulo 3.2.</i> Level 4: Head of Department deleted and text adapted. / <i>Nivel 4 Jefe de Departamento eliminado y texto adaptado.</i> Chapter 19: Head of Department deleted and text adapted. / <i>Nivel 4 Jefe de Departamento eliminado y texto adaptado.</i>
<b>01</b>	18.02.2011	HOCHTIEF Construction AG changed to HOCHTIEF Solutions AG / <i>HOCHTIEF Construcción AG cambiado a HOCHTIEF Solutions AG</i>
<b>00</b>	17.12.2010	Issued for Approval / <i>Emitido para Aprobación</i>
<b>Rev.</b>	<b>Date</b>	<b>Description / Descripción</b>

	PREPARED BY <i>Elaborado por</i> QM-Manager	REVIEWED BY <i>Revisado por</i> Com. Manager	APPROVED BY <i>Aprobado por</i> Project Manager
Name / <i>Nombre:</i>	C. Leal	S. Refisch	H. Andersson
Date / <i>Fecha:</i>			
Signature / <i>Firma:</i>			

## Quality Management

### PE-CHP\_WP\_LAB-003


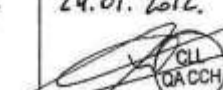
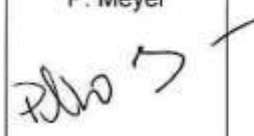
Ensayo de medición de espesor y verificación de vacíos en el concreto lanzado / *Thickness measurement test and hollow verification in the shotcrete.*

PE-CHP\_WP\_LAB-003  
Ensayo de medición de espesor y verificación de vacíos en el concreto lanzado

Page 1 of 4  
06.01.2012  
Index 04  
Sign MGA

Scope, Validity / <i>Alcance, Validez</i>	The purpose of this test method is to determine the thickness and verification of voids absence of concrete support. This test method is applicable to the support of simple and reinforced shotcrete with fibers / <i>El objetivo de este método de ensayo es determinar el espesor y la verificación de ausencia de vacíos del concreto lanzado de soporte. Este método de ensayo es aplicable al soporte de concreto lanzado simple y reforzado con fibra /</i>
Responsible for implementation / <i>Responsable para su implementación</i>	Quality Department and Site laboratory / <i>Departamento de calidad y laboratorio de obra.</i>
Distribution list / <i>Lista de Distribución</i>	This is to all the personnel involved in the support process of the tunnels: Operations, quality and laboratory. / <i>A todo el personal involucrado en el proceso de soporte de túneles: Operaciones, calidad y laboratorio.</i>

04	06.01.2012	Changes in equipment and procedure
03	04.01.2012	Changes in area of testing and marking
02	04.11.2011	Issued for approval / <i>Elaborado para aprobación</i>
01	26.10.2011	Issued for approval / <i>Elaborado para aprobación</i>
<b>Rev.</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>

	PREPARED BY <i>Elaborado por</i> QAQC Supervisor	REVIEWED BY <i>Revisado por</i> QA-Engineer	APPROVED BY <i>Aprobado por</i> Construction Manager
Name / <i>Nombre:</i>	M. Gonza	C. Leal	P. Meyer
Date / <i>Fecha:</i>	06/01/2012	24.01.2012.	
Signature / <i>Firma:</i>			

## Quality Department

### PE-CHP\_WP\_LAB-010

#### Sampling and Handling of Shotcrete Specimens / Muestreo y Manipulación de Especímenes de Shotcrete.

CHEVES  
Hydro Power Project

Quality Department







PE-CHP\_WP\_LAB-010  
Sampling and Handling of  
Shotcrete Specimens /  
Muestreo y manipulación  
de especímenes de  
Shotcrete

Scope, Validity / <i>Alcance, Validez</i>	To standardize the sampling and handling of shotcrete specimens and align the methods to international norms / <i>Estandarizar el muestreo y manipulación de especímenes de shotcrete y alinear los métodos a normas internacionales.</i>
Responsible for implementation / <i>Responsable para su Implementación</i>	Laboratory Manager / <i>Jefe de Laboratorio</i>
Distribution list / <i>Lista de Distribución</i>	Quality Manager, Lab. Manager, Lab Technicians, Construction Manager, Tunnel Superintendents. <i>/Gerente de Calidad, Jefe de Laboratorio, Técnicos de Laboratorio, Gerente de Producción, Superintendentes de Túnel.</i>

Page 1 of 6  
11.05.2013

Index: 01  
Sign: CLL

01	11.05.2013	Issued for Approval / <i>Elaborado para Aprobación</i>
00	09.05.2013	Issued for Review / <i>Elaborado para Revisión</i>
<b>Rev.</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>

	PREPARED BY <i>Preparado por</i> Lab Manager	REVIEWED BY <i>Revisado por</i> Quality Engineer	APPROVED BY <i>Aprobado por</i> Quality Manager
Name / <i>Nombre:</i>	J. JOAQUÍN PP	Diego H. Romero	C. LEAL
Date / <i>Fecha:</i>	13/05/2013	13-05-13	13.05.13
Signature / <i>Firma:</i>			
			



# Quality Management

## PE-CHP\_WP\_QAC-002

### Techniques for Shotcrete/ Técnicas de lanzado de shotcrete

CHEVES  
Hydro Power Project  
Quality Management

PE-CHP\_WP\_QAC-002  
Techniques for Shotcrete  
Spraying / Técnicas de Lanzado de shotcrete

Page 1 of 18  
02.11.2013

Index 02  
Sign CLL

Alcance/Validez <i>Scope/Validity</i>	To standarize guidelines in techniques for shotcrete spraying in order to obtain a good quality of shotcrete by improving the spraying technique to achieve an adequate compaction, uniform spraying and reduction in rebound percentage... / <i>Uniformar criterios en las técnicas de lanzado de shotcrete para así lograr una calidad óptima del shotcrete mejorando su técnica de colación de manera de lograr una compactación adecuada, proyección uniforme y reducción en el % de rebote, entre otras cosas.</i>
Responsable por implementación <i>Responsible for implementation</i>	Quality and Construction Management, site supervisors / <i>Gerencias de Calidad y Construcción, supervisors de frente de trabajo.</i>
Lista de distribución <i>Distribution List</i>	Operators, Quality and H&S Supervisors, and foremen. / <i>Operadores, supervisors de calidad y seguridad, y capataces.</i>

02	02.11.2013	Additional points related to the preparation of working area have been added / <i>Se han adicionado puntos adicionales relacionados a la preparación del área de trabajo.</i>
01	14.09.2012	Issued for Approval / <i>Emitido para Aprobación</i>
00	14.09.2012	Issued for Revision / <i>Emitido para Revisión</i>
<b>Rev.</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>

	PREPARADO POR QM –Manager <i>PREPARED BY</i>	REVISADO POR Material Expert <i>CHECKED BY</i>	APROBADO POR CM – Manager <i>APPROVED BY</i>
Name/ <i>Nombre:</i>	C. Leal	J. Cortés	C. Rietschel
Date/ <i>Fecha:</i>	02.11.2013	PP	
Signature/ <i>Firma:</i>			

# Method Statement

## PE-CHP\_MS\_TU-002

### Excavation of Headrace Tunnel

CHEVES  
Hydro Power Project


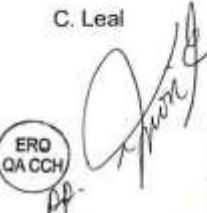

Construction Dept.

PE-CHP\_MS\_TU-002  
Excavation of Headrace  
Tunnel

Page 1 of 29  
11.09.2012  
Index 04  
Sign CRL

Scope, Validity	This method statement describes the general excavation of the Headrace Tunnel
Responsible for implementation	Construction Manager, Underground Works Department Manager
Distribution list	Construction Manager, Underground Works Department Manager, Section Engineer, Section Foreman, Plant & Machinery Manager, Laboratory

<b>04</b>	11.09.2012	Complementing medium and high stress conditions
<b>03</b>	02.05.2012	Complementing criteria for excavation in 14% slope
<b>02</b>	04.05.2011	Minor changes to text, based on comments by NorConsult
<b>01</b>	14.12.2010	New Document Name, supplemented certain quantities, new rock mass quality distribution, new layout, chapter safety amended
<b>00</b>	20.08.2010	1. Issue
<b>Rev.</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>

	PREPARED BY CM - Manager	REVIEWED BY QM - Manager	APPROVED BY CM - Manager
Name:	C. Rietschel	C. Leal	C. Rietschel
Date:			
Signature:			



**Construction Department**  
**PE-CHP\_WP\_TU-023**  
**Shotcrete Repair Works / Trabajos de**  
**Reparación de Shotcrete**

CHEVES  
 Hydro Power Project  
 Construction Department  
 PE-CHP\_WP\_TU-023  
 Shotcrete Repair Works /  
 Trabajos de Reparación  
 de Shotcrete

Page 1 of 10  
 02.02.2014  
 Index 03  
 Sign SHS

Scope, Validity / Alcance, Validez	This procedure covers the most common repairs and treatments to shotcrete in tunnel lining at the Cheves Hydropower Project/ Este procedimiento cubre las reparaciones y tratamientos al shotcrete en recubrimiento de túneles en el Proyecto Hidroeléctrico Cheves
Responsible for implementation / Responsable para su implementación	Tunnel Superintendents, Foremans/ Superintendente de túneles Capataces.
Distribution list / Lista de Distribución	Construction Manager, Quality Manager, Tunnel Superintendents, Foremans, Laboratory/ Gerente de construcción, gerente de calidad, Ingenieros de túnel, capataces, laboratorio.

DOCUMENT REVIEW Cheves Project		
Category	Technical Review	HSE Review
A	<i>[Signature]</i>	
B		
C		

03	02.02.2014	Changes related to Thickness gauges / Cambios en relación a los calibradores.
02	22.01.2014	Includes NPE comments / Incluye comentarios NPE
01	14.10.2013	Issued for NPE review / Elaborado para revisión NPE
00	06.06.2013	Issued for internal review / Elaborado para revisión interna
Rev.	Date	Description

*[Handwritten notes in red ink]*  
 B= Document Accepted with comments Incorporate comments & re-submit  
 C= Document not Accepted - Resubmit document!

*[Handwritten note in black ink]*  
 Nota:  
 TODO DOCUMENTO DEBE SER REVISAR POR HSE MANAGER DE CCH.

	PREPARED BY <i>Elaborado por</i> Tunnel Superintendent	REVIEWED BY <i>Revisado por</i> QM-Manager	APPROVED BY <i>Aprobado por</i> Construction Manager
Name / Nombre:	<i>R. Paredes</i>	<i>G. LEM</i>	<i>R. Paredes</i>
Date / Fecha:	<i>02.02.14</i>	<i>02.02.14</i>	<i>02.02.14</i>
Signature / Firma:	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i> CCH QA CCH	<i>[Signature]</i>



## Anexo 7: Pruebas y Ensayos realizados al Shotcrete

- Prueba del Cono de Abrams



- Temperatura del Shotcrete





- **Ensayo de Rebote del Shotcrete**



- **Pesaje del Rebote del Shotcrete para el Cálculo del Porcentaje de Rebote**



- Extracción de Diamantinas de Shotcrete



- Extracción de Diamantinas de Shotcrete



- **Realización de Probetas de Shotcrete para su Posterior Compresión**



- **Ensayo de Resistencia a la Compresión de Probetas de Shotcrete**





- **Ensayo de Resistencia a la Flexión de Vigas de Shotcrete**



- **Ensayo de Espesores del Shotcrete**



- **Ensayo de Vacios del Shotcrete**

